

Хмельницький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Галузь знань _____ 12 – Інформаційні технології _____

Спеціальність _____ 123 – Комп'ютерна інженерія _____

на тему «Кіберфізична система моніторингу та ранжування спортсменів»

КвРКІП.180103.18.01.06 ПЗ

Виконала: студент 2 курсу, група КІ2м-22-1



Підпис

Гнатчук А.Я.
Ініціали, прізвище

Керівник доктор техн. наук, професор
Науковий ступінь, вчене звання



Підпис

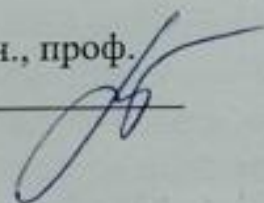
Яцків В.В.
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

Зав. кафедри КІС, д.т.н., проф.

Т.О. Говорущенко

14 05 2024 р.



Хмельницький, 2024

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Освітній рівень МАГІСТР

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма ОСВІТНЬО-НАУКОВА ПРОГРАМА «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Т.О.Говорущенко

“ 01 ” 09 2023 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Гнатчук Аліні Ярославівні

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Кіберфізична система моніторингу та ранжування спортсменів

Керівник проекту (роботи) Яцків В.В., д.т.н., професор

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджена наказом ректора університету від 01.01.2024 р. № 1

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 01.05.2024 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на дипломне проектування

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Аналіз відомих підходів застосування кіберфізичних систем в спортивній індустрії

Моделювання процесу моніторингу спортсменів в кіберфізичній системі

Моделювання процесу ранжування спортсменів в кіберфізичній системі





Метод моніторингу спортсменів в кіберфізичній системі

Метод ранжування спортсменів в кіберфізичній системі

Архітектура кіберфізичної системи моніторингу та ранжування спортсменів

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи магістра

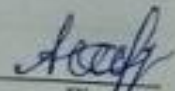
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Лисенко С.М., професор кафедри КПС		
Антиплагіат	Нічепорук А.О., доцент кафедри КПС		

7. Дата видачі завдання « 01 » 09 2023р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи магістра	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вибір напрямку дослідження та узгодження тематики КвРМ з керівником	01.09.2023	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.10.2023	виконано
3	Робота над розділом 1 – аналіз відомих моделей, методів за темою; постановка задачі	01.11.2023	виконано
4	Робота над розділом 2 – розробка моделей для вирішення поставленої задачі	01.12.2023	виконано
5	Робота над науковою статтею	05.01.2024	виконано
6	Робота над розділом 3 – розробка методів для вирішення поставленої задачі	15.02.2024	виконано
7	Робота над розділом 4 – проєктування та розробка ПЗ для вирішення поставленої задачі, експериментальна частина	05.04.2024	виконано
8	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	15.04.2024	виконано
9	Попередній захист ДРМ	18.04.2024	виконано
10	Захист ДРМ на засіданні ЕК	До 23.05.2024	

Студент


Підпис

Керівник роботи


Підпис

А.Я. Гнатчук
Ініціали, прізвище

В.В. Яцків
Ініціали, прізвище

РЕФЕРАТ

Тема кваліфікаційної роботи магістра: Кіберфізична система моніторингу та ранжування спортсменів.

Автор роботи: студентка гр.. КІ2М-22-1, Гнатчук Аліна Ярославівна

Керівник роботи: д.т.н., професор Яцків Василь Васильович

Пояснювальна записка: 94 с., 10 рис., 3 табл., 2 дод., 80 джерел.

ПЕРЕЛІК КЛЮЧОВИХ СЛІВ: КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА, МОНІТОРИНГ, РАНЖУВАННЯ, ТРЕНУВАЛЬНЕ НАВАНТАЖЕННЯ, СПОРТСМЕНИ, ЗОВНІШНІ ТА ВНУТРІШНІ ПАРАМЕТРИ, ДАТЧИКИ.

Об'єктом дослідження є процес моніторингу та ранжування спортсменів.

Предметом дослідження є методи та кіберфізична система моніторингу та ранжування спортсменів.

Метою кваліфікаційної роботи магістра є моніторинг та ранжування спортсменів, шляхом розроблення кіберфізичної системи моніторингу та ранжування спортсменів, яка забезпечує своєчасне надходження інформації тренеру про стан спортсмена, що дає можливість вчасно скорегувати навантаження та запобігти травмам.

Для розв'язання поставлених задач використовувалися основні положення системного аналізу (ієрархічності, декомпозиції та ін.), загальної теорії систем, теорії моделювання процесів. При розробленні методів моніторингу та ранжування спортсменів використано теоретико-множинні підходи, методи концептуального моделювання, евристичні оцінки, принципи побудови баз знань та формування логічного висновку.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Вперше розроблено метод моніторингу спортсменів, який дозволяє вибрати параметри за якими буде здійснюватись моніторинг спортсменів та на основі розроблених правил сформувані дані для аналізу та передачі до підсистеми ранжування.

2. Вперше розроблено метод ранжування спортсменів, який на основі визначених метрик, числової шкали та вагових коефіцієнтів, використовуючи розроблені правила періодичного рейтингу, дозволяє сформувати рейтинг гравців в кіберфізичній системі моніторингу та ранжування спортсменів.

3. Набула подальшого розвитку кіберфізична система моніторингу та ранжування спортсменів, в частині додавання одночасно двох модулів моніторингу та ранжування.

В результаті виконаного наукового дослідження розроблена кіберфізична система моніторингу та ранжування спортсменів забезпечує своєчасне надходження інформації тренеру про стан спортсмена, що дає можливість вчасно скорегувати навантаження та запобігти травмам. А також практична цінність полягає в тому, що таку систему можна використовувати для будь-яких видів спорту, а також для моніторингу будь-яких, потрібних тренерському штабу даних. Також розроблені та представлені правила моніторингу та сповіщення тренеру. Правила налаштовані з урахуванням конкретних потреб і вимог тренувального процесу та специфіки підготовки спортсменів. Вони допомагають автоматизувати моніторинг та реагування на виявлені тенденції чи проблеми, що дозволяє оптимізувати тренувальний процес і підтримувати спортсменів на найвищому рівні в довгостроковій перспективі. Ці правила допомагають системі моніторингу ефективно виявляти потенційні проблеми та надавати рекомендації для підтримки здоров'я та оптимальної фізичної підготовки спортсменів.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ.....	5
ВСТУП.....	6
1 АНАЛІЗ ВІДОМИХ ПІДХОДІВ ЗАСТОСУВАННЯ КІБЕРФІЗИЧНИХ СИСТЕМ В СПОРТИВНІЙ ІНДУСТРІЇ.....	10
1.1 Огляд та застосування кіберфізичних систем в спортивній індустрії	10
1.2 Огляд систем та датчиків для моніторингу внутрішнього та зовнішнього навантаження спортсмена.....	17
1.3 Висновки. Постановка задачі	28
2 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ МОНІТОРИНГУ ТА РАНЖУВАННЯ СПОРТСМЕНІВ В КІБЕРФІЗИЧНІЙ СИСТЕМІ	31
2.1 Моделювання процесу моніторингу спортсменів в кіберфізичній системі .	31
2.1.1 Визначення тренувального навантаження	33
2.1.2 Аналіз даних тренувального навантаження.....	42
2.2 Моделювання процесу ранжування спортсменів в кіберфізичній системі ...	51
2.3 Висновки	53
3 МЕТОДИ МОНІТОРИНГУ ТА РАНЖУВАННЯ СПОРТСМЕНІВ КІБЕРФІЗИЧНОЮ СИСТЕМОЮ	54
3.1 Метод моніторингу спортсменів кіберфізичною системою	54
3.2 Правила моніторингу спортсменів кіберфізичною системою моніторингу та ранжування спортсменів	59
3.3 Визначення метрик для ранжування спортсменів за допомогою кіберфізичної системи.....	66
3.4 Правила та метод ранжування спортсменів кіберфізичною системою моніторингу та ранжування спортсменів	71

3.5 Висновки	74
4 КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ТА РАНЖУВАННЯ СПОРТСМЕНІВ	76
4.1 Вибір типу архітектури та проектування розроблюваної системи.....	76
4.2 Розробка архітектури кіберфізичної системи моніторингу та ранжування спортсменів	86
4.3 Приклади функціонування та сфери застосування кіберфізичної системи моніторингу та ранжування спортсменів.....	91
4.4 Висновки	95
ВИСНОВКИ.....	96
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	100
ДОДАТОК А Копія статті.....	109
ДОДАТОК Б Презентація до захисту кваліфікаційної роботи.....	114

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

АПЗ - апаратне програмне забезпечення

БД - база даних

ДІ - довірчі інтервали

КФС - кіберфізична система

МСК - мережеві системи керування

ПЗ - програмне забезпечення

ПСУ - продуктивність систем управління

ПЦП - персональні цифрові помічники

ЧМТ – черепно-мозкова травма

ЧСС - частота серцевих скорочень

GPRS - пакетний радіозв'язок загального використання

RFID -технологія радіочастотної ідентифікації

ВСТУП

Технологічний прогрес дозволив спортсменам, тренерам і лікарям відстежувати функціональні рухи, робоче навантаження, біомеханічні та біожиттєві маркери за допомогою переносних датчиків, щоб максимізувати продуктивність і мінімізувати потенціал травм. Носимі системи моніторингу можуть надавати безперервні фізіологічні дані, що дозволяє розробляти точні плани лікування та програми тренувань для кожного гравця, щоб потенційно зменшити й полегшити травми. За останні два десятиліття галузь носимих пристроїв перейшла з простих пристроїв до систем типу viewpoint, де система поєднує пристрій із аналітикою.

У професійних командних видах спорту збір та аналіз даних моніторингу спортсменів є поширеною практикою з метою оцінки втоми та подальших адаптаційних реакцій, вивчення потенціалу продуктивності, а також мінімізації ризику травм та/або хвороб. Системи моніторингу та ранжування спортсменів повинні бути підкріплені відповідним аналізом та інтерпретацією даних, щоб забезпечити швидке надання простої та науково обґрунтованої зворотної інформації. Використання доцільних наукових і статистичних підходів може підвищити достовірність рішень, прийнятих на основі даних моніторингу та ранжування спортсменів. Існує широкий спектр аналітичних методів та інструментів, які фахівці-практики можуть використовувати в рамках систем моніторингу та ранжування спортсменів, а також кілька факторів, які слід враховувати при зборі цих даних, методи визначення значущих змін і різні підходи до візуалізації даних. В основі успішної системи моніторингу та ранжування спортсменів лежить здатність фахівців передавати та представляти важливу інформацію тренерам, що в кінцевому підсумку призводить до покращення спортивних результатів.

Актуальність роботи полягає в розробці кіберфізичної системи моніторингу та ранжування спортсменів, що дає можливість отримувати тренерам, спортивним менеджерам, спортивним лікарям та іншим фахівцям своєчасну інформацію про

фізичний, психологічний стани спортсмена, технічний та тактичний рівні підготовки, що дає можливість покращити спортивні результати як окремого спортсмена, так і команди в цілому, а також запобігти травмам в процесі тренувань.

Метою кваліфікаційної роботи магістра є моніторинг та ранжування спортсменів, шляхом розроблення кіберфізичної системи моніторингу та ранжування спортсменів, яка забезпечує своєчасне надходження інформації тренеру про стан спортсмена, що дає можливість вчасно скорегувати навантаження та запобігти травмам.

Поставлена мета досягається розв'язанням таких основних задач:

1. аналіз відомих підходів застосування кіберфізичних систем в спортивній індустрії;
2. огляд систем та датчиків для моніторингу внутрішнього та зовнішнього навантаження спортсмена;
3. моделювання кіберфізичної системи моніторингу та ранжування спортсменів;
4. дослідження методів та параметрів моніторингу та ранжування спортсменів;
5. розроблення методу моніторингу та методу ранжування спортсменів;
6. розроблення архітектури кіберфізичної системи моніторингу та ранжування спортсменів.

Об'єктом дослідження є процес моніторингу та ранжування спортсменів.

Предметом дослідження є методи та кіберфізична система моніторингу та ранжування спортсменів.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Вперше розроблено метод моніторингу спортсменів, який дозволяє вибрати параметри за якими буде здійснюватись моніторинг спортсменів та на основі розроблених правил сформулювати дані для аналізу та передачі до підсистеми ранжування.

2. Вперше розроблено метод ранжування спортсменів, який на основі визначених метрик, числової шкали та вагових коефіцієнтів, використовуючи розроблені правила періодичного рейтингу, дозволяє сформувати рейтинг гравців в кіберфізичній системі моніторингу та ранжування спортсменів.

3. Набула подальшого розвитку кіберфізична система моніторингу та ранжування спортсменів, в частині додавання одночасно двох модулів моніторингу та ранжування.

Практична цінність отриманих результатів. В результаті виконаного наукового дослідження розроблена кіберфізична система моніторингу та ранжування спортсменів забезпечує своєчасне надходження інформації тренеру про стан спортсмена, що дає можливість вчасно скорегувати навантаження та запобігти травмам. А також практична цінність полягає в тому, що таку систему можна використовувати для будь-яких видів спорту, а також для моніторингу будь-яких, потрібних тренерському штабу даних. Також розроблені та представлені правила моніторингу та сповіщення тренеру. Правила налаштовані з урахуванням конкретних потреб і вимог тренувального процесу та специфіки підготовки спортсменів. Вони допомагають автоматизувати моніторинг та реагування на виявлені тенденції чи проблеми, що дозволяє оптимізувати тренувальний процес і підтримувати спортсменів на найвищому рівні в довгостроковій перспективі. Ці правила допомагають системі моніторингу ефективно виявляти потенційні проблеми та надавати рекомендації для підтримки здоров'я та оптимальної фізичної підготовки спортсменів.

Методи дослідження. Для розв'язання поставлених задач використовуються основні положення системного аналізу (ієрархічності, декомпозиції та ін.), загальної теорії систем, теорії моделювання процесів. При розробленні методів моніторингу та ранжування спортсменів використано теоретико-множинні підходи, методи концептуального моделювання, евристичні оцінки, принципи побудови баз знань та формування логічного висновку.

За темою кваліфікаційної роботи магістра опублікована одна стаття у матеріалах конференції, що індексується в наукометричній базі Scopus (додаток

A), та взято участь у 18-th International Conference on Computer Science and Information Technologies, 2023 (16-19 October 2023, Lviv, UKRAINE).

1) Т. Hovorushchenko, Y. Hnatchuk, A. Hnatchuk, O. Fehyr. Decision Support System For The Coaching Staff in the Process of Preliminary Selection of Players. 2023 IEEE 18th International Conference on Computer Science and Information.

1 АНАЛІЗ ВІДОМИХ ПІДХОДІВ ЗАСТОСУВАННЯ КІБЕРФІЗИЧНИХ СИСТЕМ В СПОРТИВНІЙ ІНДУСТРІЇ

1.1 Огляд та застосування кіберфізичних систем в спортивній індустрії

Кіберфізичні системи (КФС) в останні роки привертають все більшу увагу. В контексті Індустрії 4.0 вони часто реалізуються як мережеві системи керування (МСК) з використанням спільної мережі [1]. Багато дослідників досліджували стабільність, а також стандартні критерії продуктивності систем управління (СУП). СУП є основним структурним елементом, який використовується для реалізації цього принципу організації. Поєднання апаратних і програмних компонентів у цих системах часто має форму певних фізичних (тобто механічних або електронних) пристроїв, які контролюються, наглядом або іншим чином пов'язані з «кібернетичною» (тобто програмною) системою. Ця нефізична частина обчислює дію, яка має бути виконана на основі певних вхідних даних вимірних фізичною частиною. Вхідні дані передаються через мережу зв'язку до програмній системі, перетворюється на певні інструкції та надсилаються назад до фізичної частини через ту саму мережу. З логічної або архітектурної точки зору, ці з'єднані компоненти часто розглядаються як єдиний пристрій. Однак, з точки зору реалізації, цілком розумно реалізувати їх як окремі, але пов'язані між собою компоненти, щоб задовольнити та покращити не функціональні вимоги, такі як розширюваність або відмовостійкість.

Можливий сценарій роботи з КФС показаний на рисунку 1.1. Кілька датчиків вимірюють різні метрики, такі як температура і тиск певного фізичного процесу, наприклад, хімічної реакції в реакторі. Вимірні значення передаються через мережу до програмного компоненту, який потім обчислює (на основі цієї інформації) відповідну дію, яка надсилається до виконавчих механізмів і виконується ними. Це може змінити деякі властивості (наприклад, знизити температуру в реакторі), які впливають на фізичний процес.

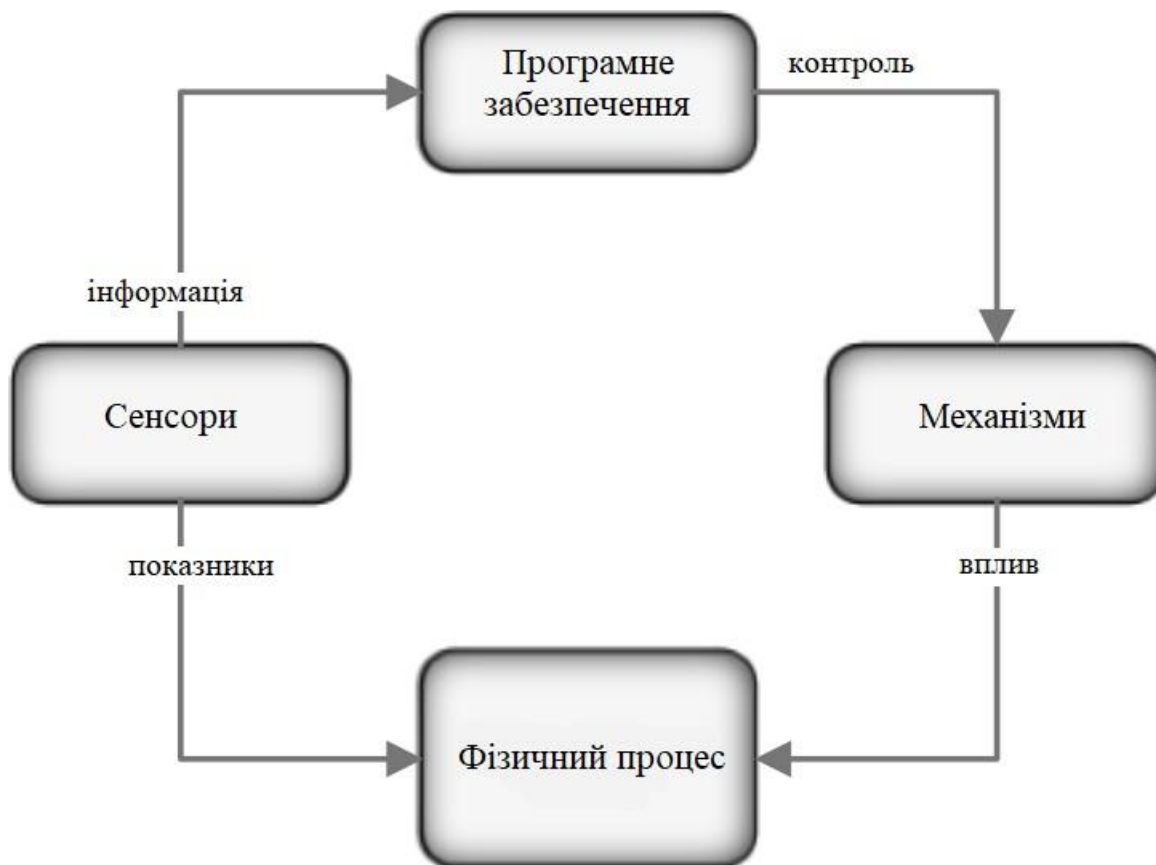


Рисунок 1.1 – Сценарій роботи кіберфізичної системи

Якщо прослідкувати процес розвитку кіберфізичних систем, то початковий фокус був зосереджений на апаратних розробках, що уможлилювали повсюдне використання комп'ютерів. Подальший технологічний розвиток призвів до створення потужних малогабаритних датчиків, мікропроцесорів і комунікаційних пристроїв для збору, обробки та передачі даних бездротовим способом. Таким чином, обробка інформації може бути інтегрована у повсякденні об'єкти, навіть не даючи користувачеві уявлення про апаратне забезпечення, яке за цим стоїть. Таке поширення обчислювальних пристроїв у повсякденне життя стало терміном «повсюдні обчислення» («Pervasive Computing») у вужчому сенсі в різних сферах життя [2].

У спорті ці повсюдні комп'ютерні технології використовуються для збору, аналізу та представлення даних про результати, не впливаючи на спортсменів під час тренувань і змагань. Складні системи зворотного зв'язку наприклад, були

розроблені для того, щоб скоротити час на вдосконалення техніки [3]. Крім того, інформація може бути отримана для ілюстрації сегментів виступу в спортивних трансляціях. Датчики прикріплюються або до тіла спортсмена або до спортивного обладнання (наприклад, акселерометрів), або вбудовані в навколишнє середовище (наприклад камери, оптико-електронні пристрої).

Технологія радіочастотної ідентифікації (RFID) складається з двох компонентів. Спеціальні мітки, які випромінюють унікальні сигнали прикріплюються до спортсмена/обладнання і можуть бути ідентифіковані зчитувачами, встановленими на невеликій відстані в навколишньому середовищі. У типовому випадку (не на основі відео або RFID) датчики отримують відповідні дані про продуктивність; оцифровані сигнали оцифровані сигнали потім передаються на мобільний пристрій клієнту (наприклад, мобільний телефон) через протоколи короткого радіусу дії (наприклад, Bluetooth), а звіди надсилаються на інтернет-сервер (наприклад, через загальний сервер або через загальну пакетну радіослужбу GPRS).

Основні нововведення в кіберфізичних системах моніторингу та ранжування можна розділити на дві категорії:

- 1) технологічні розробки в галузі мініатюризації пристроїв і підвищення їх здатності передавати дані на значні відстані;
- 2) розробка алгоритмів для швидкої та/або точної обробки даних у режимі (швидкого) зворотного зв'язку, що є важливим кроком у напрямку до інтелектуальних систем.

Розглянемо останні розробки у цій галузі. Цікавим є те, що розробка нових алгоритмів, розумних та інтелектуальних систем обговорюється на прикладі деяких репрезентативних додатків. Додатки поділяються на системи аналізу, коучингові та навчальні системи, системи прийняття рішень, а також системи, що використовуються у сфері дозвілля та розваг. Широке розмаїття різних типів датчиків використовується у спорті для вимірювання фізичних величин, таких як сила, крутний момент, тиск, прискорення (лінійне), швидкість (лінійна/кутова) та положення (лінійне/кутове). Залежно від застосування, датчики можуть бути

встановлені на частинах спортивного обладнання або безпосередньо прикріплені до тіла суб'єкта (часто їх називають натільна електроніка). Розвиток останньої подарував спортивним дослідженням безліч цікавих можливостей.

Датчики визначення положення. Системи на основі GPS добре підходять для визначення положення (і швидкості) у спортивній діяльності, де спортсмени рухаються по досить простих траєкторіях, наприклад, у веслуванні, їзді на велосипеді, бігу [4]. Вони забезпечують дешевший і простіший спосіб у порівнянні з більш точними диференціальними GPS (dGPS) системами, які вимагають фіксованої опорної станції. Однак обидва методи можна використовувати лише на відкритому повітрі за хороших погодних умов і вони вимагають невеликих антен на об'єктах, що відстежуються. Нові технічні розробки, такі як Leica GS20 Professional Data Mapper, загальна вага з акумулятором 0,652 кг у поєднанні з високоточною GPS антеною (AT501)) забезпечує точність позиціонування зазвичай 5-10 мм \pm 2 ppm (середньоквадратичне значення) і збір даних до 20 Гц, що видається досить складним завданням для багатьох спортивних застосувань.

Активні (на батарейках) або пасивні мітки, що передають радіо- або мікрохвилі, також все частіше використовуються для обчислення положення вільно рухомих об'єктів в межах локально обмеженої 3D-зони. На відміну від систем на основі GPS, цей розрахунок виконується не на об'єкті, що відстежується, а в центральному блоці управління. 3D-позиції положення розраховуються на основі часу проходження електромагнітною хвилею від легких міток (транспондерів), прикріплених до об'єктів, що відстежуються, до певної кількості приймальних станцій за допомогою методу тріангуляції. Ці станції оточують досліджуване середовище і пов'язані з центральною станцією. Активні технології показують високу роздільну здатність (точність +5 см на відкритому повітрі) і досягають майже в режимі реального часу, недоліки полягають у необхідності додаткового обладнання об'єктів.

Потенційні застосування в спорті – це аналіз транспортних засобів і водіїв в автоспорті, позицій спортсменів, бігових доріжок позицій спортсменів, бігових

доріжок, ігрових стратегій та аналізу результатів, наприклад, у ковзанярському спорті). Основними перевагами цього методу є висока просторова точність і частота запису до 1000 Гц [5].

Датчики виявлення руху. Акселерометри можна використовувати для вимірювання змін у положенні тіла. Теоретично, сигнал прискорення, інтегрований один раз, дає швидкість, а інтегрований двічі – зміну положення. На практиці, навіть сигнали, забруднені незначним шумом, потребують точно зважених поправок. Наприклад, прискорення, зумовлене силою тяжіння, потрібно відкинути при вимірюванні прискорення, а дрейф, який є постійно присутнім потрібно враховувати у відповідному сигналі. Система 3D-відстеження, придатна для практичних для практичних цілей, складається з трьох датчиків обертання, (гіроскопів), на додаток до щонайменше трьох акселерометрів. Зміни в положенні обчислюються на основі всіх виміряних сигналів. Пристрої можуть бути невеликими за розміром та вагою, виміряні дані можуть передаватися за допомогою бездротових технологій. Одне з дуже популярних застосувань таких пристроїв у сфері віртуальної реальності.

Системи комп'ютерно-людської взаємодії, що включають позиційне відстеження, вже розроблені для різних видів спорту. Рухи користувачів фіксуються і використовуються як вхідні дані для керування віртуальним бігом, щоб покращити відчуття реальності та задоволення від гри. Пристрої для відстеження голови, рук і тіла були розроблені і активно використовуються [6].

Моніторинг обладнання. Використання датчиків для введення та перевірки даних стало поширеним у спортивному дизайні та цілеспрямованому покращенні спортивних результатів. Для моніторингу навантажень на такі деталі, як велосипедні рами, тенісні ракетки або клюшки для гольфу, наприклад, тензометричні датчики можуть бути у вибраних місцях для вимірювання механічного напруження, яке добре відповідає прикладеним силам або крутним моментам [7]. Повсюдне поширення комп'ютерних технологій забезпечило найкращі засоби для цих розробок, оскільки воно дозволяє тестувати обладнання в польових умовах або надає засоби для механічної симуляції спортивних дій.

Існує два підходи до використання повсюдних обчислень у механічному моделюванні. Перший полягає у створенні робота, який виконує дії, подібні до людських, щоб дозволити пряме вимірювання даних за допомогою інструментальних датчиків, щоб подолати складнощі з прикріпленням датчиків до людського тіла. Такі пристрої були використані в симуляції катання на лижах для вимірювання та розуміння сил [8]. Комп'ютер контролює генеруванням конкретної локомоції і отримує відповідні динамічні дані, такі як кінематичні та кінетичні змінні. Переваги такого підходу перед класичним лабораторним тестуванням продемонстрували автори роботи [9] у дослідженні параметрів матеріалу лиж. Це дослідження є чудовою ілюстрацією того, як польовий аналіз впливає на розробку лабораторних випробувань і, зрештою, на вдосконалення дизайну лиж та сноубордів. Одним з найбільш обговорюваних прикладів в популярній пресі є використання активного демпфірування в лижах. Принцип досить простий, і багато виробників заявляють про значне покращення характеристик. Однак, немає належних незалежних досліджень опублікованих в рецензованих журналах. Втім, у побитті світових рекордів у швидкісному катанні, цей метод є невід'ємною частиною, оскільки швидкості, що досягаються, роблять майже неможливим для традиційних лиж підтримувати контакт із землею, а висока підйомна сила унеможлиблює подальше підвищення рекордів. Такі дослідження були проведені незалежно у високошвидкісних аеродинамічних тунелях, що свідчить про те, що заяви виробників є правильні, але технічні деталі недоступні, щоб зробити точну та незалежну оцінку.

Такі параметри, як розміри упаковки, маса, вартість датчика і не в останню чергу точність є ключовими факторами для вибору датчиків і мають бути враховані для нових вимірювальних установок. Зменшення розмірів як датчиків, так і реєстраторів даних дозволяє не тільки збирати величезні обсяги польових даних, але й розробляти ефективні прилади, що підвищують продуктивність і комфорт. Гарною ілюстрацією такого технологічного підходу є дослідження авторів [10]. Вони використовували макрволоконні композитні актуатори (MFC) для активного контролю згинальних вібрацій керма велосипеда. Отримані

результати свідчать про те, що використання актуаторів з МФК є ефективним. Дослідження чітко показує, що ця методика значною мірою спирається на моделювання прогнозування структурних реакцій на зовнішні навантаження, такі як удари. Отже, це опосередковано ставить під сумнів ефективність активного контролю вібраціїв лижному спорті, де динамічні навантаження стохастичні за своєю природою і мають надзвичайно високі частоти. Розглянуті вище дослідження ілюструють зростаючу тенденцію до інтеграції математичного, емпіричного або статистичного моделювання та повсюдних обчислень для підвищення його ефективності [11].

Фізіологічний моніторинг. Спостерігається великий приплив нових пристроїв, які дозволяють контролювати різноманітні фізіологічні параметрів. Неможливо охопити всі нові аспекти в рамках цього дослідження, тому ми зосередимося на кількох відомих неінвазивних застосуваннях. Системи відрізняються за своїм ступенем складності. Наприклад, система XC21 AWare Technologies, Кембридж, США; AWare XC2 являє собою просту систему, яка дозволяє інтегрувати акселерометр у поєднанні з пульсометром. Програмне забезпечення системи XC2 AWare™ системне програмне забезпечення XC2 AWare™ надає програмне забезпечення для Windows для відтворення, візуалізації та перетворення двійкових даних у відповідну форму для імпорту в електронні таблиці та спортивні тренувальні інструменти для спортивних тренувань. Перевагами таких систем є відносно низька вартість і швидке надання додаткової інформації тренерам. Недоліки полягають у тому, що вони мають тенденцію накопичувати велику кількість даних і на практиці можуть обслуговувати дуже невелику популяцію спортсменів, які мають у своєму розпорядженні велику кількість допоміжного персоналу. У сьогоденних умовах такі системи не можуть розглядатися як системи повсюдного обчислювального типу, оскільки їх обчислювальні можливості обмежуються низькорівневою обробкою, структуруванням і зберіганням даних.

Наступний рівень складності представлений системами, які забезпечують аналіз зібраної інформації, а не просто передають дані з датчиків. А гарним

прикладом є типова система вимірювання активності [12]. Такі системи забезпечують більш глибокий обчислювальний і логічний аналіз шляхом виявлення закономірностей і синергії та вилучення узагальненої інформації, яка безпосередньо відповідає потребам користувачів. Ці системи забезпечують безпосередньо вищий рівень організованої інформації, залишаючи за кінцевими користувачами лише прийняття рішень.

Таким чином, вони прискорюють втручання, коли це потрібно, і зменшують потребу в людських ресурсах для обробки зібраних даних.

Комунікаційні технології. Пристрої та протоколи. Мобільні телефони, персональні цифрові помічники (ПЦП) і смартфони можуть використовуватися як мобільні клієнти для отримання даних через протоколи короткого радіусу дії від датчиків, обробляти ці дані та/або відправляти їх з датчиків, обробляти ці дані та/або надсилати їх на інші обчислювальні пристрої, такі як інтернет-сервер через GPRS, пакетно-орієнтовану мобільну службу передачі даних, універсальну мобільну телекомунікаційну систему (UMTS) або, за наявності, також через бездротову локальну мережу (WLAN). Відповідні стандартизовані протоколи короткого радіусу дії для спортивних додатків є Bluetooth1, ANT™ (Dynastream Inc., Cochrane, Канада) і ZigBee1. Наступні критерії є важливими для вибору: споживання енергії, дальність передачі, швидкість передачі даних і підтримувані типи мереж. Коли передається контекстно-залежна інформація також можливість безпеки (ANT™: 64Bit, Bluetooth1 та ZigBee1: 128Bit) повинні впливати на процес вибору. Кількість використаних бітів вказує на рівень шифрування.

1.2 Огляд систем та датчиків для моніторингу внутрішнього та зовнішнього навантаження спортсмена

Системи моніторингу фізичної підготовленості спортсменів в режимі реального часу є дуже важливими для тренерів та спортивних команд. Такі системи можуть включати в себе різні технології, які допомагають збирати,

аналізувати та інтерпретувати дані про фізичну активність та стан здоров'я спортсменів.

Технологічний прогрес дозволив спортсменам, тренерам і лікарям відстежувати функціональні рухи, навантаження, біомеханічні та біо-вітальні маркери за допомогою натільних датчиків, щоб максимізувати продуктивність і мінімізувати потенціал травм [13]. Натільні системи моніторингу можуть надавати безперервні фізіологічні дані, таким чином дозволяючи розробляти точні плани лікування та тренувальних програм для конкретних гравців, щоб потенційно пом'якшити і полегшити травми. Будемо розглядати натільний пристрій як датчик або набір датчиків, не обтяжений проводами для безперервного і неінвазивного виявлення біосигналів, аналізів або біомеханічних і біомеханічних та ударних впливів для моніторингу здоров'я та працездатності людини. За останні два десятиліття сфера натільних пристроїв перейшла з точки зору пристроїв до системної точки зору, де система поєднує в собі пристрій з аналітикою.

Враховуючи підвищену увагу до безпеки та продуктивності спортсменів, цей огляд оцінює трансляційну корисність натільних пристроїв для виявлення ключових метрики, що мають відношення до оцінки продуктивності людини.

На сьогодні в світі існує багато компаній-виробників натільних датчиків, що дозволяють оцінювати положення рухів спортсменів, оцінювати моніторинг впливу різноманітних впливів на спортсмена (наприклад збільшення фізичного навантаження), для моніторингу біомеханічних сил, для моніторингу сну, моніторингу стану здоров'я, тощо. Основний перелік таких компаній та їх виробів представлений в таблиці 1.1.

Датчики руху, які зараз використовуються для спортивної медицини, включають акселерометри та супутникові пристрої глобального позиціонування (GPS), які часто використовуються разом. Акселерометри генерують високоточний аналіз руху з високою частотою дискретизації та включені в наручні пристрої, такі як Nike Fuelband, Jawbone UP і Microsoft Band. Ця технологія широко використовується в спортивній спільноті, починаючи від

футболу, регбі, хокею та плавання. Витрати енергії можна визначити за допомогою триосьових акселерометрів шляхом інтегрування прискорення в часі. Визначення витрат енергії, позиції, руху та контролю балансу під час тренувань або ігор показало свою важливу роль у адаптації режиму тренувань спортсменів для мінімізації частоти травм м'яких тканин.

Таблиця 1.1 – Компанії-виробники натільних датчиків

Компанія	Продукт	Функціональність
Adidas	miCoach Fit Smart, miCoach Smart Run (годинник)	Годинник серцевий ритм, GPS, відстань
Apple	Apple Watch (годинник)	Пульс, відстань, електронна пошта, ЕКГ, текстові повідомлення, телефон
BioSensive Technologies Inc.	Joule (кліпси)	Частота серцевих скорочень, спалені калорії, пройдені кроки, загальний рівень активності
Fitbit	Flex, One, Alta (годинник)	Пройдені кроки, відстань, пульс, якість сну, крокомір, спалені калорії
Garmin	Vivoactive, Vivosmart, Vivofit (годинник)	Крокометр, якість сну, пульс, відстань
Jabra	Sports Pulse Wireless Headphone (навушники)	Акселерометр і моніторинг серцебиття
Karacus	Polaris, Zeta, Proxima (годинник)	Пересування, телефон, електронна пошта
Kitman Labs	Capture (Sensor mounted on computer)	Біометричні дані через машинне навчання, GPS і відстеження гравців

Продовження таблиці 1.1 – Компанії-виробники натільних датчиків

Компанія	Продукт	Функціональність
Microsoft	Microsoft Band (браслет)	Пульс, спалені калорії, якість сну, електронна пошта, текст
Nike	Fuelband (браслет)	Крокомір, GPS
Polar	A360, Loop Crystal, Loop 2 (браслет)	Пульс, трекер продуктивності
Samsung	GearFit 2 (годинник)	GPS, сон, пульс, калорії, крокомір
Stifit	Stifit band (браслет)	Кисень у крові, індекс маси тіла, спалені калорії, дистанція, втома, частота серцевих скорочень, сон
TruSox	TruSox (шкарпетки)	Нековзні шкарпетки для більшої швидкості та маневреності
Vibrado Technologies	Vibrado Technologies (текстильна електроніка - рукав для носіння на передпліччі)	Акселерометр для вимірювання кута пострілу, висоти руки, точки спуску.
Zebra Technologies	Zebra Tracking Device (блоковий пристрій)	RFID, що використовується для кількісного визначення профілів руху та відстані. Пристрій розміщується під шиєю в наплічниках або вшивається в трикотаж

Кінець таблиці 1.1 – Компанії-виробники натільних датчиків

Компанія	Продукт	Функціональність
Zephyr	BioHarness 3, HxM™ Smart, HxM™ BT (текстильна електроніка)	Серцевий ритм, дихання, тривісний акселерометр, частота серцевих скорочень, активність, постава, рівень насичення киснем
Athlete Intelligence	Vector Mouthguard, Shockbox® sensor (капа)	Відстежує лінійні та обертальні прискорення ударів головою
Jolt	Jolt Sensor (датчик прикріплений до одягу)	Сила удару, моніторинг струсу мозку.
Performance Sports Group	Q-Collar (комір на шию)	Профілактика струсу мозку шляхом натискання на яремну вену
X2 Biosystems	X-Patch Pro (гнучкий датчик)	Трьохосьові акселерометри для вимірювання удару
CricFlex	CricFlex (рукав)	Вимірює кут нахилу руки та силу під час гри в боулінг
Heddoko	Heddoko (розумний одяг)	Біомеханіка рухів, відхилення від еталонів і стандартів рухів, ризик травмування
Motus Global	mThrow™, motusPro™ (рукав)	Акселерометр для вимірювання кутів суглобів, швидкості, напруження, деформації
Protonics Technologies	Protonics T2 (пристрій кріпиться на ліву ногу)	Усуває біомеханічний дисбаланс між лівим і правим боком для зменшення м'язового болю.

Моніторинг внутрішнього (наприклад, фізіологічної або перцептивної «відповіді») і зовнішнього тренувального навантаження (наприклад, фізичної «роботи») може дозволити спортивним тренерам і клініцистам оцінювати рівень втоми та фізичної підготовки спортсменів у реальному часі. Внутрішнє робоче навантаження включає частоту сприйнятого навантаження (sRPE) і частоту серцевих скорочень. Після завершення кожного тренування спортсмени дають «оцінку» від 1 до 10 на основі інтенсивності тренування. Для забезпечення внутрішнього тренувального навантаження інтенсивність заняття множиться на тривалість заняття. Продукт можна розглядати як «хвилини фізичних навантажень» для спортсменів. Удосконалення технологій виготовлення MEMS та упаковки пристроїв дозволили виявити багатоосьовий рух для розрахунку зовнішнього тренувального навантаження (наприклад, PlayerLoad™³). Зовнішнє робоче навантаження можна уявити як велике навантаження на тіло, яке можна кількісно визначити за допомогою пристроїв, що носяться на тулубі, які містять GPS і триосьовий акселерометр. Наприклад, PlayerLoad™ можна розрахувати через миттєву швидкість зміни прискорення. Накопичене навантаження гравця можна обчислити як суму PlayerLoad™ протягом бажаного інтервалу часу (зазвичай протягом 1–7 днів). Такі показники, як загальна дистанція пробігу, піднята вага, кількість та інтенсивність спринтів або зіткнень можна визначити за допомогою датчиків на основі GPS. Датчики позиції триангулюють передачу сигналу від кількох супутників GPS, що обертаються навколо Землі, і можуть точно визначати швидкість і положення (в межах 1 м) спортсмена на полі. Ці пристрої відіграють важливу роль в аналізі спортивних результатів, дозволяючи тренерам, лікарям і інструкторам краще розуміти фізичні потреби спортсмена в реальному часі [14]. Кремнієві мікросхеми GPS у поєднанні з триосьовими акселерометрами використовувалися для запису фізичної активності в різний час доби та для певних груп у команді. Більшість робіт з оцінки руху людини та його кореляції зі спортивними результатами передбачала використання комерційних пристроїв на базі GPS, таких як пристрої Catapult (OptimEye S5) і GPS-пристрій Zebra Technologies [15]. Продукт Catapult, наприклад, має повністю

укомплектовану мікросхему обробки, акселерометр, гіроскоп і магнітометр для безперервного вимірювання положення тіла, сил удару, швидкості, прискорення та напрямку. У дослідженні з використанням Catapult OptimEye S5 і технології відстеження відео 20 професійних гравців Австралійської футбольної ліги (AFL) вивчалися під час чотирьох матчів сезону, щоб описати та кількісно визначити частоту, швидкість і прискорення при ударі під час підбору [16]. Розподіл відборів було визначено кількісно та класифіковано як функцію відсоткового розподілу відборів від навантаження гравця, швидкість гравця в порівнянні з інтенсивністю підбору, і навантаження гравця в порівнянні з інтенсивністю підбору. Помітили, що відмінності в даних акселерометра між підхватами поступово зростають за інтенсивністю, що забезпечує підтримку використання акселерометрів для оцінки сили удару в контактних видах спорту. В іншому дослідженні спортсмени першого дивізіону Національної університетської атлетичної асоціації (NCAA) використовували GPS-датчики та відповідну аналітику для реєстрації робочого навантаження, швидкості, відстані та прискорення під час тренувань та ігор [17]. Дослідження виявили значні варіації рухових профілів серед університетських футболістів, і автори визначили потребу в стратегіях фізичної підготовки, залежних від позиції та гри, щоб максимізувати продуктивність гравців, обмежити наслідки втоми та мінімізувати настання травм.

Поєднання внутрішніх і зовнішніх навантажень спортсмена визначає результат тренування. Внутрішнє або зовнішнє навантаження спортсмена можна розрахувати за 1-тижневий період (гостре навантаження) і за 3-4-тижневий період (хронічне навантаження). Робота Габбетта припустила, що співвідношення гострого та хронічного навантаження, яке називається «ACWR», можна використовувати для визначення того, чи спортсмен перетренований, недостатньо тренований або тренується з належною інтенсивністю [18]. Крім того, Габбетт показав, що розрахунок цього співвідношення дозволяє спортивним вченим передбачити ймовірність травми спортсмена в результаті неправильного управління навантаженням. Отримання цього співвідношення дає індекс

підготовленості спортсмена та враховує тренувальне навантаження, яке виконував спортсмен, відносно тренувального навантаження, до якого був підготовлений спортсмен. Використання ACWR підкреслює як позитивні, так і негативні наслідки навчання. Перше дослідження, яке вивчало взаємозв'язок між ACWR і ризиком отримання травми, було проведено на елітних гравцях у швидкий боулінг у крикет. Тренувальне навантаження оцінювалося як від sRPE, так і від м'яча. Коли гостре робоче навантаження було подібним або нижчим, ніж хронічне робоче навантаження (наприклад, $ACWR \leq 0,99$), ймовірність отримання травми для швидких боулерів у наступні 7 днів становила 4%. Однак, коли ACWR був $\geq 1,5$ (наприклад, робоче навантаження на поточному тижні було в 1,5 рази більше, ніж те, до чого був готовий боулер), ризик травми був у 2–4 рази більшим в наступні 7 днів. Хоча такі спостереження вказують на досліджуваний вид спорту, до тих пір, поки не будуть доступні більш надійні набори даних, слід дотримуватися обережності, застосовуючи ці рекомендації до окремих спортсменів. Незважаючи на це, можна зробити висновок про загальну тенденцію. Якщо гостре навантаження під час тренування є низьким (наприклад, спортсмен відчуває мінімальну втому), а ковзне середнє (RA) хронічне навантаження під час тренування є високим (наприклад, спортсмен розвинув «фітнес»), тоді спортсмен буде в добре підготовленому стані, і, таким чином, ACWR буде ≤ 1 . Якщо гостре навантаження є високим (наприклад, тренувальні навантаження були швидко збільшені, що призвело до «втоми»), а хронічне тренувальне навантаження RA низьке (наприклад, спортсмен виконував неадекватні тренування для розвитку «фітнесу»), тоді спортсмен перебуватиме в втомлений стан і, таким чином, ACWR буде ≥ 1 . З точки зору ризику травми, ACWR в межах 0,8–1,3 можна вважати «приємною точкою» тренувань, тоді як $ACWR \geq 1,5$ може представляти «небезпечну зону».

Носимі датчики в даний час використовуються для мінімізації травм у професійному футболі за допомогою ретельного моніторингу тренувального навантаження та інших біометричних даних протягом реабілітаційного періоду. Варіабельність даних GPS і прискорення тулуба були під питанням, коли мова

зайшла про моніторинг навантажень на нижні кінцівки. Це пояснюється тим, що пройдена відстань і швидкість не відображають механічне навантаження, яке відчуває опорно-руховий апарат. Це особливо актуально в таких видах спорту, як баскетбол, які обмежені невеликим простором, де гравці відчувають високі фізичні навантаження, виконуючи вибухові стрибки та приземлення, які не точно фіксуються дистанцією, швидкістю або аналізом руху тулуба спортсмена [19]. Щоб пом'якшити такі проблеми, GPS-пристрій Zebra та Catapult OptimEye S5, обидва з яких сьогодні вважаються найточнішими портативними пристроями в спорті, розміщені в пристроях відстеження гравців, намагаючись усунути деякі з вищезгаданих проблем. Крім того, пристрій Catapult продемонстрував здатність пом'якшувати такі проблеми шляхом включення трьохосьових рухів у свої аналітичні моделі для точного розрахунку PlayerLoad™ від їх датчика. Пристрій Zebra GPS наразі схвалено національною футбольною лігою для відстеження руху гравців і використовується обраними командами для моніторингу навантажень під час тренувань.

Кілька компаній, що займаються носимими пристроями, як-от Noggin, Q30 Innovations і X2 Biosystems, стали відомими завдяки своїй здатності відстежувати, контролювати та запобігати струсам мозку [20]. Noggin зосереджується на створенні захисної кришки, завдяки чому гелева кришка створює тертя з внутрішньою частиною шолома, щоб утримувати його на місці. Це зменшує ковзання, одночасно розсіюючи та зменшуючи силу удару на голову. Пристрій також має суху вологопоглинаючу тканину, яка допомагає захистити спортсменів від теплових травм. Noggin показав, що його пристрій може зменшити силу удару до 85% через прямий удар по голові при використанні із схваленим шоломом. Компанія Q30 innovations розробила пристрій, який запобігає руху мозку всередині черепа, затискаючи яремні вени, змушуючи мозок набухати та щільніше прилягати до черепа. Майерс та ін. випробували пристрій Qcollar на юнацьких хокеїстах і шкільних футболістах і успішно продемонстрували, що використання носимого пристрою під час сценаріїв живих ігор, можливо, забезпечило захисний бар'єр проти мікроструктурних змін мозку, спричинених

повторюваними ударами головою. У дослідженнях використовувалися акселерометри на шоломах, щоб відстежувати кількість ударів гравця, які мали прискорення >20 g. Магнітно-резонансну томографію (МРТ) використовували для якісного спостереження та вимірювання дифузії води в різних частинах мозку до та після дослідження. Незважаючи на те, що цей пристрій ще не отримав схвалення FDA, він демонструє величезні перспективи щодо зниження частоти струсів мозку та черепно-мозкових травм (ЧМТ) у спортсменів, які потерпають від зіткнень. Носимий датчик X-Patch Pro і X2 Mouthguard від X2 Biosystems на даний момент є найбільш використовуваними пристроями для вимірювання удару головою в спортивній спільноті. X-Patch Pro – це епідермальний датчик із клеєм, який можна носити за вухом для запису ударів головою. Пристрій передає в програму керування даними датчика (SDM) на електронному пристрої. Датчик продемонстрував зниження частоти ударів головою, що призвело до зменшення струсів мозку на 30–70%, і наразі використовується для вивчення сукупного пошкодження мозку внаслідок повторних ударів головою. Датчики містять триосьовий лінійний акселерометр із сильним ударом і тривісний гіроскоп для фіксації шести ступенів свободи для лінійного та обертального прискорень. X2 Biosystems використовує власне аналітичне програмне забезпечення під назвою xSpouse, щоб зв'язати вимірювання прискорення з тривалістю удару, оціненого від 1 (слабкий удар) до 10 (значний удар). Крім того, пристрій розраховує індекс серйозності Гада (GSI), телеметричний профіль тяжкості удару головою (HITsp) і узагальнену модель прискорення для порогу травми мозку (GAMBIT). Університетські футбольні команди університету Вірджинії та Університет Міссісіпі використовували носимі пристрої від X2 Biosystems. Нещодавно професійні футбольні команди застосували цей пристрій для моніторингу та відстеження власних гравців. Дослідження, проведене Університетом Вірджинії на футбольній команді NCAA Division IA, порівняло кількість і тяжкість ударів головою під ударом голови під час тренувань лише в шоломі, тренувань зі снарядом, тренувань з повною колодкою та сценаріїв гри, щоб визначити, чи є удар головою під ударом голови. на спортсменів коледжу залежить від типу

практики. 7520 футболістів, які брали участь, протягом сезону носили шкірні накладки з датчиком удару xPatch на шкірі, що покриває їх соскоподібний відросток. Результати показали, що регулювання тренувального обладнання може запропонувати життєздатне та багатообіцяюче рішення для різкого зменшення удару голови під ударом голови у студентських футболістів. В іншому дослідженні Університет Міссісіпі використовував датчик шкіри xPatch для моніторингу ударів головою 15 футболістів NCAA Division IA. Після кожного тренування гравці переглядали свої профілі ударів головою, щоб визначити кореляцію між їхніми ударами головою відносно техніки підбору та форми. Результати показали, що показник xSpouse цих гравців знизився на 15% протягом передсезонної підготовки. Ву та ін. використовували високошвидкісне відео для тестування капи, встановленої на зубах (розробленої дослідницькою групою), пластир для м'яких тканин X-Patch Gen 2 (наклеюється на шкіру соскоподібного відростка) [21]. Дослідження було зосереджено на 26-річному чоловікові, який зазнав ударів зі стиснутими зубами. М'яч рухався з початковою швидкістю 7 м/с і був надутий до 8–9 psi. Ця швидкість представляла середню швидкість удару головою в молодіжному футболі. Дослідники розробили метод кількісної оцінки зв'язку черепа переносних датчиків удару голови in vivo. Крім того, вони виявили, що прискорення ділянки шкіри в площині досягає піку в передньо-задньому напрямку і може бути змодельовано за допомогою в'язкопружної системи з недостатнім демпфуванням. Капа показала більш щільне зчеплення з черепом, ніж інші підходи до кріплення датчика. Крім того, накладка на шкірі та черепна кришка мали більші зміщення від черепа порівняно з капою. Результати цих досліджень показали, що переносні пристрої можуть відстежувати та мінімізувати струс мозку; однак для справжнього клінічного впливу на спорт потрібні подальші клінічні випробування та більш глибоке розуміння аналітичних платформ і моделювання роботи датчиків. Робота Reebok є особливо цікавою, оскільки передбачає партнерство з MC10, стартапом, спочатку з дослідницької групи Rogers. Reebok Checklight містить один або кілька акселерометрів, підключених до «розтягнутої» електроніки MC10, яка складається з

ультратонких золотих електродів, які відповідають контуру тіла [22]. Партнерство підкреслює успішне перетворення наукових досліджень у комерційний продукт для моніторингу сил удару по голові в режимі реального часу.

В іншому дослідженні дослідники розробили сухий текстильний наносенсор, який виявляв ранні ознаки ЧМТ шляхом постійного моніторингу різних нейронних проявів, що вказують на травму, таких як сонливість, запаморочення, втома, чутливість до світла та тривога [23]. Пристрій складається з мережі гнучких датчиків, вплетених або надрукованих на тубетейці, яку носять під футбольним шоломом. Пристрій використовував бездротову телеметрію Zigbee/Bluetooth для передачі даних із датчиків на приймач і на віддалений монітор. Система включала чутливий до тиску текстильний датчик, вбудований під зовнішню оболонку шолома, який вимірював інтенсивність, напрямок і розташування сили удару. Інші датчики працювали як інтегрована мережа всередині черепа та включали гнучкий гіроскоп для друку, який вимірював обертальний рух голови та баланс тіла, а також тривимірний акселерометр для друку та гнучкий, який вимірював бічний рух голови та баланс тіла. Крім того, пристрій був оснащений фізіологічними датчиками для визначення частоти пульсу та рівня кисню в крові. Хоча подальші клінічні дані недоступні, оцінка випадків використання таких пристроїв у рандомізованих контрольованих дослідженнях необхідна для подальшого впровадження такої технології для покращення спортивної безпеки та ефективності.

1.3 Висновки. Постановка задачі

У професійних командних видах спорту збір та аналіз даних моніторингу спортсменів є поширеною практикою з метою оцінки втоми та подальших адаптаційних реакцій, вивчення потенціалу продуктивності, а також мінімізації ризику травм та/або хвороб. Системи моніторингу та ранжування спортсменів повинні бути підкріплені відповідним аналізом та інтерпретацією даних, щоб забезпечити швидке надання простої та науково обґрунтованої зворотної

інформації. Використання доцільних наукових і статистичних підходів може підвищити достовірність рішень, прийнятих на основі даних моніторингу та ранжування спортсменів. Існує широкий спектр аналітичних методів та інструментів, які фахівці-практики можуть використовувати в рамках систем моніторингу та ранжування спортсменів, а також кілька факторів, які слід враховувати при зборі цих даних, методи визначення значущих змін і різні підходи до візуалізації даних. В основі успішної системи моніторингу та ранжування спортсменів лежить здатність фахівців передавати та представляти важливу інформацію тренерам, що в кінцевому підсумку призводить до покращення спортивних результатів.

Актуальність роботи полягає в розробці кіберфізичної системи моніторингу та ранжування спортсменів, що дає можливість отримувати тренерам, спортивним менеджерам, спортивним лікарям та іншим фахівцям своєчасну інформацію про фізичний, психологічний стани спортсмена, технічний та тактичний рівні підготовки, що дає можливість покращити спортивні результати як окремого спортсмена, так і команди в цілому, а також запобігти травмам в процесі тренувань.

Метою кваліфікаційної роботи магістра є моніторинг та ранжування спортсменів, шляхом розроблення кіберфізичної системи моніторингу та ранжування спортсменів, яка забезпечує своєчасне надходження інформації тренеру про стан спортсмена, що дає можливість вчасно скорегувати навантаження та запобігти травмам. Поставлена мета досягається розв'язанням таких основних задач:

- 1) аналіз відомих підходів застосування кіберфізичних систем в спортивній індустрії;
- 2) огляд систем та датчиків для моніторингу внутрішнього та зовнішнього навантаження спортсмена;
- 3) моделювання кіберфізичної системи моніторингу та ранжування спортсменів;

- 4) дослідження методів та параметрів моніторингу та ранжування спортсменів;
- 5) розроблення методу моніторингу та методу ранжування спортсменів;
- 6) розроблення архітектури кіберфізичної системи моніторингу та ранжування спортсменів.

2 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ МОНІТОРИНГУ ТА РАНЖУВАННЯ СПОРТСМЕНІВ В КІБЕРФІЗИЧНІЙ СИСТЕМІ

2.1 Моделювання процесу моніторингу спортсменів в кіберфізичній системі

Науковий підхід до спортивної підготовки все частіше передбачає регулярний моніторинг зовнішніх і внутрішніх навантажень, яких зазнає спортсмен, а також його реакції на ці навантаження [24]. Моніторинг спортсмена може забезпечити тренерам і постачальникам послуг більший ступінь впевненості при призначенні та коригуванні тренувального навантаження з метою оптимізації адаптації та продуктивності, одночасно знижуючи ризик перетренованості, травм і захворювань [24 – 26]. Тому рекомендується проводити моніторинг у періоди інтенсивних тренувань [27] або протягом усього періоду спортивної підготовки [28 – 30]. Однак впровадження моніторингу спортсменів вимагає інвестицій часу, фінансових і людських ресурсів для отримання, аналізу та ефективного використання даних.

Моніторинг даних спортсменів має на меті забезпечити тренерам та медичному персоналу інформацію про фізичний стан та прогрес атлетів для оптимізації їхньої підготовки та уникнення травм.

Для моделювання процесу моніторингу даних спортсменів розглянемо задачі для яких використовується моніторинг:

1. Оцінка фізичного стану. Для оцінки фізичного стану використовується вимірювання таких параметрів, як пульс, кисневий обмін, температура тіла, тощо, щоб визначити загальний рівень фізичної підготовки та оцінити втому.

2. Спостереження за навантаженням. Це необхідно для визначення обсягу тренувань, їхньої інтенсивності та тривалості для забезпечення оптимального навантаження та відновлення спортсменів.

3. Моніторинг сну. Врахування якості та тривалості сну є важливою задачею, оскільки це може впливати на відновлення спортсменів та їх продуктивність.

4. Спостереження за травмами та ризиком їх виникнення. Аналіз історії травм та оцінка ризику їх повторення дає спортсменам, тренерам, медичним працівникам можливості правильного планування та побудови тренувального навантаження.

5. Аналіз біометричних показників. Для спортсменів важливим є спостереження за змінами в масі тіла, складі тіла, рівнях гормонів тощо.

6. Оцінка ефективності тренувань. За допомогою моніторингу ефективним є аналіз результатів тренувань та порівняння їх з поставленими цілями.

7. Прогнозування та запобігання перенавантаженням та перевтомленням. Вчасне виявлення збільшеного ризику перенавантаження та вжиття заходів для його запобігання дозволяє мінімізувати ризик травм.

8. Підготовка до змагань. За допомогою моніторингу даних спортсменів можливо оптимізувати тренувальний процес для досягнення пікової форми у визначений час.

Моніторинг даних спортсменів допомагає збалансувати навантаження та відновлення, мінімізувати ризики травм та покращити спортивні результати.

Моніторинг навантаження на спортсменів під час тренувань і змагань став дуже актуальною темою в спортивній науці. Як науковці, так і тренери регулярно відстежують тренувальні навантаження, використовуючи мультидисциплінарні підходи, і пошук найкращих методологій для збору та інтерпретації даних спричинив експоненціальне зростання емпіричних і прикладних досліджень. Дійсно, за останні роки галузь розвивалася з такою швидкістю, що породила індустрію, спрямовані на розробку нових і нових парадигм, які дозволять точно кількісно визначити внутрішні та зовнішні навантаження на спортсменів і допомогти захистити їх від травм і поганого здоров'я. У лютому 2016 року в Досі, Катар, було скликано конференцію «Моніторинг тренувальних навантажень»

спортсменів — як і чому», яка зібрала експертів з усього світу, щоб поділитися своїми прикладними дослідженнями та сучасними практиками в цій галузі, що швидко розвивається, а також дослідити, куди він може розгалужуватися в майбутньому.

Моніторинг тренувального навантаження спортсменів має важливе значення для визначення того, чи вони адаптуються до своєї програми тренувань, розуміння індивідуальних реакцій на тренування, оцінки втоми та пов'язаної з цим потреби у відновленні, а також мінімізації ризику нефункціонального перенапруження, травми та захворювання.

2.1.1 Визначення тренувального навантаження

Визначення тренувального навантаження – це процес планування і регулювання обсягу, інтенсивності та типу тренувань, які спортсмени проводять протягом тренувального циклу. Основна мета полягає у досягненні оптимального балансу між навантаженням та відновленням, що сприяє покращенню фізичної форми та підготовленості спортсмена.

Показники тренувального навантаження можна класифікувати як внутрішні та зовнішні.

Внутрішні тренувальні навантаження визначаються як відносні біологічні (як фізіологічні, так і психологічні) стресори, що діють на спортсмена під час тренувань або змагань. Для оцінки внутрішнього навантаження зазвичай використовуються такі показники, як частота серцевих скорочень, вміст лактату в крові, споживання кисню та оцінка сприйнятого навантаження (RPE).

З іншого боку, зовнішні тренувальні навантаження є об'єктивними показниками роботи, яку виконує спортсмен під час тренувань або змагань, і оцінюються незалежно від внутрішніх навантажень. Загальні вимірювання зовнішнього навантаження включають вихідну потужність, швидкість, прискорення, аналіз часу й руху, параметри глобальної системи позиціонування (GPS) і параметри, отримані від акселерометра. Огляд та оцінка деяких

поширених методів, що використовуються для моніторингу тренувального навантаження спортсмена та/або відповідей, представлені в таблицях 2.1 та 2.2.

Інтегрований підхід до тренувального навантаження також важливий, і з цієї причини внутрішні та зовнішні тренувальні навантаження слід використовувати в поєднанні, щоб забезпечити краще розуміння тренувального стресу. Наприклад, спортсмени, які повторюють те саме заняття в різні дні, можуть підтримувати однакову вихідну потужність протягом тієї самої тривалості (тобто те саме зовнішнє навантаження), але відчувати досить різні внутрішні навантаження (частота серцевих скорочень, рівень лактату в крові, RPE тощо) залежно від їхнього стану, втоми, емоційних розладів, нещодавньої історії тренувань або хвороби. Це роз'єднання внутрішнього та зовнішнього навантажень може допомогти визначити, чи атлет свіжий чи втомлений.

В даній таблиці методи поділені відповідно до внутрішнього та зовнішнього моніторингу, приведена також їх потреба в АПЗ (апаратне забезпечення) та потреба в ПЗ (програмне забезпечення).

Розглянемо як відстежується тренувальне навантаження. На сьогодні є ряд основних методів, що використовуються в спортивній індустрії.

Вимірювання GPS у командних видах спорту. Зовнішнє тренувальне навантаження в командних видах спорту регулярно вимірюється за допомогою GPS. Пристрої GPS вимірюють відстань, розраховану за позиційним диференціюванням. Хоча швидкість можна розрахувати за допомогою відстані, її частіше обчислюють за допомогою методу доплерівського зсуву, оскільки це забезпечує більшу точність і менше помилок, а прискорення згодом виходить зі швидкості.

Через властивий «шум» у даних GPS про швидкість і прискорення вони часто обробляються за допомогою фільтра згладжування в програмному забезпеченні виробника.

Таблиця 2.1 – Методи, що використовуються для моніторингу тренувального навантаження - внутрішній моніторинг

Метод	Потреба в АПЗ	Потреба в ПЗ	Змінні
Внутрішній моніторинг			
Сеансовий рейтинг сприйняття навантаження	-	+/-	Одна змінна в AU (залежна від часу)
Шкала сприймаемого навантаження (RPE)	-	+/-	Одна змінна в AU (залежна від часу)
Тренувальний імпульс (TRIMP)	+	+	Одна змінна в AU (залежна від часу)
Опитувальник здоров'я	-	+/-	Рейтинги, контрольні списки, вимірювання за шкалою AU
Психологічні опитувальники (POMS, Rest-Q-Sport)	-	+/-	Рейтинги, контрольні списки, вимірювання за шкалою AU
Лактат крові	+	+	Концентрація
Показники частоти серцевих скорочень	+	+	Частота серцевих скорочень, час у зонах. Показники варіабельності/відновлення серцевого ритму тощо
Споживання кисню	+	+/-	VO ₂ , метаболічні еквіваленти
Біохімічні/гематологічні дослідження	+	+/-	Концентрації, об'єми

Таблиця 2.2 – Методи, що використовуються для моніторингу тренувального навантаження - зовнішній моніторинг

Зовнішній моніторинг			
Час	+	+/-	Одиниці часу (с, хв, год, д, тиж, р)
Частота тренувань	-	-	Кількість сеансів
Відстань/пробіг	+/-	+/-	Одиниці відстані (м, км)
Кількість повторень рухів	+/-	+/-	Підрахунок активності (наприклад, кроки, стрибки, кидки)
Режим тренування	+/-	-	Силові тренування, біг, їзда на велосипеді, плавання, веслування тощо
Вихідна потужність	+	+	Відносна (Вт/кг) та абсолютна потужність (Вт)
Швидкість	+	+/-	Вимірювання швидкості (м/с, м/хв, км/год)
Прискорення	+	+	Міри прискорення (м/с ²)
Функціональні нервово-м'язові тести	+	+/-	Заходи протидії стрибкоподібному переміщенню та стрибкоподібному падінню
Співвідношення гострого та хронічного навантаження	+/-	+	Розмір гострого тренувального навантаження по відношенню до хронічного навантаження
Метаболічна потужність	+	+	Енергетичний еквівалент

Продовження таблиці 2.2 – Методи, що використовуються для моніторингу тренувального навантаження - зовнішній моніторинг

Метод	Потреба в АПЗ	Потреба в ПЗ	Змінні
Зовнішній моніторинг			
GPS показники	+	+	Швидкість, відстань, прискорення, час у зонах, місцезнаходження
Відео з аналізом руху в часі (автоматизоване)	+	+	Швидкість, місцезнаходження, прискорення
Відео з аналізом руху в часі (неавтоматизоване)	+	+	Швидкість, місцезнаходження, прискорення
Акселерометрія	+	+	x-y-z сила g

Тип фільтра може відрізнитися залежно від виробника та залежно від оновлення програмного забезпечення та мікропрограми. Необроблені або згладжені дані можна експортувати з програмного забезпечення виробника для спеціального аналізу за допомогою спеціального програмного забезпечення. На жаль, не всі виробники розкривають інформацію про те, як обробляються дані, або надають доступ до необроблених даних. Тому спеціалісти-практики повинні докладати зусиль, щоб бути обізнаними про тип обробки даних, який вони використовують, і підтримувати узгодженість своїх методів аналізу (і справді узгодженість обладнання). Може здатися, що достовірність і надійність вимірювання відстані та швидкості покращуються з вищою частотою дискретизації. Однак здатність GPS точно вимірювати швидкість зменшується, коли швидкість суттєво зростає. Тому прискорення, уповільнення та зміну напрямку слід інтерпретувати з обережністю. Також важко визначити надійність GPS-пристроїв усередині одиниці з використанням людей-учасників, оскільки це вимагає точного відтворення руху по трасі чи ланцюгу. Таким чином, потрібні подальші дослідження з оцінки надійності всередині пристрою за допомогою

роботизованої технології для точного відтворення швидкості під час виконання завдання. Крім того, щоб звести до мінімуму варіативність між одиницями, той самий пристрій слід використовувати для спостереження за спортсменом, нова перевірка має відбуватися для кожної моделі GPS або після будь-яких оновлень програмного забезпечення чи мікропрограми, які можуть змінити обробку даних.

Як правило, показники зовнішнього навантаження, отримані за допомогою GPS, можуть включати відстань або кількість зусиль, які виконує спортсмен із різними пороговими значеннями швидкості чи прискорення. Показники зовнішнього навантаження часто неправильно інтерпретуються або під час аналізу, або під час спілкування з іншими практикуючими спортсменами. Наприклад, дистанція спринту зазвичай стосується того, коли спортсмен рухається швидше, ніж порог швидкості спринту (тобто 7 м/с). Це відрізняється від спринту під час тренувань і тестування, де спринт починається зі статичного старту. Подібним чином, зусилля прискорення – це час, який спортсмен витрачає на швидкість вище заданої швидкості (тобто 3 м/с). Оскільки швидкість прискорення швидко знижується після максимального прискорення, це може стосуватися лише перших 1 або 2 кроків спортсмена. Важливо точно окреслити ці показники для тренерів і практиків, перш ніж вони будуть використовуватися, особливо враховуючи експоненціальне зростання кількості нових показників, доступних для користувачів носимих технологій.

Витривалі види спорту. Широкий спектр методів моніторингу внутрішнього навантаження зазвичай використовується у видах спорту на витривалість, включаючи оцінку RPE, психологічні інвентаризації, тренувальний імпульс (TRIMP) і фізіологічні показники, такі як частота серцевих скорочень і її похідні, концентрація лактату в крові та споживання кисню. Також часто використовуються зовнішні вимірювання, такі як швидкість, вихідна потужність, час навчання та відстань (див. таблицю 2.1). Одночасна оцінка специфічних показників навантаження (зовнішнього та внутрішнього) дозволяє оцінити комбінований фізіологічний та психологічний стрес, а також дозволяє прикладним дослідникам та практикуючим лікарям для оцінки стану

втоми/відновлення, коригування індивідуальних тренувальних приписів і визначення зв'язку між цими навантаженнями та продуктивністю.¹⁰ Крім того, такі показники дозволяють класифікувати тренувальний стимул у відносні зони інтенсивності (низький, помірний, високий). Незважаючи на те, що немає єдиного остаточного маркера, який би міг точно кількісно оцінити реакцію фізичної форми та втоми на тренування, розробка та валідація обладнання та методів для кількісної оцінки тренувальних і змагальних навантажень на витривалість отримали значний розвиток в останні роки. Ключові характеристики таких систем мають включати простоту використання та інтуїтивно зрозумілий дизайн, ефективне звітування про результати, можливість використання віддалено, можливість перетворення даних у прості результати, гнучкість і адаптованість для різних видів спорту, здатність просто та ефективно визначати значні зміни, оцінку когнітивні функції та здатність надавати як індивідуальні, так і групові відповіді.

Силові тренування. Силові тренування є невід'ємними компонентами більшості тренувальних програм. Прогресія навантаження зазвичай виконується шляхом реєстрації піднятого навантаження, загальної кількості виконаних повторень для кожного навантаження та обчислення загального обсягу та інтенсивності.

Об'ємне навантаження (кількість повторень \times зовнішнє навантаження [кг]) використовувався для спостереження за спортсменами та для кількісного визначення силових тренувальних навантажень, оскільки не вимагає додаткового обладнання та є дуже зручним підходом до кількісного визначення тренувань. Таку кількісну оцінку було розширено шляхом визначення механічної роботи, що виконується під час виконання вправ з опором. Це вимагає вимірювання сили та переміщення штанги та/ або сили реакції на землю під час стрибків. Для цього завдання було запропоновано декілька методів, зокрема аналіз відео, інерційні датчики та акселерометри, силові пластини, датчики лінійного положення, і V-score. Незважаючи на те, що деякі з них продемонстрували добру валідність і надійність, їх впровадження в прикладних умовах було складним через вартість, а також потреби в часі та робочій силі для збору, аналізу та звітування даних. Поки

що лінійні кодери, інерційні датчики та акселерометри показали багатообіцяючі можливості для кількісної оцінки різних аспектів тренувального навантаження в тренажерному залі. Однак у зв'язку з поширенням нових датчиків на ринку та відсутністю пов'язаних даних про валідність і надійність, фахівцям-практикам важливо проявляти обережність під час їх використання. Бажано використовувати дійсні датчики під час навчання моніторингу та переконатися, що програмне забезпечення, що використовується, працює правильно та надійно, щоб отримані дані можна було використовувати для значущих висновків та порівняння.

Моніторинг навантаження у юних спортсменів. Кількісна оцінка тренувальних і змагальних навантажень у дітей є важливою, оскільки дані свідчать про взаємозв'язок між високими обсягами тренувань у підлітковому віці (13–14 років) і травмами та подальшим раннім виходом на пенсію. Наприклад, молоді гравці у швидкий боулінг у крикет ($14,7 \pm 1,4$ року) мали в 3,1 рази вищий ризик травми, коли вони мали менше 3,5 днів відпочинку між епізодами боулінгу. Крім того, у бейсбольних пітчерів (8–14 років) спостерігався взаємозв'язок, коли помірний об'єм подачі захищав від травм, низький об'єм не мав значення, а великий об'єм (>600 подачі за сезон) викликав вищий ризик травми що збільшувався з кожним додатковим кроком. Ці дослідження чітко вказують на те, що під час роботи з молодими спортсменами планування відповідних тренувальних навантажень і керування моделями навантажень є важливими для гарантування тривалої спортивної кар'єри. Крім того, моніторинг навантаження може бути ефективнішим у запобіганні втраченим дням тренувань, що надзвичайно важливо для розвитку тренувань і впливу на прогресивне збільшення обсягу тренувань. Рекомендується, щоб молоді спортсмени вели щоденники тренувань не лише з метою розуміння своїх тренувальних навантажень, але й для розуміння наслідків навантаження їхньої відвідуваності, продуктивності та здоров'я. Хоча для кількісної оцінки тренувань можна використовувати численні підходи, заходи, пов'язані з RPE, слід використовувати з обережністю, оскільки здатність молодих спортсменів самостійно оцінювати своє сприйняття навантаження та зусиль може бути ненадійною. RPE також не слід розглядати

ізолювано, а слід пов'язувати з іншими об'єктивними методами кількісної оцінки, такими як об'єм, навантаження, стрибки, або розраховує висоту. Крім того, слід запроваджувати інші показники внутрішніх навантажень залежно від виду спорту, віку та доступу до відповідних інструментів. Крім того, у молодих спортсменів слід кількісно оцінити фактори способу життя, оскільки багато факторів стресу, не пов'язаних із тренуваннями чи змаганнями, пов'язані з виснаженням та/або відмовою від спорту. Підлітковий період є періодом високого стресу (сімейні та академічні зобов'язання), і з цих причин моніторинг того, як молоді спортсмени справляються з тренуваннями, повинен застосовувати цілісний підхід, коли рішення щодо прийняттого рівня загального навантаження приймаються спільно командами підтримки спортсменів і сімейними командами. Це може включати психологічні заходи, фізіологічні заходи (наприклад, моніторинг серцевого ритму, співвідношення гострого: хронічного навантаження, фізіотерапевтичні заходи (тобто щоденний скринінг, моніторинг травм), вхідні дані тренера (тобто записи про призначені та фактичні тренування, час виконання) і розмови зі спортсменом. Ці дані необхідно оцінити на предмет будь-яких клінічно значущих змін, перш ніж приймати обґрунтоване рішення щодо майбутніх тренувальних навантажень.

Психологічні заходи моніторингу тренувальних навантажень. Міжіндивідуальні та внутрішньоіндивідуальні відмінності у потенціалі відновлення, здатності до фізичних навантажень, позатренувальних факторах стресу та толерантності до стресу можуть пояснити різні ступені вразливості, яку відчують спортсмени в однакових умовах тренування. Головне – оцінювати спортсменів індивідуально, регулярно спостерігати за ними та порівнювати отримані дані поздовжньо. Дослідження перетренованості показали, що психологічні індикатори більш чутливі та послідовні, ніж фізіологічні. Крім того, психологічні показники можна застосовувати та повідомляти швидше (за хвилини), ніж фізіологічні або кров'яні маркери, для оцінки яких можуть знадобитися дні або тижні. Загальні індекси, які використовуються під час сеансу, включають профіль станів настрою та його похідні. Нещодавно «Шкала швидкого

відновлення та стресу» та її коротка версія «Шкала короткого відновлення та стресу» були розроблені, щоб задовольнити запит практикуючих спортсменів щодо економічного, дійсного та чутливого до змін психометричного інструменту для кількісної оцінки відновлення та стресу. Вибір правильного інструменту для моніторингу тренувальних навантажень залежить від точки зору практикуючого тренера щодо використання даних.

По-перше, інструмент має бути дійсним і надійним і, в ідеалі, супроводжуватися інструкцією з детальним описом його застосування та процесу розробки, а також надавати теоретичну основу та емпіричні дані.

По-друге, необхідно вирішити, чи буде цей показник використовуватися для дослідницьких цілей чи для прикладного зворотного зв'язку зі спортсменами та тренерами.

По-третє, важливі часові рамки інструменту; наприклад, чи має він бути більш глобальним (наприклад, останні 3 дні/ночі) чи дуже конкретним часовим проміжком (прямо зараз).

По-четверте, необхідно встановити чітку петлю зворотного зв'язку, і в ідеалі кваліфікований практик надасть освітню інформацію спортсменам і втрутиться, якщо виникнуть особливі обставини.

По-п'яте, дані не повинні використовуватися для відбору; інакше це порушить відповідність і збільшить шанси підроблених даних.

Нарешті, важливе економічне та свідоме рішення щодо того, коли потрібні дані. Іноді практичніше мати короткий інструмент на щоденній або щотижневій основі та поєднувати його з довшим, детальним тактом після завершення спеціальних етапів підготовки або змагань.

2.1.2 Аналіз даних тренувального навантаження

Однією з головних проблем для вчених і тренерів, які збирають дані про тренування, є можливість аналізувати їх, щоб зробити значущі висновки щодо ефективності тренувальних процесів для окремих спортсменів і тренерів.

Розглянемо загальні методи, які використовуються для аналізу цих даних про тренувальне навантаження.

1. Модель фітнес-втома. Оригінальна модель фізичної форми та втоми, представлена [31] та використовує системно-теоретичний підхід для аналізу реакції на фізичне тренування і описується формулою 1:

$$ZP = FTM - K(VNM), \quad (2.1)$$

де ZP – загальна продуктивність;

FTM – фітнес від тренінгової моделі;

K – константа, яка регулює величину ефекту втоми відносно ефекту тренуваності;

VNM – втома від навчальної моделі.

Деякі спеціалісти модифікували цю початкову модель, щоб врахувати зміни в монотонності тренувань (тобто варіації стимулів тренувального навантаження) і підвищену втому, але, по суті, кожна модель припускає, що тренувальний імпульс (або тренувальний навантаження) викликає відповіді на фізичну форму, які підвищують продуктивність, а також викликають реакції втоми, які знижують продуктивність. Результатом цього підходу є моделі імпульсної відповіді, які пов'язують тренувальні навантаження з продуктивністю, враховуючи динамічні та часові характеристики тренування та вплив тренування в часі. Хоча цей підхід використовувався для керівництва плануванням навчання і можливості прогнозування за його допомогою майбутньої продуктивності, фізичну форму та рівні втоми, його недоліком є надмірне спрощення складних взаємозв'язків між навчанням і результативністю. Дійсно, такі моделі продемонстрували велику варіабельність параметрів і точність у прогнозуванні результатів високопідготовлених спортсменів. Крім того, ці моделі передбачають єдиний показник для представлення продуктивності, що обмежує їх застосування до видів спорту, де фізичні та технічні/тактичні показники можуть відображати справжню продуктивність. Насправді різні конструкції продуктивності спортсмена можуть розвиватися або занепадати з різною швидкістю, і ці процеси

спрощуються цими моделями. Тим не менш, цей підхід забезпечує основу для встановлення майбутніх тренувальних навантажень і періодів відновлення, а також для розуміння загальної реакції спортсменів на тренування.

2. Співвідношення гострого та хронічного навантаження. ACWR є спрощенням оригінальної моделі «фітнес-втома» Баністера, яка використовує ковзні середні для порівняння тренувальних навантажень, виконаних за останній період (зазвичай приблизно 5–10 днів), із хронічним тренувальним навантаженням, виконаним протягом більш тривалого періоду (зазвичай приблизно 4–6 тижнів). Нещодавно повідомлялося, що цей аналітичний підхід дозволяє визначити ризик отримання травм у різних спортсменів. Однак, незважаючи на те, що ACWR цікавий для моніторингу ризику травм, дійсність ACWR нещодавно була поставлена під сумнів оскільки ковзне середнє не враховує спадаючий характер ефектів фізичної форми та втоми з часом, і тому воно може неточно відображати зміни в способі накопичення навантажень.

Альтернативним методом є використання експоненціально зваженого ковзного середнього для розрахунку гострих і хронічних навантажень, який призначає зменшувану вагу для компенсації ефектів затримки навантажень. Проте необхідні подальші дослідження, щоб визначити, чи забезпечує ця нова модель кращий підхід для прогнозування продуктивності та/або травм.

3. Коефіцієнт внутрішнього: зовнішнього навантаження. Внутрішнє і зовнішнє навантаження вимірювання, доступні за допомогою сучасних мікротехнологій (наприклад, GPS), означають, що вимірювання цих пристроїв стають все більш цікавими для вчених і тренерів як неінвазивний підхід до розуміння того, як спортсмени справляються з тренуваннями та змаганнями. Інтегроване співвідношення внутрішнього:зовнішнього навантаження оцінює психофізіологічний стрес, який відчуває спортсмен (тобто частота серцевих скорочень, RPE, вміст лактату в крові тощо) під час тренування в контексті завершеного зовнішнього тренувального навантаження, і може використовуватися для визначення статусу підготовки спортсмена. Наприклад, збільшення внутрішнього навантаження до стандартного зовнішнього

навантаження може свідчити про втому спортсмена або зниження фізичної форми, тоді як зменшення внутрішнього навантаження (нижчий пульс або сприйняття зусиль до стандартного зовнішнього навантаження) вказує на те, що спортсмен набирає фізичну форму і впоратися з навчанням. Крім того, це може інформувати про наслідки навчальних програм, визначити втому під час командних спортивних змагань, і визначити зміни у фізичній формі або статусі втоми. Однак, незважаючи на практичну привабливість, реалізація цього підходу обмежена, якщо не вжити заходів щодо контролю та кількісної оцінки зовнішніх навантажень спортсмена і середовище, в якому виконується вправа.

Реакція продуктивності на тренування є нелінійною, залежить від безлічі факторів, пов'язаних із тренуванням і не пов'язаних із нею, і її важко точно передбачити. Оскільки початкова модель продуктивності, запропонована Баністером та системно-модельний підхід був використаний для покращення розуміння тренувального процесу та застосований для прогнозування продуктивності окремого спортсмена. Дійсно, дослідження, які використовували підхід системної моделі для прогнозування продуктивності, показали значний зв'язок між змодельованою та фактичною продуктивністю в ряді видів спорту, включаючи плавання, біг, їзду на велосипеді, триатлон і метання молота. Однак, на жаль, ширше застосування цього підходу для прогнозування продуктивності високопідготовлених спортсменів обмежене через велику кількість непояснених розбіжностей у прогнозах продуктивності в різних видах спорту на витривалість. Інші обмеження цього підходу полягають у тому, що вони не враховують різні реакції, надані всіма тренувальними стимулами (тобто внутрішнє проти зовнішнього навантаження або аеробне чи силове навантаження тощо), і моделі здебільшого застосовуються до окремих видів спорту. Крім того, вони ще не застосовувалися в командних видах спорту, де тренувальні навантаження між матчами є постійними і існує відносно невелика доза тренувань між змаганнями (тобто зазвичай 1 або 2 гри на тиждень). Хоча точність прогнозування таких моделей з тих пір була вдосконалена за допомогою додавання незмінних у часі параметрів для врахування накопичувальних ефектів втоми, вони все ще не

можуть послідовно передбачити продуктивність окремого спортсмена з високим рівнем впевненості в реальних умовах. Більше того, ці моделі не враховують інші аспекти, які впливають на конкурентоспроможність (тобто вплив навколишнього середовища, психологічний вплив, темп тощо), а також можуть обмежувати їх передбачувану здатність. Тому з практичної точки зору ці прийоми моделювання залишаються мало корисними для прогнозування майбутньої продуктивності високопродуктивних спортсменів. Тим не менш, вони забезпечують важливу теоретичну основу, яка дозволяє тренерам і науковцям розуміти і контролювати тренувальний процес. Щоб подолати обмеження моделей навантаження-відповіді, були запропоновані інші складні методи, такі як нелінійні, багатосарові моделі нейронної мережі сприйняття. Було навіть кілька тематичних досліджень, які показали, що цей підхід помітно зменшує помилку прогнозування продуктивності. Однак характер «чорної скриньки» цих підходів не дозволяє виявити важливі причинно-наслідкові зв'язки між тренуванням і взаємозв'язками результатів, що обмежує їх корисність для допомоги тренерам у розумінні тренінгу. Іншими обмеженнями цих підходів є вимога до дуже великих наборів даних щодо тренувального навантаження (включаючи результативність та інші вимірювання результатів) протягом тривалих періодів, щоб моделі можна було «навчити» для отримання сильних прогнозних результатів. Останні дослідження повідомляють про спрощений аналіз або моделювання даних про тренувальне навантаження в різних спортсменів, щоб зробити висновок про готовність до виконання, повернутися до спорту, і ризик травм. Однак наразі мало досліджень вивчали чутливість і специфічність цих моделей для прогнозування ефективності та травм. Навіть із збільшенням використання носимих датчиків і розширеною здатністю збирати інформацію про навантаження під час тренувань і реакцію спортсмена на тренування все ще потрібна подальша робота, щоб науковці могли використовувати ці великі набори даних і розробляти дійсні моделі, які можна використовувати для зв'язку тренувань з відповідями та продуктивністю спортсменів.

Отже, концептуальну модель процесу моніторингу кіберфізичної системи моніторингу та ранжування можна представити наступним чином (рисунок 2.1). Для змінної PM – параметри моніторингу та результатів моніторингу R_m (залежить від задачі моніторингу та відповідно обраних датчиків) існує метод моніторингу M_m , що наближує R_m на всій множині об'єктів PM , тобто $M_m: PM \rightarrow R_m$ (рис. 2.1).

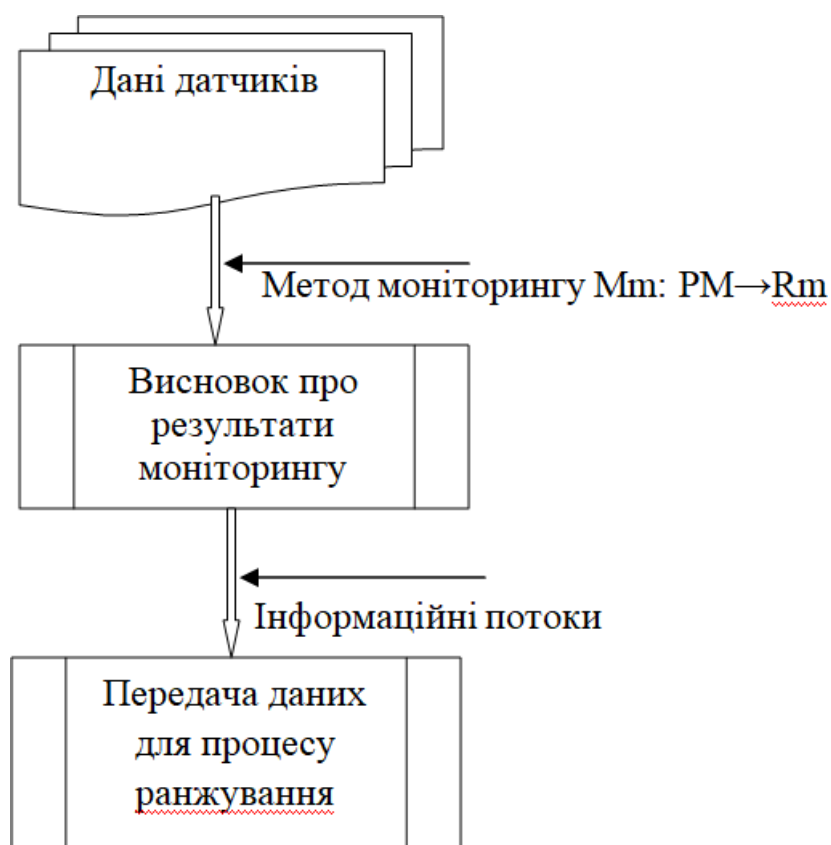


Рисунок 2.1 – Концептуальна модель процесу моніторингу кіберфізичної системи моніторингу та ранжування спортсменів

Основною метою моніторингу навантаження має бути допомога та інформування тренера/менеджера щодо прийняття рішень про доступність гравців для тренувань. Там, де це можливо, навчання тренерів/гравців щодо причин і результатів моніторингу має відбуватися на початку кожного передсезону. Інформація повинна бути спрощена, а звітність обмежена декількома ключовими

показниками. Практики спортивної медицини також повинні надавати гравцям відгуки та рекомендації тренерам у контексті їхніх конкретних обставин. В ідеалі звіти про моніторинг слід належним чином розміщувати в роздягальнях/приміщеннях з індивідуальним відгуком, а не лише груповими засобами. Це не тільки забезпечує подальшу освіту, але й демонструє спортсменам і тренерам, що є здатність контекстуалізувати результати. Для достовірної картини необхідно обирати як внутрішні, так і зовнішні засоби моніторингу, які відповідають їхній конкретній ситуації. Поєднання виконаної роботи (зовнішнє навантаження) та впливу виконаної роботи на гравця (внутрішнє навантаження) забезпечує оцінку здатності спортсмена/ команди впоратися з проведеним тренуванням. Якщо реалізовувати довгостроково, комбінація внутрішнього та зовнішнього моніторингу також може надати інформацію про адаптацію тренувального навантаження як для окремих осіб, так і для команд. В ідеалі слід використовувати поєднання об'єктивних і суб'єктивних інструментів. Це забезпечує рівний баланс між сприйняттям спортсмена та кількісно визначеною практикою. Це особливо важливо під час роботи з малоосвіченою або скептично налаштованою тренінговою групою. Хоча це зручно та дієво, методи моніторингу часто можуть бути неправильно використані спортсменами, які прагнуть помилково вплинути на наступні тренування. У цьому сценарії об'єктивна форма моніторингу може бути більш доречною, поки спортсмени знайомляться та навчаються відповідним методам моніторингу. Крім того, деякі тренери можуть вважати, що розміщення пристроїв моніторингу на спортсменах змінює їхню увагу з виконання навичок на фізичну продуктивність.

Незважаючи на переваги моніторингу навантаження спортсмена та внесок цієї галузі спортивної науки в результативність спортсмена, існують обмеження, які заслуговують на визнання. Усі методи мають переваги та обмеження, які часто залежать від контексту програми, до якої вони застосовуються, і цілей, яких потрібно досягти. Прийнятна валідність і надійність є мінімальним критерієм для впровадження. Стандарт конкуренції та наявні ресурси впливатимуть на рівень толерантності до питань, пов'язаних із витратами, точністю, простотою

використання та персоналом. Хоча стандарти для прикладної практики мають бути подібними до тих, які очікуються в дослідженні, на вибір методу може вплинути логістика впровадження. Наприклад, sRPE є недорогим методом, перевага якого полягає в тому, що він здатний кількісно визначити навантаження незалежно від режиму чи місця. На відміну від цього, GPS-аналіз руху в часі можливий лише у зовнішньому середовищі без перешкод над головою, вимагає апаратного та програмного забезпечення та обмежується локомоторними рухами та відстеженням положення. Однак його легко інтерпретувати і можна використовувати для призначення навчання. Акселерометри, часто інтегровані з іншими датчиками в носимих пристроях, схожі за вартістю та вимогами до апаратного та програмного забезпечення та мають перевагу незалежності від місця розташування та активності, але мають обмеження в інтерпретації даних і прямому використанні для призначення навчання. Методи, які безпосередньо кількісно визначають одиницю вимірювання (наприклад, частоту серцевих скорочень, відстань, швидкість, час) або здатні підраховувати випадки чи повторення, легко інтерпретуються та можуть бути використані для планування та призначення тренувань, а також для оцінки вимог змагань. Використання комбінованих або похідних методів, які зазвичай вимірюються в довільних одиницях (наприклад, TRIMP, отримане з частоти серцевих скорочень), метаболічна потужність (отримана з локомоторного прискорення та уповільнення), навантаження гравця (отримане з прискорення акселерометра) та sRPE (отримане з сприйняття зусилля) ускладнює інтерпретацію результатів, але може принести більше розуміння за умови правильного аналізу. Цілі системи моніторингу навантаження та контекст, у якому вона застосовуватиметься, можуть визначити, чи є певні обмеження прийнятними чи ні. Послідовний і суворий підхід у програмі протягом тривалого періоду, навіть з використанням методу, який має деякі обмеження, може надати значущі дані та вплинути на практику, особливо якщо використовується разом з іншими об'єктивними та суб'єктивними показниками. Там, де потрібні порівняння між програмами або у спорті чи в дослідницькому контексті, тоді метод має бути дійсним, надійним і

здатним привести до більш чітких, самостійних інтерпретацій. Зі швидкістю розвитку мініатюрних технологій, аналітичних інструментів і додатків, які можна носити, відносно легко передбачити, що вчені, спортсмени та тренери майбутнього матимуть доступ до більшої кількості сенсорних рішень для прогнозування та координації продуктивності, ніж будь-коли. Аналіз ринку показав, що приблизно 19 мільйонів фітнес пристроїв, ймовірно, продаватиметься кожного року з прогнозом зростання до 110 мільйонів на рік. Спортсмен або команда вже має доступ до масиву внутрішніх і зовнішніх маркерів навантаження. У міру того, як технології вдосконалюються, здатність інтегрованого пристрою (або одягу) для визначення всіх аспектів механічного, фізіологічного та психологічного навантаження в реальному часі стає реальністю. Це може включати неінвазивні технології для вимірювання крові та епігенетичних змінних (або відповідей) на навантаження, а також повідомляти про споживання/витрати калорійності та процеси відновлення (сон тощо). Це не лише спричинить проблеми щодо валідності та надійності вимірювань, але й порушить значні проблеми щодо інтерпретації даних. Використовувані аналітичні моделі стають більш складними та, включають в себе такі процеси, як розпізнавання образів, нейронні мережі та машинне навчання. Неявно в цих розробках є потреба забезпечити цілісність і чистоту даних і екологічну обґрунтованість моделей, які використовуються для прогнозування продуктивності та ризику травм. Завдання полягатиме в тому, щоб програмісти могли зрозуміти контекст даних (для кожного конкретного виду спорту/події) і щоб дані могли бути представлені спортсменам і тренерам у змістовній формі. Здатність візуалізувати дані в значущий спосіб буде мати вирішальне значення для того, щоб діяльність, пов'язана з навчальним навантаженням, могла інформувати та впливати на процес навчання. Дослідження у сфері бізнесу показали, що правильне налаштування та візуалізація інформації може підвищити якість інформації та потенційно призвести до швидшого та точнішого отримання та обробки цієї інформації. Для того, щоб розробити підходи до тренувань, що базуються на фактичних даних, і враховуючи постійно зростаючий бізнес-

природу елітного спорту, буде ставати все більш необхідною розробка більш ефективних рішень для аналізу даних і візуалізації для тренерів і спортсменів.

2.2 Моделювання процесу ранжування спортсменів в кіберфізичній системі

Процес ранжування спортсменів має на меті визначити їхній рівень вмінь, навичок та досягнень у відповідній галузі спорту. Цей процес є важливим для багатьох цілей, включаючи відбір до команд, розподіл спортсменів на рівні групи для тренувань та змагань, а також визначення потенційних учасників змагань.

Для моделювання процесу ранжування необхідно розглянути задачі процесу ранжування спортсменів:

1. Відбір та рекрутинг. Оцінка спортивного потенціалу кандидатів для включення до команди або програми.
2. Оцінка поточного рівня. Визначення поточного стану підготовленості та навичок спортсменів для подальшого планування тренувального процесу.
3. Групування для тренувань. Розподіл спортсменів на групи з відповідним рівнем, щоб забезпечити оптимальні умови для їхнього розвитку.
4. Підготовка до змагань. Визначення найсильніших спортсменів для участі в змаганнях або подіях.
5. Мотивація та розвиток. Сприяння мотивації спортсменів шляхом визнання їхніх досягнень та прогресу.
6. Оцінка потенціалу. Визначення потенційних талантів та виявлення можливостей для подальшого розвитку.
7. Підтримка розвитку кар'єри. Надання спортсменам можливостей для просування у своїй галузі та розвитку їхньої спортивної кар'єри

Ранжування спортсменів може базуватися на різних критеріях, таких як технічні навички, фізична підготовленість, вікові категорії, рівень досвіду тощо. Важливо, щоб цей процес був об'єктивним, справедливим та спрямованим на підтримку розвитку кожного спортсмена у відповідності з його потенціалом.

Вимірювання успішності виконання впливає на можливості участі в індивідуальних видах спорту на найвищому рівні через такі механізми, як кваліфікація до найбільших змагань, спонсорські контракти, державне фінансування спортивних організацій, а згодом і фінансування спортсменів цими організаціями. Перемоги та особисті рекорди є типовими показниками видатних досягнень у цій ситуації. Успіх у виконанні також можна розглядати як кінцеву точку спортивної медицини та епідеміологічних досліджень у елітному спорті шляхом виявлення та дослідження факторів, які впливають на результат виконання.

Отже, концептуальну модель процесу ранжування кіберфізичної системи моніторингу та ранжування можна представити наступним чином (рисунок 2.2).



Рисунок 2.2 – Концептуальна модель процесу ранжування кіберфізичної системи моніторингу та ранжування спортсменів

Для змінної R_m – результати моніторингу та R – рейтинг за відповідними параметрами існує метод ранжування M_r , що наближує R на всій множині об'єктів R_m , тобто $M_r: R_m \rightarrow R$ (рис. 2.2).

2.3 Висновки

У другому розділі кваліфікаційної роботи був проведений огляд методів моніторингу та ранжування. Науковий підхід до спортивної підготовки все частіше передбачає регулярний моніторинг зовнішніх і внутрішніх навантажень, яких зазнає спортсмен, а також його реакції на ці навантаження. Було проведено дослідження внутрішніх та зовнішніх параметрів, які може моніторити кіберфізична система. Проведено моделювання процесу моніторингу та процесу ранжування спортсменів в кіберфізичній системі. Представлені концептуальні моделі процесу моніторингу та процесу ранжування кіберфізичної системи моніторингу та ранжування спортсменів.

3 МЕТОДИ МОНІТОРИНГУ ТА РАНЖУВАННЯ СПОРТСМЕНІВ КІБЕРФІЗИЧНОЮ СИСТЕМОЮ

3.1 Метод моніторингу спортсменів кіберфізичною системою

Збір і розуміння корисних та інформативних змінних є обов'язковим для успішної системи моніторингу спортсменів. Здатність збирати та мати доступ до даних про спортсменів швидко розширилися з підвищенням доступності технологій моніторингу, наприклад, даних з пристроїв глобальної системи позиціонування (GPS), акселерометрів, гіроскопів, магнітометрів, пульсометрів, силових пластин, датчиків лінійної сили та самозвітів. Враховуючи велику кількість даних, тренери та спортивні лікарі повинні вибрати ті дані, які найкраще допоможуть відповісти на запитання тренерів і спортсменів.

Перед тим, як збирати дані моніторингу спортсменів, фахівці повинні врахувати декілька факторів, а саме як ці дані будуть збиратися (наприклад, логістика, ресурси), які є потенційні обмеження певних змінних (наприклад, валідність, надійність), а також як ці дані можуть бути ефективно передані тренерам і спортсменам. Ці змінні повинні бути придатними не тільки для оцінювання результатів тренувальної програми (наприклад, валідність, надійність, результативність), але також бути корисними для призначення тренувань. Щоб визначити відповідні змінні, які підходять, тренери можуть скористатися принципом «працювати швидко – працювати повільно». Використовуючи цю концепцію, прикладні дослідження можуть визначити змінні, які пов'язані з показниками результатів програми для оцінки індивідуальних змін у фізичній формі та рівнях травматизму або захворювань.

Важливість індивідуального моніторингу очевидна, враховуючи різні реакції на певний тренувальний стимул, що потенційно може впливати на швидкість адаптації. Варіабельність реакції на тренування між спортсменами може бути зумовлена різними факторами, включаючи вік, стать, історію тренувань, рівень фізичної підготовки, психологічний стан та генетику.

Важливо, що ці фактори впливають на те, як аналізуються, інтерпретуються та представляються дані моніторингу спортсмена. При відображенні змін у даних (наприклад, фітнес-тестування), фахівці повинні відображати зміни, що відбуваються всередині спортсмена.

Крім того, при інтерпретації змін у таких відповідях можуть бути використані індивідуалізовані методи, такі як Z-критерій, щоб підкреслити відносну зміну змінної. У дослідженнях так само важлива індивідуалізація, оскільки індивідуальні характеристики можуть змінювати вплив лікування та тренування, при цьому дослідники повинні визнати і спробувати виміряти різні індивідуальні характеристики. Хоча часто це неможливо, оскільки контрольовані дослідження вимагають великих розмірів вибірки або повторних вимірювань для усереднення, щоб компенсувати великі помилки вимірювання. Слід повідомляти про середні значення та стандартні відхилення (SD), оскільки вони відображають варіацію у відповідях, що відображає вплив тренування на різних людей. Середнє квадратичне відхилення на вихідному рівні може бути використано для оцінки величини ефекту та індивідуальних відповідей шляхом стандартизації. Ці дані можуть бути представлені на індивідуальному або груповому рівні, де середнє значення і SD змін у кожній експериментальній групі, де відображається середнє значення та SD балів змін. Крім того, довірчі інтервали (ДІ) можуть бути включені, оскільки ДІ ефективно відображають справжнє значення дисперсії індивідуальних відповідей.

Окремо прикладом врахування індивідуальних особливостей зовнішніх тренувальних навантажень за допомогою GPS-аналізу, є використання індивідуалізованих швидкісних порогів [32]. Індивідуалізовані пороги враховують швидкісні можливості спортсменів (а не абсолютні пороги, наприклад, 5 м/сек) при визначенні дистанції швидкісного бігу, оскільки різні можливості призводять до різних швидкостей при якій починається високоінтенсивний біг. Пропрієтарне програмне забезпечення GPS зазвичай дозволяє ці порогові значення, які можуть бути визначені за допомогою показників анаеробної продуктивності, потужності інтервального тренування, максимальної аеробної швидкості, максимальної

швидкості бігу, або комбінації показників. Хоча індивідуальні порогові значення мають перевагу при плануванні. При розробці тренувальних програм і при кількісній оцінці тренувального навантаження слід враховувати певні обмеження, які необхідно враховувати при визначенні цих порогів. Оскільки визначення індивідуальних порогів вимагає тестування, тренери повинні проводити їх часто в рамках тренувальної програми. Якщо це неможливо, сезонні варіації у фізичній підготовці не будуть оцінені, тому поріг не буде відображати справжніх можливостей спортсменів. Тому абсолютні пороги можуть бути більш придатними в деяких контекстах, можливо, у видах спорту, де немає великої варіації у фізичних можливостях спортсменів, але також дозволяє проводити довготривалу оцінку фізичних навантажень під час змагань. У межах дослідження абсолютні порогові значення дозволяють порівнювати різні види спорту та/або змагання, однак відмінності у виробниках GPS, частоті вибірки та методах обробки даних впливають на такі порівняння. Враховуючи все це, фахівці-практики повинні розглянути, який метод є найбільш підходящим для оцінки даних, на основі яких формуються тренувальні призначення. Розподіл безперервних даних на дискретні категорії (дискретизація) є поширеним явищем у прикладних налаштуваннях, наприклад, при використанні порогових значень на основі швидкості та прискорення або сповільнення, а також категорій Z-балів. Дискретизація даних може допомогти в узагальненні та представленні даних і тому поширена у спорті, однак ця практика привертає увагу як проблема. Дискретизація даних призводить до втрати статистичної сили, коли існує велика кількість «категорій», оскільки зв'язок між предиктором і результатом зменшується. Щодо ризику травматизму, дискретизація припускає, що кожна особа має однаковий ризик у межах кожної категорії, а варіація в межах категорії ігнорується [33]. Докази показали, що дискретні моделі поступаються безперервним моделям для пристосування профілів ризику травматизму спортсменів, наприклад у футболі. Враховуючи ці фактори, практикуючі фахівці можуть побажати зберігати дані як безперервні, доки не з'являться більш підходящі методи, хоча більш відповідні методи, хоча їх використання все ще є

поширеним (наприклад, швидкісні пороги, системи сигналізації). Альтернативні методи, такі як сплайн-регресія або дробові поліноми, як пропонується в дослідженнях, можуть бути використані, хоча вони виходять за рамки цього. Насамкінець, перш ніж збирати дані про спортсменів, фахівці-практики повинні враховувати низку чинників, які можуть вплинути на їхню поведінку, а також на те, чи будуть вони на основі даних моніторингу приймати обґрунтовані рішення залежно від контексту виду спорту та цілей системи моніторингу.

Методи, що використовуються для аналізу даних моніторингу спортсменів, можуть залежати від таких факторів, як аналітичні навички спортивного науковця, наявні ресурси, а також філософія тренера та іншого персоналу. Існує багато інструментів, доступних для практиків, незалежно від навичок або ресурсів, які можуть дозволити отримати значущу інформацію з даних, що дозволить створити простий і ефективний зворотний зв'язок [34]. По-перше, фахівці повинні продумати, де зберігатимуться дані моніторингу та де до них матимуть доступ відповідні зацікавлені сторони, оскільки це може вплинути на процес подальшого аналізу даних. Наприклад, багато професійних спортивних команд використовують комерційне програмне забезпечення для моніторингу спортсменів, яке може бути безпечним та ефективним методом зберігання, аналізу та представлення даних. Комерційні системи моніторингу можуть сильно відрізнятися за вартістю через різні додаткові функції, які можуть допомогти в аналізі даних. Фахівці-практики можуть віддати перевагу проведенню власного аналізу за допомогою таких програм, як Microsoft Excel або R Studio [35]. Це може бути пов'язано з фінансовими причинами, обмеженим залученням інших співробітників при використанні комерційних моніторингових систем (СМ) або з навичками, необхідними для розробки та управління СМ.

Існує багато методів розрахунку кумулятивних навантажень для тренувань, наприклад навантаження за попередньо визначені періоди, такі як 7, 14 і 21 день [36]. У порівнянні з попередньо визначеними тижневими періодами (наприклад, з понеділка по неділю), ковзні підсумки можуть бути корисним методом, який допомагає подолати вплив різних періодів відновлення між матчами, що є

поширеним явищем у командних видах спорту. Використовуючи ковзні навантаження, співвідношення гострого та хронічного навантаження було розроблено та досліджено в ряді командних видів спорту. Вказівка на те, де гостре (наприклад, 7 днів) навантаження спортсмена знаходиться по відношенню до хронічного періоду (наприклад 28 днів), забезпечуючи оцінку співвідношення. Незважаючи на поширеність цих конкретних часових рамок або «вікон» у дослідженнях, найбільш підходящі вікна повинні відображати особливості виду спорту, структуру змагань та вимоги до тренувань, а також зв'язок з травмою та/або продуктивністю [37]. Наприклад, у змаганнях Національної баскетбольної федерації, враховуючи високу частоту ігор (> 1 гра на тиждень), коротший «гострий» період (наприклад, 3 дні) може бути найбільш доцільним. Фахівці досліджують, які вікна є найбільш прийнятними в їхньому середовищі, і звертають увагу на те, що ці вікна можуть відрізнятися залежно від змінної, що вимірюється. Щоб визначити, які змінні та вікна є найбільш застосовними, рекомендується використовувати методи, що застосовуються в прикладних дослідженнях [38].

Моніторинг спортсменів за допомогою кіберфізичної системи може бути дуже ефективним для відстеження їхньої фізичної підготовки та прогресу в тренуваннях. Опишемо ключові кроки у модулі моніторингу спортсменів з використанням кіберфізичної системи.

1. Визначення цілей та метрик. Необхідно почати з визначення конкретних цілей для кожного спортсмена. Ці цілі можуть бути пов'язані з фізичними показниками (наприклад, швидкість, сила, витривалість), технічними навичками (наприклад, точність, реакція, координація) або загальними аспектами гри (наприклад, ефективність в атаку та захист).

2. Вибір відповідних сенсорів та обладнання. Обираємо сенсори та обладнання, які дозволять вимірювати попередньо вибрані потрібні параметри. Це може бути все, від датчиків руху та серцевого ритму до спеціальних платформ для вимірювання силових показників.

3. Збір даних під час тренувань і змагань. Для цього використовується відповідний модуль кіберфізичної системи, а саме модуль для збору даних під час тренувань і змагань. Це може включати носіння сенсорів гравцями, використання спеціальних м'ячів з датчиками або використання інших обладнання для вимірювання різних параметрів гри.

4. Аналіз та інтерпретація даних. Після збору даних проводиться їх аналіз та інтерпретація. На цьому етапі необхідно визначити, чи досяг спортсмен своїх цілей, і виявити будь-які слабкі місця, які потребують уваги.

5. Планування тренувальних програм. На основі результатів аналізу є можливість розробити індивідуальні тренувальні програми для кожного спортсмена. Це дозволить максимально ефективно зосередитись на поліпшенні слабких місць та збереженні сильних сторін.

6. Моніторинг прогресу. Цей крок дозволяє підтримувати постійний моніторинг прогресу спортсменів, вимірюючи їхні показники на протязі часу. Це допомагає виявляти тенденції та вносити корективи в тренувальні програми за необхідності.

Моніторинг спортсменів з використанням кіберфізичної системи дозволяє тренерам і фахівцям по фізичній підготовці отримувати об'єктивні дані про прогрес і потреби кожного спортсмена, що в свою чергу сприяє покращенню їхньої гри та досягненню найкращих результатів.

3.2 Правила моніторингу спортсменів кіберфізичною системою моніторингу та ранжування спортсменів

Перед тим як формувати правила моніторингу спортсменів кіберфізичною системою необхідно почати з визначення показників моніторингу та/або конкретних цілей для кожного спортсмена. Ці цілі можуть бути пов'язані з фізичними показниками (наприклад, швидкість, сила, витривалість), медичними показниками (показники серцевого ритму, частота серцевих скорочень, температура тіла, тощо), психо-емоційними факторами (втома, стрес,

хвилювання, тощо), технічними навичками (наприклад, точність, реакція, координація) або загальними аспектами гри (наприклад, ефективність в атаку та захист). Отже, мають бути задіяні відповідні лічильники: фізичні показники – f , медичні показники – m , психо-емоційні фактори – p , технічні навички – t , загальні аспекти гри – g .

Правила налаштовані з урахуванням конкретних потреб і вимог тренувального процесу та специфіки підготовки спортсменів. Вони допомагають автоматизувати моніторинг та реагування на виявлені тенденції чи проблеми, що дозволяє оптимізувати тренувальний процес і підтримувати спортсменів на найвищому рівні в довгостроковій перспективі. Ці правила допомагають системі моніторингу ефективно виявляти потенційні проблеми та надавати рекомендації для підтримки здоров'я та оптимальної фізичної підготовки спортсменів.

1. ЯКЩО середня швидкість руху спортсмена на тренуваннях менше попереднього значення, ТО відправити сповіщення про можливу проблему з фізичною підготовкою, $f = f+1$.

2. ЯКЩО серцевий ритм спортсмена під час тренувань перевищує заданий поріг, ТО відправити сповіщення тренеру про можливе перевантаження або погіршення стану здоров'я, $f = f+1$.

3. ЯКЩО результати тестування показують погіршення в певних параметрах (наприклад, вертикальний стрибок або час реакції), ТО автоматично змінити тренувальну програму для фокусування на покращенні цих аспектів, $t = t+1$.

4. ЯКЩО спортсмен досягає певного показника (наприклад, певна кількість кроків або кількість тренувань) за певний період часу, ТО відправити йому позитивне сповіщення або нагороду для стимулювання продовження успішної роботи, $g = g+1$.

5. ЯКЩО спортсмен не відповідає на запити чи не виконує покладені завдання у визначений час, ТО відправити сповіщення тренеру для подальшого вирішення ситуації, $g = g+1$.

6. ЯКЩО час відновлення спортсмена після тренування або змагань значно збільшується порівняно зі звичайними показниками, ТО сповістити тренера та рекомендувати зменшити навантаження або вжити інші заходи для прискорення відновлення, $m = m+1$.

7. ЯКЩО спортсмен досягає певної мети (наприклад, покращення швидкості чи сили), ТО автоматично позначити це в його особистому профілі та вислати сповіщення про досягнення цієї мети, $f = f+1$.

8. ЯКЩО рівень активності спортсмена падає нижче заданого порогу протягом певного періоду часу, ТО надіслати сповіщення тренеру для вжиття заходів щодо стимулювання більшої активності, $f = f+1$.

9. ЯКЩО показники спортсмена виходять за певні межі, встановлені для оптимальної продуктивності (наприклад, серцевий ритм занадто високий або низький, температура тіла змінюється тощо) ТО відправити негайне сповіщення тренеру та надати рекомендації для подальших дій, $m = m+1$.

10. ЯКЩО спортсмен пропускає тренування без попереднього повідомлення, ТО автоматично відправити сповіщення тренеру та зберегти запис про пропуск для подальшого аналізу, $g = g+1$.

11. ЯКЩО середня частота серцевих скорочень спортсмена під час тренувань перевищує встановлений нормативний поріг, ТО надати сповіщення тренеру про потенційний перенапруження або ризик перевтомлення, $m = m+1$.

12. ЯКЩО тривалість сну спортсмена менше оптимального рівня протягом тривалого періоду, ТО рекомендувати спортсменові звернутися до спеціаліста для консультації з режимом сну, $m = m+1$.

13. ЯКЩО кількість калорій, спалених спортсменом під час тренувань, не відповідає вимогам для його фізичної активності, ТО надати рекомендації щодо корекції дієти, $m = m+1$.

14. ЯКЩО рівень гідратації спортсмена падає нижче оптимального рівня протягом тривалого періоду, ТО надати рекомендації з підтримки правильного рівня гідратації під час тренувань, $m = m+1$.

15. ЯКЩО спортсмен демонструє зниження фізичних показників протягом кількох тренувань підряд, ТО рекомендувати відпочинок або легкий тренувальний день для відновлення, $f = f+1$.

16. ЯКЩО рівень активності спортсмена поза тренуваннями (наприклад, кількість кроків, зроблених за день) падає нижче звичайного рівня протягом тривалого періоду, ТО надати рекомендації щодо підтримки активного способу життя, $f = f+1$.

17. ЯКЩО спортсмен перевищує встановлений нормативний показник для пульсу під час тренувань, ТО надати рекомендації щодо зменшення інтенсивності тренування або підвищення рівня відпочинку, $m = m+1$.

18. ЯКЩО частота втрат ваги спортсмена вища за норму протягом тривалого періоду, ТО надати рекомендації щодо правильного харчування та гідратації для підтримки оптимального вагового контролю, $m = m+1$.

19. ЯКЩО рівень кисню в крові спортсмена під час тренувань виявляється нижчим за норму, ТО надати рекомендації щодо використання дихальних технік для поліпшення кисневого обміну, $m = m+1$.

20. ЯКЩО рівень стресу або тривоги спортсмена зростає протягом тривалого періоду, ТО надати рекомендації щодо психологічної підтримки або стратегій зняття стресу, $m = m+1$.

21. ЯКЩО спортсмен зазнає травми під час тренувань або змагань, ТО надати негайну медичну допомогу та рекомендації щодо реабілітації та відновлення, $m = m+1$.

22. ЯКЩО спортсмен перевищує рекомендовану тривалість або інтенсивність тренувань без належного відпочинку, ТО надати рекомендації щодо раціоналізації тренувального режиму, $f = f+1$.

23. ЯКЩО спортсмен під час тренувань демонструє низький рівень активності або неактивність протягом певного періоду, ТО надати попередження щодо можливого ризику здоров'я внаслідок сидячого способу життя, $m = m+1$.

24. ЯКЩО спортсмен збільшує час тривалості тренувань протягом декількох послідовних днів, ТО надати рекомендації щодо раціонального розподілу тренувального навантаження для уникнення перенапруження, $f = f+1$.

25. ЯКЩО рівень лактату у м'язах спортсмена перевищує норму під час тренувань, ТО надати рекомендації щодо оптимального управління інтенсивністю тренування для підтримки аеробної витривалості, $m = m+1$.

26. ЯКЩО вимірний рівень глюкози в крові спортсмена виявляє аномалії протягом тренувань, ТО надати рекомендації щодо збалансованого харчування та контролю рівня глюкози перед тренуваннями та після них, $m = m+1$.

27. ЯКЩО спортсмен виявляє симптоми перенапруження або перевтомлення, ТО надати рекомендації щодо відпочинку та відновлення, включаючи зменшення тренувального навантаження та збільшення тривалості сну, $m = m+1$.

28. ЯКЩО спортсмен виявляє суттєве зниження швидкості чи сили у виконанні певних вправ або рухів протягом тренувань, ТО надати рекомендації щодо змін тренувальної програми для відновлення втрачених навичок або силових показників, $f = f+1$.

29. ЯКЩО спортсмен виявляє підвищений рівень тривожності або стресу на підставі аналізу його пульсу, кількості кроків або інших біометричних даних, ТО надати рекомендації щодо психологічної підтримки або стратегій зняття стресу, $p = p+1$.

30. ЯКЩО спортсмен під час тренувань демонструє низький рівень концентрації або уваги, що може призвести до помилок або травм, ТО надати рекомендації для покращення фокусу та концентрації під час тренувань, $p = p+1$.

31. ЯКЩО спортсмен виявляє погіршення координації рухів або реакцій під час тренувань, ТО надати рекомендації для використання спеціальних вправ або тренувань для покращення цих аспектів, $t = t+1$.

32. ЯКЩО спортсмен демонструє нестабільний рівень настрою або емоційної стабільності впродовж тренувань або змагань, ТО надати рекомендації щодо психологічної підтримки або технік збереження спокою, $p = p+1$.

33. ЯКЩО спортсмен демонструє збільшення кількості випадків травм або незручностей під час тренувань, ТО надати рекомендації для підвищення уваги до техніки виконання вправ та управління ризиками, $t = t+1$.

Після проведення процесу моніторингу, отримані результати використовуються для ранжування спортсменів по певним показникам, а також можливе надання рекомендацій як тренеру, так і спортсмену через діалоговий модуль кіберфізичної системи моніторингу та ранжування спортсменів.

Розглянемо приклади повідомлень, які система може передавати тренеру в залежності від вибору параметрів моніторингу.

1. Показники серцевого ритму спортсмена знаходяться в нормі, інтенсивність тренування може бути збільшена.

2. Спортсмен зазначив появу незначних болей у коліні під час тренування, рекомендується зменшити навантаження на ноги та провести огляд.

3. Показники спортивної витривалості зросли на 10% порівняно з минулим тижнем, що свідчить про покращення фізичної підготовки.

4. Спортсмен виявив збільшення пульсу та підвищення температури тіла, можливо, він перевтомився та потребує відпочинку.

5. За даними кіберфізичної системи, рухи спортсмена виявляють відхилення від норми, що може бути зв'язано з травмою або неправильною технікою виконання вправ.

6. Зафіксовано зниження рівня глюкози в крові спортсмена під час тренування, рекомендується прийняти калорійний підвищений перекус.

7. Показники дихання вказують на глибокий вдих і повільний видих, що свідчить про правильну техніку дихання під час фізичного навантаження.

8. Спортсмен показав високу витривалість під час тренування, проте спостерігається незначне зниження швидкості реакції, можливо, варто провести тренування реакції.

9. Показники силових вправ під час тренування вказують на перевантаження м'язів, рекомендується зменшити вагу або обсяг навантаження.

10. Спортсмен демонструє підвищену активність під час тренування, рекомендується збільшити тривалість або інтенсивність тренування.
11. Функціональна провокація виявила недостатню гнучкість спортсмена, рекомендується включити розтяжку в програму тренувань.
12. Показники витрати калорій свідчать про високий рівень енергії, спортсмен може бути витомленим після тренування.
13. Зафіксовано збільшення частоти серцевих скорочень під час тренування, рекомендується контролювати навантаження.
14. Показники роботи м'язів вказують на велику симетрію в рухах спортсмена, що свідчить про високу технічну майстерність.
15. Збільшення ваги спортсмена може впливати на його спортивні досягнення, рекомендується скоригувати дієту та програму тренувань.
16. Фізична активність спортсмена за останній тиждень зменшилась на 20%, можливо, він зазнає перевтоми або відчуває втому.
17. Зафіксовано зниження гідратації спортсмена, рекомендується збільшити споживання води під час тренувань.
18. Показники концентрації уваги вказують на розподілення уваги спортсмена на декілька завдань одночасно, можливо, варто зосередитися на одному аспекті тренування.
19. Спортсмен виявив збільшення рівня стресу, рекомендується провести бесіду для визначення причин та подальшого планування.
20. Показники відновлення після тренування вказують на повільний відновлювальний процес, можливо, спортсмену необхідно збільшити час відпочинку між тренуваннями.
21. За даними кіберфізичної системи, спортсмен демонструє низький рівень силових показників, можливо, варто скоригувати програму тренувань.
22. Виявлено збільшення частоти дихання спортсмена під час тренування, рекомендується зосередитися на правильній техніці дихання.
23. Спортсмен показав зниження рівня стресу під час тренування, що свідчить про покращення психологічного стану.

24. Показники кількості кроків під час дня вказують на низьку активність в позатренувальний період, рекомендується збільшити рухову активність.

25. Спортсмен показав високий рівень концентрації під час тренування, рекомендується використовувати ці моменти для навчання нових навичок.

Ці повідомлення можуть бути доповнені додатковими деталями відносно досягнутого прогресу, поточного стану спортсмена та рекомендаціями щодо подальших дій.

Отже, на основі всього вищеописаного сформуємо метод моніторингу спортсменів в кіберфізичній системі моніторингу та ранжування спортсменів. Метод складається з наступних кроків:

1. Вибір параметрів моніторингу (фізичні показники – f , медичні показники – m , психо-емоційні фактори – p , технічні навички – t , загальні аспекти гри – g).
2. Обнулення відповідних лічильників ($f = 0$; $m = 0$; $p = 0$; $t = 0$; $g = 0$).
3. Обчислення значень відповідних лічильників.
4. Аналіз отриманих значень лічильників.
5. Формування рекомендацій на основі отриманих значень.

3.3 Визначення метрик для ранжування спортсменів за допомогою кіберфізичної системи

Ранжування спортсменів за допомогою кіберфізичної системи використовується для оцінки та порівняння спортивних результатів та навичок за допомогою інтеграції даних з фізичних вправ і технологій з обробки цих даних. Основна ідея полягає в тому, щоб об'єднати фізичну активність спортсменів з використанням датчиків, відстеження рухів, аналізу біометричних показників тощо з цифровими технологіями. Це може бути все, від використання носимих пристроїв, таких як фітнес-трекери, до спеціалізованих систем відстеження руху та аналізу біометричних даних. Інформація, зібрана за допомогою цієї кіберфізичної системи, може включати в себе швидкість, силу, точність рухів,

витривалість, серцевий ритм та багато іншого. Ці дані аналізуються та порівнюються для визначення ефективності та результативності спортсменів. Це може допомогти тренерам та спортсменам у вдосконаленні техніки, стратегій тренувань та досягненні кращих результатів.

Для проведення ранжування необхідно виконати ряд кроків.

1. Визначення ключових метрик. Необхідно визначити набір метрик, які характеризують успішність спортсменів у вибраній дисципліні. Ці метрики можуть включати фізичні параметри (наприклад, швидкість, сила, витривалість) або технічні показники (наприклад, точність, реакція, координація), психо-емоційний стан, стан здоров'я, досягнення, тощо.

2. Збір даних. Може виконуватись за допомогою датчиків, а може використовувати дані отримані на попередньому етапі моніторингу.

3. Аналіз даних. Після збору даних необхідно провести їх аналіз, використовуючи методи статистичного аналізу, машинного навчання або інші методи.. Це допоможе виявити зв'язки між різними метриками та успішністю спортсменів.

4. Розробка системи ранжування, яка враховуватиме різні аспекти успішності спортсменів. Ця система може використовувати ваги для різних метрик або застосовувати інші методи оцінки.

5. Тестування та вдосконалення. Після впровадження системи ранжування необхідно перевірити її ефективність та за потреби вдосконалити. Можливо знадобиться коригувати ваги метрик або вносення інших змін для досягнення кращих результатів.

Так як основним та важливим є визначення метрик за якими має відбуватися ранжування, розглянемо процес визначення ключових метрик, наприклад, для успішності футболістів.

1. Швидкість. Швидкість гравця може бути важливою метрикою, особливо для нападаючих гравців та крилових, які повинні бути швидкими у виконанні атак і оборони.

2. Сила. Сила гравця визначає його здатність перемагати у боротьбі за м'яч та утримувати позиції на полі під час фізичних конфліктів з іншими гравцями.

3. Витривалість. Витривалість гравця впливає на його здатність працювати на протязі всього матчу без втрати ефективності.

4. Точність пасів і стрибків. Ця метрика оцінює здатність гравця точно передавати м'яч своїм партнерам і виконувати точні стрибки.

5. Реакція. Швидкість реакції гравця на зміни у грі та здатність швидко приймати рішення щодо дій на полі.

6. Координація. Координація рухів та розуміння місця на полі важливі для ефективної гри.

7. Ефективність гри в атаці.

8. Ефективність гри в захисті.

Ці метрики можуть бути оцінені за допомогою кіберфізичної системи, яка вимірює різні параметри під час тренувань та матчів. Потім дані можуть бути використані для ранжування та оцінки гравців з метою вдосконалення їхньої гри.

В залежності від обраного виду спорту або від поставленої мети, метрики можуть суттєво відрізнитись.

Розглянемо приклад визначення ключових метрик для успішності баскетболістів:

1. Вертикальний стрибок. Визначається здатність гравця піднятися вгору при стрибку, що допомагає в захопленні м'яча в атакі та обороні, а також у блокуванні кидків супротивників.

2. Швидкість бігу. Швидкість руху гравця по майданчику впливає на здатність виграти позицію у нападі та обороні, а також на здібність перехоплювати м'яч.

3. Точність кидків. Оцінюється здатність гравця точно кидати м'яч у кільце з різних відстаней та кутів.

4. Захоплення м'яча. Включає в себе здатність гравця успішно захоплювати м'яч як в атакі, так і в обороні.

5. Реакція на гру. Швидкість реакції гравця на рух м'яча та дії супротивників, що дозволяє йому приймати ефективні рішення у грі.

6. Координація рухів. Включає в себе здатність гравця контролювати свій рух та позицію на майданчику під час гри.

Після того як будуть визначені метрики за якими будемо проводити ранжування, необхідно розробити систему ранжування, яка враховуватиме розроблені метрики. Вигляд системи ранжування залежить знову ж таки від виду спорту або іншої мети. В загальному формування рейтингу певного гравця представимо формулою 3.1:

$$R = (M_1 * W_1) + (M_2 * W_2) + \dots (M_n * W_n), \quad (3.1)$$

де $M_1 \dots M_n$ – попередньо задані метрики;

$W_1 \dots W_n$ – відповідні вагові коефіцієнти.

Розглянемо на прикладі систему ранжування, яка враховуватиме різні аспекти успішності футболістів. При цьому будемо використовувати ваги для кожної метрики, щоб визначити їх відносний внесок у загальний рейтинг гравця.

1. Швидкість бігу. Шкала від 1 до 10 балів, чим вище бал, тим швидший гравець. Вага цієї метрики буде 0.1.

2. Сила. Шкала від 1 до 10 балів, чим вище бал, тим сильніший гравець. Вага: 0.1.

3. Витривалість. Шкала від 1 до 10 балів, чим вище бал, тим витриваліший гравець. Вага: 0.15.

4. Точність пасів. Шкала від 1 до 10 балів, чим ближче до 10, тим точніше паси та стрибки. Вага: 0.2.

5. Реакція на гру. Шкала від 1 до 10 балів, чим вище бал, тим швидше реагує гравець на ситуацію на полі. Вага: 0.1.

6. Координація. Шкала від 1 до 10 балів, чим вище бал, тим краще координує рухи гравець. Вага: 0.15.

7. Ефективність гри в атаці. Шкала від 1 до 10 балів, чим вище бал, тим більше внесок гравця у гру в атаку та захист. Вага: 0.1.

8. Ефективність гри в захисті. Шкала від 1 до 10 балів, чим вище бал, тим більше внесок гравця у гру в атаку та захист. Вага: 0.1.

Згідно формули 3.1, тепер ми можемо розрахувати загальний рейтинг кожного гравця, використовуючи їхні оцінки за кожною метрикою та відповідні ваги:

$$R = (Sh * 0.1) + (C * 0.1) + (Vt * 0.15) + (TP * 0.2) + (Rc * 0.1) + (Kr * 0.15) + (Efa * 0.1) + (E fz * 0.1), \quad (3.2)$$

де Sh – числове значення швидкості бігу по шкалі від 1 до 10;

C – числове значення сили по шкалі від 1 до 10;

Vt – числове значення витривалості по шкалі від 1 до 10;

TP – числове значення точності пасів по шкалі від 1 до 10;

Rc – числове значення реакції по шкалі від 1 до 10;

Kr – числове значення координації по шкалі від 1 до 10;

Efa – числове значення ефективності гри в атаці по шкалі від 1 до 10;

$E fz$ – числове значення ефективності гри в захисті по шкалі від 1 до 10.

Розглянемо ще один приклад системи ранжування, яка враховуватиме різні аспекти успішності баскетболістів. Аналогічно скористаємось шкалою оцінювання від 1 до 10 та відповідними ваговими коефіцієнтами, що визначають найбільш значущі метрики.

1. Вертикальний стрибок. Шкала від 1 до 10 балів, чим вище бал, тим краще вертикальний стрибок. Вага цієї метрики буде 0.15.

2. Швидкість бігу. Шкала від 1 до 10 балів, чим вище бал, тим швидше гравець. Вага цієї метрики 0.2.

3. Точність кидків. Шкала від 1 до 10 балів, чим ближче до 10, тим точніше кидки. Вага: 0.2.

4. Захоплення м'яча. Шкала від 1 до 10 балів, чим вище бал, тим краще здатність захоплювати м'яч. Вага: 0.15.
5. Реакція на гру. Шкала від 1 до 10 балів, чим вище бал, тим краще реакція гравця на гру. Вага: 0.15.
6. Координація рухів. Шкала від 1 до 10 балів, чим вище бал, тим краще координація рухів. Вага: 0.15.

Загальний рейтинг кожного баскетболіста, використовуючи їхні оцінки за кожною метрикою та ваги, згідно формули 1, буде мати наступний вигляд:

$$R = (Vs * 0.15) + (Sh * 0.2) + (Tk * 0.2) + (Zm * 0.15) + (Rc * 0.15) + (Kr * 0.15), \quad (3.3)$$

де Vs – числове значення вертикального стрибка по шкалі від 1 до 10;

Sh – числове значення швидкості бігу по шкалі від 1 до 10;

Tk – числове значення точності кидків по шкалі від 1 до 10;

Zm – числове значення метрики захоплення м'яча по шкалі від 1 до 10;

Rc – числове значення реакції по шкалі від 1 до 10;

Kr – числове значення координації по шкалі від 1 до 10;

Отже, вигляд формули 3.1 залежить від кількості метрик, які будуть використовуватись для системи ранжування спортсменів, а також від відповідних вагових коефіцієнтів. Слід зазначити, що сумарно значення вагового коефіцієнта має дорівнювати 1.

3.4 Правила та метод ранжування спортсменів кіберфізичною системою моніторингу та ранжування спортсменів

Формула 3.1 є базовою для визначення рейтингу спортсмена на початку, наприклад тренувального або змагального періодів. Далі зі значенням цього рейтингу спортсмен входить в процес і далі його рейтинг може як зростати, так і зменшуватись. Далі в підсистемі ранжування можуть використовуватися правила

виду «ЯКЩО ТО» для автоматизації прийняття рішень на основі отриманих даних та критеріїв успішності. Використаний лічильник так званого періодичного рейтингу, який на початку має значення $p = 0$. Слід зазначити, що значення лічильнику періодичного рейтингу може як збільшуватись, так і зменшуватись.

Розглянемо правила:

1. ЯКЩО середній показник швидкості спортсмена за останні три тренування збільшувався протягом тижня, ТО $p = p+1$.

2. ЯКЩО спортсмен досяг певного показника у важливому змаганні (наприклад, забив певну кількість голів у футбольному матчі) ТО $p = p+1$.

3. ЯКЩО спортсмен не виконував план тренувань протягом певного часу (наприклад, пропустив тренування два рази поспіль), ТО $p = p - 1$.

4. ЯКЩО середній показник фізичних показників спортсмена за останні два тижні падав, ТО вислати тренеру сповіщення про необхідність перегляду тренувальної програми, $p = p - 1$.

5. ЯКЩО рівень тривалості сну спортсмена падав протягом тривалого періоду, ТО $p = p - 1$.

6. ЯКЩО спортсмен досяг певного рівня результативності у тренувальних завданнях, які спеціально підібрані для покращення певного аспекту гри, ТО $p = p+1$.

7. ЯКЩО спортсмен покращував свій рівень у двох або більше аспектах гри протягом останнього місяця, ТО $p = p+1$.

8. ЯКЩО забиваючий нападник витримав декілька матчів без голу, ТО $p = p - 1$.

9. ЯКЩО спортсмен підвищив свій рівень здоров'я (виміряно за допомогою фізичних показників та серцевого ритму) протягом останнього місяця, ТО $p = p+1$.

10. ЯКЩО обрана стратегія гри спортсмена привела до зменшення кількості помилок та покращення результатів у змаганнях, ТО $p = p+1$.

11. ЯКЩО рівень мотивації спортсмена, визначений за його активністю на тренуваннях та дотриманням тренерських рекомендацій, підвищується протягом тривалого періоду, $TO\ p = p+1$.

12. ЯКЩО рівень самодисципліни спортсмена, визначений за його здатністю виконувати плани тренувань та дотримуватися рекомендацій щодо режиму життя, знижується протягом тривалого періоду, $TO\ p = p - 1$.

13. ЯКЩО час відновлення після травми або захворювання спортсмена перевищує середній час відновлення для його виду спорту, $TO\ p = p - 1$.

14. ЯКЩО спортсмен показує стійкий прогрес в підвищенні результатів тренувань протягом певного періоду, $TO\ p = p+1$.

15. ЯКЩО спортсмен не дотримується дієтичних рекомендацій або вживає шкідливі речовини, що можуть негативно впливати на його фізичну підготовку, $TO\ p = p - 1$.

16. ЯКЩО спортсмен випробував нову стратегію гри або тренувальну програму, що призвело до покращення його результатів, $TO\ p = p+1$.

17. ЯКЩО спортсмен здобув перемогу в важливому змаганні або досягнув ключової мети, визначеної тренером, $TO\ p = p+1$.

18. ЯКЩО спортсмен показав поганий результат в тренуваннях протягом певного періоду, TO звернутися до тренера або медичного персоналу для подальшого вивчення причин та прийняття заходів, $p = p - 1$.

19. ЯКЩО спортсмен показує відмінні результати на тренуваннях або змаганнях протягом кількох послідовних тижнів, $TO\ p = p+1$.

20. ЯКЩО спортсмен виявляє високий рівень стабільності у виконанні ключових завдань або навичок, $TO\ p = p+1$.

21. ЯКЩО спортсмен підвищує частоту та інтенсивність тренувань згідно з рекомендаціями тренера, $TO\ p = p+1$.

22. ЯКЩО спортсмен піддається ризикованим діям або небезпечним ситуаціям під час тренувань або змагань, $TO\ p = p - 1$.

23. ЯКЩО спортсмен демонструє відмінну командну співпрацю та лідерські якості в групових тренуваннях або змаганнях, $TO\ p = p+1$.

24. ЯКЩО спортсмен підвищує свій рівень фізичної підготовки або технічних навичок протягом тривалого періоду, $TO\ p = p+1$.

Ці приклади правил допомагають системі автоматично оцінювати прогрес та поведінку спортсменів на основі різних критеріїв успішності. Це дозволяє тренерам та аналітикам швидко виявляти позитивні та негативні тенденції та приймати відповідні заходи для підтримки спортсменів у їхній підготовці.

В підсистемі ранжування можна створювати різні категорії рейтингів, наприклад загальний рейтинг, стратегічна ефективність, тактична ефективність, тощо. А також можна ранжувати гравців за певними амплуа, все залежить від виду спорту та поставленої мети.

Отже, на основі всього вищерозглянутого сформуємо метод ранжування спортсменів в кіберфізичній системі моніторингу та ранжування спортсменів. Метод складається з наступних кроків:

1. Формування попереднього рейтингу гравців R за формулою 3.1.
2. Обнулення лічильника періодичного рейтингу $p = 0$.
3. Обчислення значення лічильника p .
4. Формування загального рейтингу спортсмена за формулою $ZR = R+p$, додаючи числові значення рейтингів.
5. Аналіз отриманого значення.
6. Формування рекомендацій на основі отриманих значень.

3.5 Висновки

Отже, під час роботи над даним розділом магістерської роботи були досліджені та обрані метрики за якими буде проводитись моніторинг спортсменів. Також розроблені та представлені правила моніторингу та сповіщення тренера. Правила налаштовані з урахуванням конкретних потреб і вимог тренувального процесу та специфіки підготовки спортсменів. Вони допомагають автоматизувати моніторинг та реагування на виявлені тенденції чи проблеми, що дозволяє оптимізувати тренувальний процес і підтримувати спортсменів на найвищому

рівні в довгостроковій перспективі. Ці правила допомагають системі моніторингу ефективно виявляти потенційні проблеми та надавати рекомендації для підтримки здоров'я та оптимальної фізичної підготовки спортсменів.

Запропоновано формулу, яка є базовою для визначення рейтингу спортсмена на початку, наприклад тренувального або змагального періодів. Далі зі значенням цього рейтингу спортсмен входить в процес і далі його рейтинг може як зростати, так і зменшуватись. Далі в підсистемі ранжування можуть використовуватися правила виду «ЯКЩО ТО» для автоматизації прийняття рішень на основі отриманих даних та критеріїв успішності.

Запропоновано метод моніторингу спортсменів, який дозволяє вибрати параметри за якими буде здійснюватись моніторинг спортсменів та на основі розроблених правил сформувані дані для аналізу та передачі до підсистеми ранжування. Також запропоновано метод ранжування спортсменів, який на основі визначених метрик, числової шкали та вагових коефіцієнтів, використовуючи розроблені правила періодичного рейтингу, дозволяє сформувані рейтинг гравців в кіберфізичній системі моніторингу та ранжування спортсменів.

4 КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ТА РАНЖУВАННЯ СПОРТСМЕНІВ

4.1 Вибір типу архітектури та проектування розроблюваної системи

При застосуванні датчиків моніторингу та оцінки ефективності, значна увага приділяється реакції кіберфізичних систем в режимі реального часу з метою підвищення продуктивності. Якщо такий пристрій повинен бути встановлений на обладнанні, то з'являється ще одна вимога, щоб пристрій був мінімізованим за розміром і повинен легко використовуватись у зовнішньому середовищі в різних географічних точках. Таким чином, повномасштабний комп'ютер наразі не є можливим, і натомість використовуються мікропроцесори, які реагують за мікросекунди на певні сигнали. Найуспішнішим показало себе використання мікропроцесорів, так званих «розумних» пристроїв, метою яких є вирішення критично важливої вузько визначеної проблеми.

Вибір типу архітектури проектування кіберфізичної системи зазвичай залежить від багатьох факторів. Розглянемо детальніше деякі з них.

Масштаб системи. Якщо система повинна обробляти велику кількість даних з багатьох датчиків і пристроїв, то може бути доцільною розподілена архітектура, де обробка даних відбувається паралельно на різних вузлах або серверах.

Час відповіді. Якщо потрібна швидка відповідь на дані з датчиків (наприклад, у реальному часі), то потрібна архітектура з низькою затримкою, можливо, з використанням edge computing або дуже ефективної хмарної архітектури.

Безпека. Якщо дані про спортсменів є конфіденційними, потрібно забезпечити високий рівень безпеки. В такому випадку необхідно розглядати архітектури з ефективними механізмами захисту даних, такими як криптографія та використання приватних мереж.

Модульність та розширюваність. Якщо потрібно мати можливість легко додавати нові функції або розширювати систему у майбутньому, необхідно

обирати архітектуру, яка добре підходить для модульної побудови і масштабування.

Вартість інфраструктури. При проектуванні великих систем необхідно провести оцінку бюджету проєкту і вибрати архітектуру, яка відповідає наявним фінансовим можливостям. Можливо, хмарна архітектура буде дорожчою порівняно з власними серверами або гібридними рішеннями.

Залежно від конкретних потреб, можна обрати між монолітною, мікросервісною, розподіленою або серверною архітектурою. Важливо ретельно зважити на всі аспекти проєкту та вибрати ту архітектуру, яка найкраще відповідає потребам.

У багатьох випадках серцем системи є комп'ютер з його високою обчислювальною потужністю, а також пов'язані з ним периферійні пристрої, такі як датчики вібрації або детектори вібрації та цифровий проектор для забезпечення зворотного зв'язку. Такі системи часто використовують добре відому схему виду 4.1.

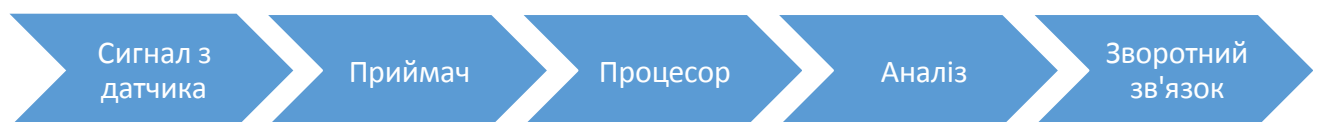


Рисунок 4.1 – Схема взаємодії зі зворотним зв'язком

Вони забезпечують швидкий і ефективний зворотний зв'язок і можуть мінімізувати використання тренера завдяки використанню навичок самонавчання гравців, всебічного огляду систем такого типу і пов'язаних з ними технологій. Мобільні телефони, персональні цифрові помічники (ПЦП) і смартфони можуть використовуватися як мобільні клієнти для отримання даних через протоколи короткого радіусу дії від датчиків, обробки цих даних та/або надсилання їх на інші обчислювальні пристрої, такі як, такі як інтернет-сервер через GPRS, пакетно-орієнтовану мобільну службу передачі даних, універсальну мобільну телекомунікаційну систему (UMTS) або, за наявності, також через бездротову

локальну мережу (WLAN). Такий принцип також може бути покладений в основу проектування кіберфізичних систем.

Кіберфізична система зі зворотним зв'язком (CPS) – це інтегрована система, що об'єднує фізичні та кібернетичні складові, які взаємодіють один з одним через мережі зв'язку. Фізичні складові можуть бути реальними об'єктами або процесами, такими як сенсори, актуатори, машини тощо. Кібернетичні складові включають програмне забезпечення, сенсори, контролери, алгоритми та мережі зв'язку.

Зворотний зв'язок – це механізм, що дозволяє системі отримувати інформацію про її стан чи результати дії, та вносити відповідні корективи або керувати параметрами для досягнення певних цілей чи оптимального функціонування. Такі системи застосовуються в різних галузях, таких як автоматизація виробництва, управління енергоспоживанням, медицина, транспорт і багато інших, де необхідно поєднувати фізичні процеси з керуванням на основі інформації. Структура такої системи представлена на рисунку 4.2.

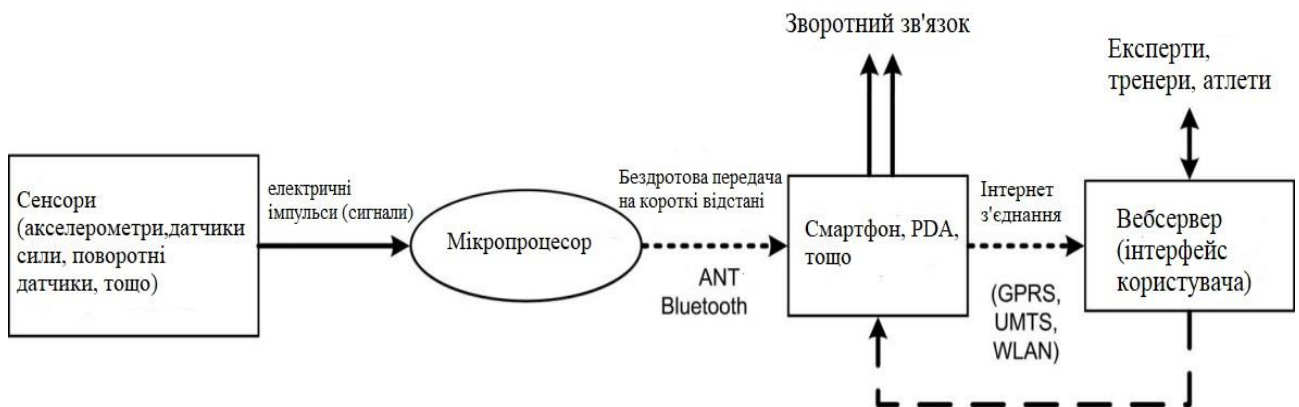


Рисунок 4.2 – Кіберфізична система зі зворотним зв'язком

В цій кіберфізичній системі забезпечення зворотного зв'язку здійснюється моніторинг параметрів фізичної працездатності спортсменів. Зворотний зв'язок може надаватися або шляхом безпосередньої обробки даних на ПЦП/смартфоні/тощо, або через серверний контур, що дозволяє інтегрувати експертні знання. Складні алгоритми комп'ютерного зору дозволяють не тільки

зафіксувати кінематику руху окремого спортсмена без використання маркерів, але й також використовувати їх для фіксації патернів групи гравців в ігрових видах спорту одночасно. Загальне зібрання функціональної таксономії, показано на рисунку 4.3. Ця таксономія може бути корисною для розробки та оцінки систем аналізу руху в спорті, а також для визначення потреб у додатковому дослідженні та розвитку методів аналізу руху.

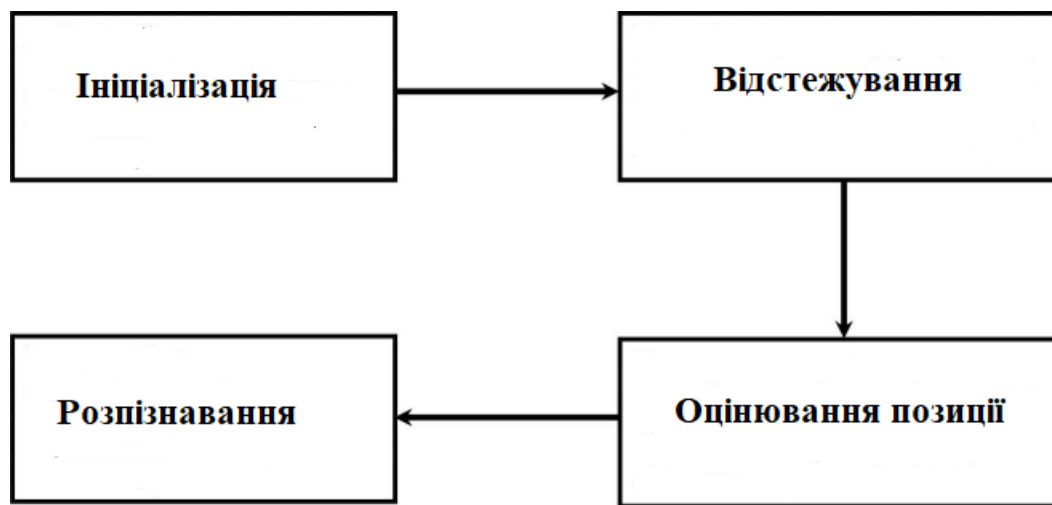


Рисунок 4.3 – Загальне зібрання функціональної таксономії

Ініціалізація. На цьому етапі проводиться підготовка до виконання аналізу рухів. Це може включати встановлення камер або сенсорів, калібрування обладнання та інші підготовчі дії. Визначення людиноподібної моделі, що апроксимує форму, зовнішній вигляд, кінематичну структуру та початкову позу об'єкта.

Відстежування. Під час цього етапу система відстежує рухи спортсменів на відео або за допомогою сенсорів. Це може включати відстежування точок на тілі спортсмена або використання алгоритмів відстеження об'єктів.

Розпізнавання. На цьому етапі система аналізує відстежені рухи для розпізнавання певних жестів, поз або дій спортсменів. Це може включати використання алгоритмів розпізнавання образів або методів класифікації.

Оцінювання позиції. На цьому етапі система оцінює позиції та параметри руху спортсменів. Це може включати визначення швидкості, прискорення, кутової швидкості тощо, а також порівняння їх з ідеальними моделями або стандартами.

Алгоритми комп'ютерного зору для фіксації рухів спортсменів широко використовуються в спортивному аналізі, тренуваннях та оцінці виступів. Розглянемо кілька типів алгоритмів, згідно загальної функціональної таксономії, представленою на рисунку 4.3, які можуть бути використані для цієї мети.

Алгоритми відстеження об'єктів. Алгоритми відстеження об'єктів дозволяють системі визначати положення та рухи спортсменів на відео. Вони можуть використовувати методи відстеження на основі особливостей (наприклад, контурів або ключових точок) або методи відстеження на основі векторного потоку.

Алгоритми аналізу руху. Алгоритми аналізу руху дозволяють системі визначити параметри руху, такі як швидкість, прискорення, кутова швидкість тощо. Ці параметри можуть бути використані для оцінки техніки спортсменів або для порівняння їх рухів з ідеальними моделями.

Алгоритми розпізнавання жестів і поз. Деякі алгоритми можуть розпізнавати конкретні жести або пози спортсменів, що дозволяє виявляти специфічні рухи або позиції, які можуть бути важливими для певних видів спорту або тренувань.

Алгоритми оцінки ефективності. Після виконання аналізу руху або відстеження об'єктів, алгоритми можуть надати оцінку ефективності рухів спортсменів, яка може бути використана для тренувань або для оцінки виступів.

Ці алгоритми можуть бути реалізовані за допомогою методів машинного навчання, комп'ютерного зору та обробки зображень. Їх застосовують у різних видів спорту, включаючи футбол, баскетбол, гімнастику, плавання тощо. А також вони вирішують завдання відстеження кількох схожих на вигляд спортсменів під час змагань з пляжного волейболу. Автори роботи [40] розробили повністю автоматичну систему відстеження, яка працює в два етапи: спочатку вона буде

модель зовнішності кожної людини на відео, а потім відстежує, виявляючи ці моделі у кожному кадрі. Висхідний підхід групує разом частини тіла кандидатів, знайдені в послідовності, а підхід «зверху вниз» створює людей-моделей шляхом виявлення зручних ключових поз у послідовності. Автори демонструють отриманий трекер на спортивних кадрах (наприклад, із зимової Олімпіади 1998 року). Підхід для одночасного відстеження декількох частин тіла взаємодіючих людей був запропонований авторами роботи [41]. За наявності взаємного затінення і тіні, фреймворк використовує множинні згустки вільної форми та грубу модель людського тіла. Відстеження було успішно виконано для різних послідовностей, включаючи удари кулаком, рукостискання, потискання рук, поштовхи та обійми між двома людьми. Таким чином, метод видається перспективним для контактних видів спорту.

В аналізі ігор одним з потенційних технологічних застосувань є надійне автоматичне відстеження, реконструкція та розпізнавання позицій та рухів гравців і м'яча на полі. Існують комп'ютеризовані системи аналізу матчів такі як Amisco Pro1 (Sport Universal Process, Ніцца, Франція) (SUP), ProZone1 (ProZone Sports Ltd., Лідс, Великобританія) або TRACAB Image Tracking System™ (TRACAB Image Tracking System, Solna, Швеція) у командних видах спорту, які використовують декілька відеокамер та датчиків для зйомки гравців, суддів і м'яча, що не потребує додаткового обладнання.

Автори дослідження [42] представили масштабне дослідження рухових характеристик руху футболістів вищого класу під час матчу, відповідно до ігрової позиції, використовуючи Amisco Pro(R)1 (Ніцца, Франція). Спостереження проводилось над трьома футболістами вищого класу під час 20 матчів іспанської Прем'єр-ліги та 10 матчів Ліги чемпіонів. Отримані результати надають детальний опис вимог, що висуваються до елітних футболістів, відповідно до їхньої позиційної ролі та різної інтенсивності роботи, що може бути корисним при розробці індивідуальних тренувальних програм. Інші дослідники [43] досліджували вплив команди-суперника, сезонних змін та команди-суперника, на результативність матчу у футболістів високого рівня. Показники фізичної

працездатності були зібрані за допомогою системи аналізу матчів ProZone(R)1 у 20 професійних футболістів з однієї команди та їхніх суперників протягом сезону. Дії під час матчу, дистанції та інші показники, включаючи взаємодію з м'ячем та пікова швидкість бігу були зібрані, що дозволяє припустити, що на гру команди-еталона впливав профіль активності команд-суперників.

Більш складну систему пропонують автори [44], які представляють автоматичне виявлення та класифікацію складних дій у мінливому динамічному фоні, а саме дій підводного плавання для трансляції або тренувальних відеопослідовностей дайвінгу. Ця система складається з трьох компонентів: алгоритму виявлення виділення, заснованого на домінуючому русі та семантичного аналізу кольору; алгоритм сегментації відеооб'єктів на основі адаптивної динамічної побудови фону та компонент розпізнавання, що використовує дещо модифіковані приховані марковські моделі.

Можна стверджувати, що існує дійсно великий потенціал у комп'ютерному захопленні рухів людини хоча, здається, існує розбіжність між технічними розробками, які вимагають висококваліфікованих та обізнаних операторів, з одного боку, і з іншого боку, можливим використанням методологій у спорті.

Окрім відеотехнологій, також популярним є застосування радіо- або мікрохвильові системи з активними датчиками всередині м'яча (Cairo - Goal Line Technology [GLT] System) або прикріпленими до спортсмена (ABATEC1 – Local Positioning System LPM; ABATEC Electronic AG; Regau, Австрія), що застосовуються в аналізі гри (рисунок 4.4). Активні датчики («мітки») періодично передають унікальні сигнали (наприклад, 10 Гц). Кілька базових станцій приймають ці сигнали в різні моменти часу. Застосовуючи метод тріангуляції, MPU обчислює положення кожної мітки.

Для того, щоб передати важливу для виконання інформацію, таку як положення, силу реакції або дані про частоту серцевих скорочень, бездротові технології застосовуються все частіше. Автори [46] пропонують систему моніторингу даних у веслуванні. ПК з вбудованими WLAN і плата збору даних з'єднані між собою в блоці розширення. ПК збирає дані з датчиків, встановлених

на веслувальному човні і передає їх на ноутбук тренера, який може негайно надати зворотній зв'язок (рисунок 4.5). У типовому практичному використанні тренер отримує в реальному часі зусилля (наприклад, силу тяги), які створює веслувальник.

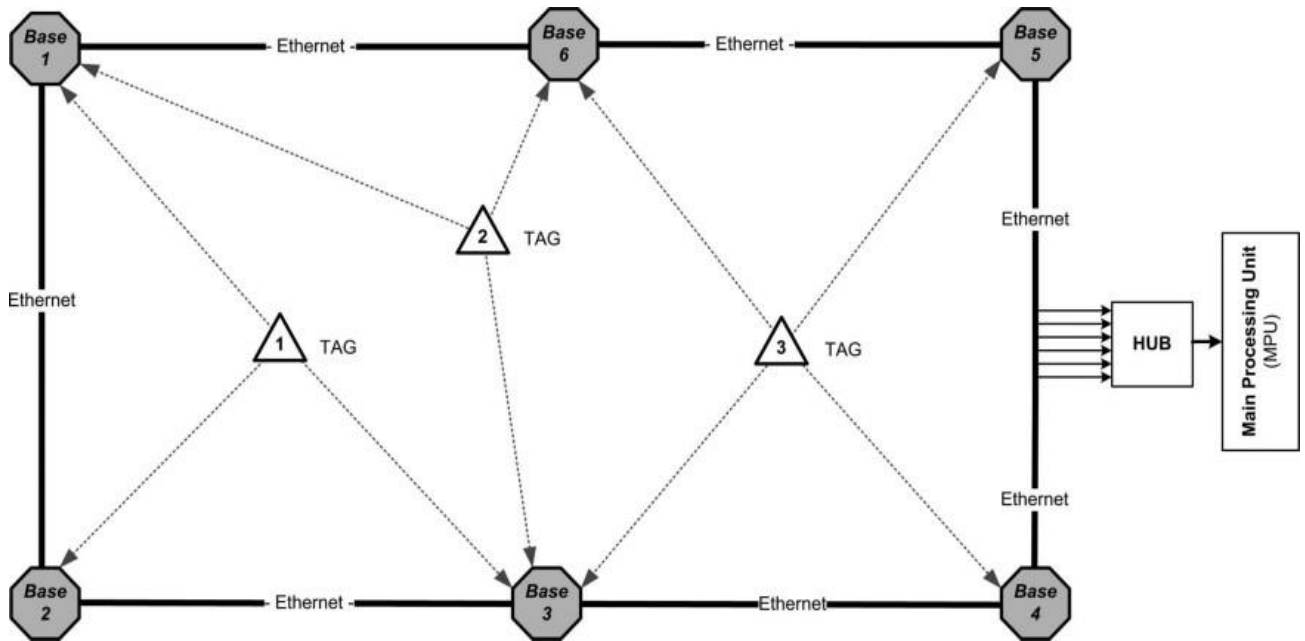


Рисунок 4. 4 – Радіо/мікрохвильова система для відстеження гравців [45]

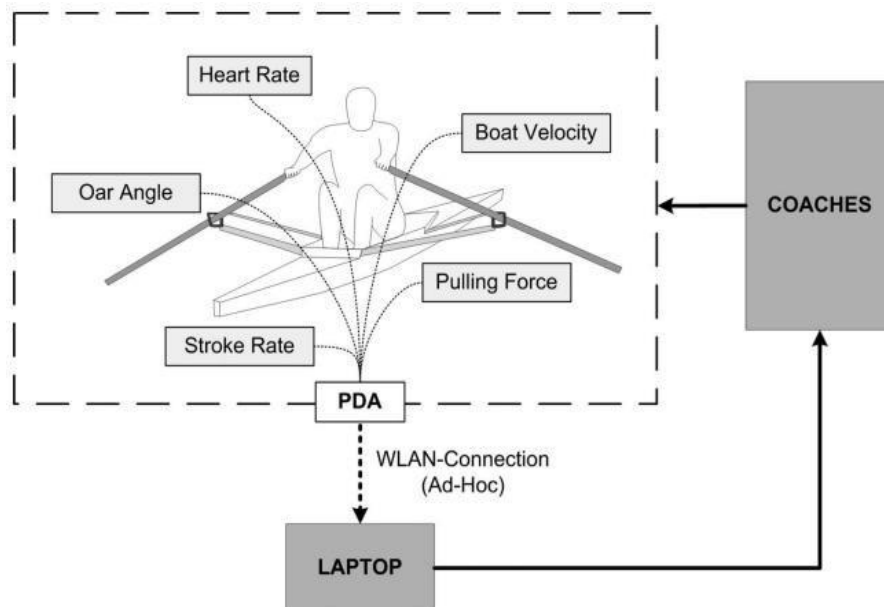


Рисунок 4.5 – Система для моніторингу спортивних показників в академічному веслуванні [46]

Існує хибна думка, що повсюдні обчислювальні системи мають просту мету – збирати та архівувати дані, зібрані різноманітними датчиками. Насправді повсюдні обчислювальні системи нового покоління займаються безпосередньо вирішенням проблеми, а не наданням відповідних даних, такі системи можна назвати проблемно-орієнтованими системами.

Автори роботи [47] розробили та впровадили систему для моніторингу харчування. Ця система використовує алгоритми контекстної обізнаності, уникаючи використання нудних анкетувань. Вони дозволяють оцінити споживання калорій, відстежувати частоту прийому їжі та рідини, а також виявляти зміни в поведінці, фізичній формі та вазі людини. Моніторинг базується на співвіднесенні відомих дій із заданими сигналами – наприклад, пережовування фруктів і цукерок. По суті, вони відстежують і кількісно оцінюють поведінкові патерни. Такі системи знаходяться в авангарді нових розробок, оскільки вони забезпечують засоби для неінвазивного моніторингу та мінімального втручання в завдання користувача. Вони є дуже перспективними для використання у спорті, оскільки вони мають потенціал для уникнення перевантаження спортсменів, які постійно перебувають під моніторингом і тестуються. Наразі системи впроваджуються в рамках багатонаціональних проєктів для різних груп користувачів, і їхній вплив наразі оцінюється. Ці системи являють собою відносно нову і дуже перспективну платформу для повсюдних обчислень – натільну електроніку. Найпривабливішими тенденціями в ній є розумний і функціональний текстиль. Ці нові розробки дозволяють вплітати або друкувати електронні схеми на текстилі та безпосередньо вимірювати різноманітні фізіологічні параметри. Приклад вимірювання частоти дихання представлено на рисунку 4.6. Крім того, різноманітні текстильні сенсори дозволяють здійснювати точний і неінвазивний моніторинг та передачу даних.

Існує багато різних видів датчиків, серед яких є такі як сенсори на тілі гравців. Гравці можуть носити сенсори на різних частинах тіла, таких як спинка, руки та ноги. Ці сенсори можуть вимірювати швидкість руху, інтенсивність тренувань, серцевий ритм та інші фізіологічні параметри.



Рисунок 4.6 - Розумний біговий жилет вимірює частоту дихання та пульс і передає дані по бездротовому зв'язку [47]

Спеціальні м'ячі з датчиками. Деякі баскетбольні м'ячі мають вбудовані датчики, які вимірюють швидкість кидків, точність, а також відстежують траєкторію руху м'яча під час гри.

Системи відео спостереження. Використання камер для відеоспостереження дозволяє записувати та аналізувати гру гравців з різних кутів, а також відстежувати їхні рухи та взаємодію на майданчику.

Платформи для вимірювання фізичних параметрів. Наприклад, для кожного виду спорту існують спеціальні платформи, які можуть вимірювати силу стрибків, вертикальний стрибок, реакцію та інші параметри під час тренувань або змагань.

Vertec Vertical Jump Tester. Це спеціальна платформа, яка використовується для вимірювання вертикального стрибка. Гравці можуть стати поруч із платформою і стрибнути, дотикаючи максимально високого стержня, а потім виміряти відстань, на яку вони змогли піднятися. Це дає відомості про їхній вертикальний стрибок.

Force Plate Systems. Ці системи вимірюють силу, що виробляється гравцем під час різних фізичних вправ, таких як стрибки або рухи відведення. Вони можуть бути використані для вимірювання сили стрибків, реакції та інших параметрів.

Fitlight Trainer. Це система світлодіодних світлових сенсорів, яка використовується для тренування реакції та координації. Гравці можуть реагувати на світлові сигнали, які спалахують у певній послідовності, і вимірювати час реакції та точність їхньої відповіді.

Fitbit або інші фітнес-трекери. Ці пристрої можуть вимірювати різні фізичні показники, такі як кількість кроків, витривалість, спожиті калорії тощо. Вони можуть бути корисними для відстеження загального рівня активності та фізичної підготовки гравців.

Це лише декілька прикладів платформ для вимірювання фізичних параметрів, які можуть бути використані для тренувань і змагань. Залежно від потреб та можливостей, можна обрати той, який найкраще підходить для конкретного застосування.

4.2 Розробка архітектури кіберфізичної системи моніторингу та ранжування спортсменів

Архітектура кіберфізичної системи моніторингу та ранжування спортсменів є складною, оскільки вона включає в себе збір, аналіз та обробку даних з різних джерел, а також виконання різних функцій автоматизації та прийняття рішень. Ось загальна архітектура такої системи:

Сенсори та обладнання збору даних. Це перший рівень системи, який включає в себе різні сенсори та обладнання для вимірювання фізичних параметрів спортсменів. Це може бути все, від датчиків руху та серцевого ритму до спеціальних платформ для вимірювання силових показників.

Збір даних. Наступний рівень – це система збору даних, яка отримує інформацію від сенсорів та обладнання та передає її для подальшої обробки. Ця

система може включати в себе бездротові комунікаційні модулі, протоколи зв'язку та програмне забезпечення для обробки та передачі даних.

Модуль моніторингу. На цьому рівні дані обробляються та аналізуються для визначення ключових параметрів та показників успішності спортсменів. Ця система може використовувати алгоритми машинного навчання, статистичні методи та інші аналітичні інструменти для отримання значущої інформації з накопичених даних. Модуль ранжування. Цей модуль використовує результати аналізу даних для створення рейтингу спортсменів на основі їхньої продуктивності та успішності. Він може враховувати різні аспекти гри, фізичні показники та технічні навички для надання об'єктивної оцінки кожного спортсмена.

Система відображення та звітності. Цей рівень відповідає за відображення результатів моніторингу та ранжування спортсменів для користувачів. Він може включати в себе веб-інтерфейс, мобільні додатки, звіти та інші інструменти для відображення інформації та забезпечення доступу до неї.

Ця архітектура враховує всі етапи процесу моніторингу та ранжування спортсменів, включаючи збір даних, їх обробку та аналіз, визначення показників успішності та відображення результатів для користувачів. Кожен рівень виконує певні функції та взаємодіє з іншими для забезпечення ефективності та надійності системи в цілому. Структура кіберфізичної системи моніторингу та ранжування спортсменів представлена на рисунку 4.7.

Представлена кіберфізична система моніторингу та ранжування спортсменів дає можливість збирати та опрацьовувати дані, моніторити фізичний, технічний, тактичний, психо-емоційний рівень спортсменів. На основі даних моніторингу формувати певні висновки для тренера, а також надсилати йому сповіщення. Також ця система дає можливість передавати отримані та проаналізовані дані в модуль ранжування, де формується рейтинг спортсменів по відповідних показниках і вся інформація надається тренерському штабу.

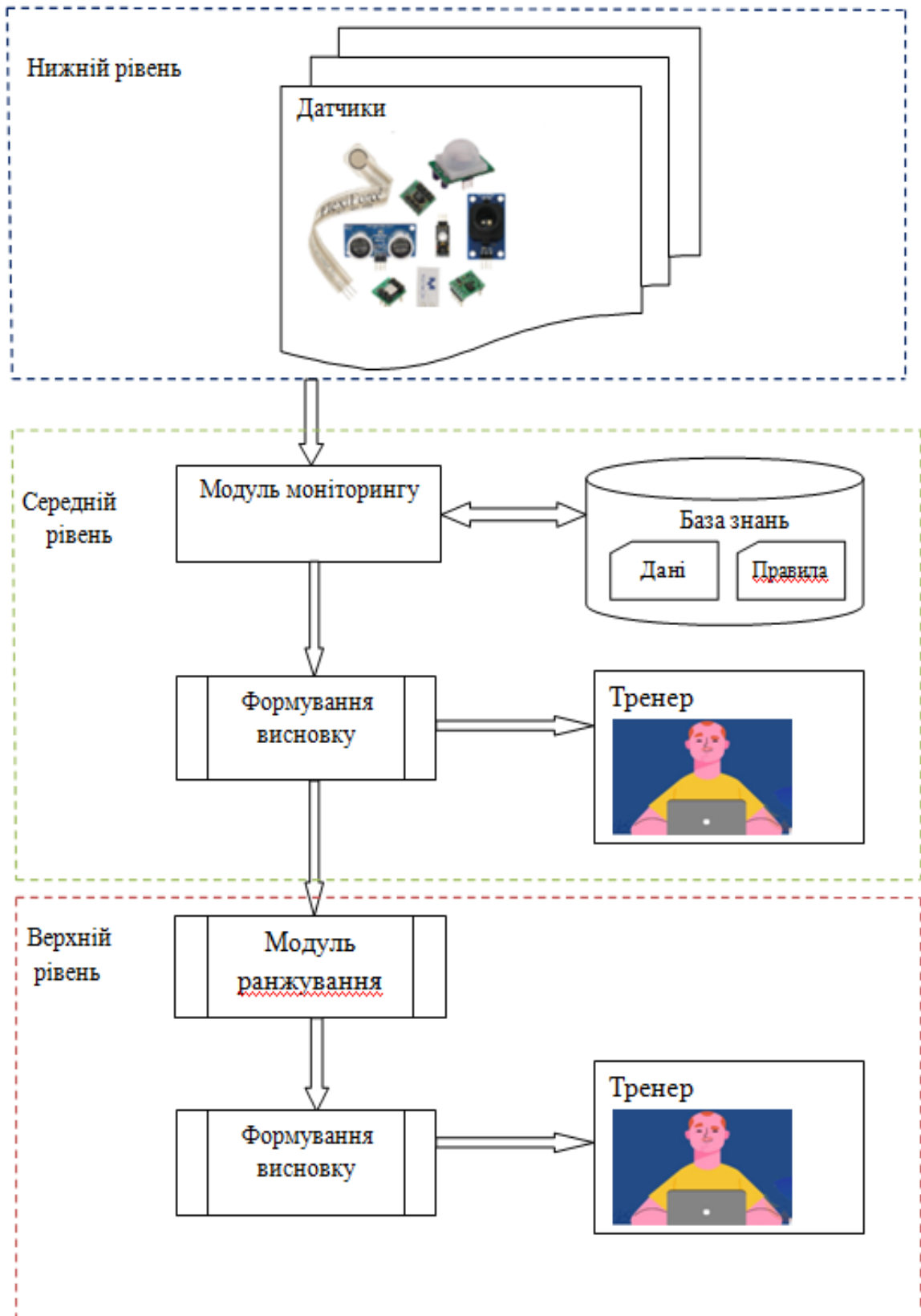


Рисунок 4.7 – Структура кіберфізичної системи моніторингу та ранжування спортсменів

Тепер розглянемо більш детально складові ключових модулів в складі запропонованої кіберфізичної системи моніторингу та ранжування спортсменів. Очевидно, що цими модулями є модуль моніторингу та модуль ранжування.

Структура модуля моніторингу спортсменів у кіберфізичній системі є досить комплексною, оскільки вона включає в себе різноманітні компоненти для збору, аналізу та візуалізації даних. Ось загальна структура:

Центральна система аналізу. Ця система приймає дані від сенсорів та виконує їх аналіз для отримання корисної інформації. Це може включати в себе алгоритми обробки сигналів, машинне навчання для прогнозування та класифікації, а також статистичний аналіз для виявлення тенденцій та паттернів.

Сенсори та пристрої вимірювання. Цей компонент включає в себе сенсори та пристрої, що здатні збирати дані про фізичну активність та параметри спортсменів. Наприклад, це можуть бути носимі пристрої, такі як фітнес-трекери, датчики ритму серця, GPS-пристрої для вимірювання швидкості та відстані, сенсори руху тощо.

Система збору даних. Цей компонент відповідає за збір, обробку та передачу даних з сенсорів до центральної системи. Це може бути програмне забезпечення для збору даних, яке взаємодіє з сенсорами та передає інформацію до серверів.

Інтерфейс користувача. Цей компонент відповідає за візуалізацію результатів моніторингу для користувача. Це може бути веб-інтерфейс, мобільний додаток або інші способи відображення даних, які дозволяють спортсменам та тренерам переглядати та аналізувати їхні результати.

Система зберігання даних. Цей компонент відповідає за зберігання отриманих даних для подальшого використання та аналізу. Вона може включати в себе бази даних та системи для забезпечення безпеки та конфіденційності інформації.

Ця структура дозволяє збирати, аналізувати та візуалізувати дані про фізичну активність та параметри спортсменів з метою моніторингу їхнього стану та досягнень.

Структура модуля ранжування спортсменів може бути організована таким чином, щоб забезпечити ефективний аналіз даних та визначення рівня успішності кожного спортсмена. Розглянемо загальну структуру такого модуля, де вхідні дані: дані про фізичні показники: такі як швидкість, сила, витривалість і реакція; дані про технічні навички: наприклад, точність кидків, пасів, блоків тощо; інші параметри: такі як кількість тренувань, витрачений час на тренування, серцевий ритм тощо.

Попередній аналіз даних. Перед ранжуванням може бути проведений попередній аналіз даних для видалення аномалій або обробки відсутніх значень. Може бути виконана нормалізація даних для забезпечення порівнюваності різних параметрів.

Алгоритми ранжування. Вибір алгоритму для ранжування може залежати від природи даних та вимог системи. Наприклад, можна використовувати методи класифікації, регресії або кластеризації. Можливість використання алгоритмів машинного навчання, таких як Random Forest, Support Vector Machines (SVM), Neural Networks тощо, для прогнозування успішності спортсменів.

Оцінка результатів. Після застосування алгоритму ранжування необхідно оцінити результати. Можливо, буде використовуватися метрика ефективності, яка визначить, наскільки точно модель передбачає рівень успішності спортсменів.

Вихідні дані. Результати ранжування можуть бути представлені у вигляді рейтингу або категорій, де кожен спортсмен має свій рівень успішності. Можливо, буде забезпечено додаткову інформацію про фактори, що впливають на ранжування кожного спортсмена.

Інтеграція з системою відображення та звітності. Результати ранжування можуть бути інтегровані з іншими частинами системи для відображення та звітності, щоб тренери та спортсмени могли легко оцінювати прогрес

Ця структура допоможе організувати процес ранжування спортсменів у системі моніторингу з урахуванням різних аспектів їхньої фізичної підготовки та технічних навичок.

4.3 Приклади функціонування та сфери застосування кіберфізичної системи моніторингу та ранжування спортсменів

Ось кілька прикладів результатів функціонування кіберфізичної системи моніторингу та ранжування спортсменів:

Індивідуальний моніторинг та порівняння. Спортсмени можуть використовувати систему для моніторингу своєї фізичної активності та результатів тренувань. Вони можуть отримувати індивідуальні звіти про свій прогрес та порівнювати свої досягнення з минулими результатами або з результатами інших спортсменів.

Підготовка до змагань. Тренери можуть використовувати дані з системи моніторингу для оцінки фізичної підготовки спортсменів перед змаганнями. Вони можуть аналізувати дані про витривалість, швидкість, силу тощо, щоб розробити індивідуальні тренувальні програми та стратегії для максимізації результатів на змаганнях.

Виявлення ризиків та запобігання травмам. Система може виявляти патерни та тенденції в фізичній активності спортсменів, які можуть вказувати на ризики травм. Тренери та медичний персонал можуть вжити заходів для запобігання травмам та покращення загального здоров'я спортсменів.

Аналіз конкурентоспроможності. За допомогою системи моніторингу можна порівнювати результати різних спортсменів у різних дисциплінах або в одній дисципліні з часом. Це дозволяє тренерам та спортивним аналітикам визначити сильні та слабкі сторони спортсменів та розробити стратегії для покращення їхньої конкурентоспроможності.

Персоналізоване керування тренуваннями. На основі даних, зібраних системою моніторингу, можна розробляти персоналізовані тренувальні програми для кожного спортсмена. Це дозволяє оптимізувати тренувальний процес та досягати кращих результатів.

Ці приклади демонструють, як кіберфізична система моніторингу може допомагати у підвищенні ефективності тренувань та досягненні кращих результатів у спорті.

Зважаючи на конкретність виду спорту, розглянемо декілька прикладів результатів функціонування кіберфізичної системи моніторингу та ранжування спортсменів у футболі.

Аналіз фізичної підготовки гравців. Система допомагає тренерам аналізувати фізичні показники гравців, такі як швидкість, витривалість, сила та реакція. Наприклад, за допомогою носимих датчиків можна виміряти відстань, яку гравці пробігають під час тренувань та матчів, їх середню швидкість тощо.

Оцінка технічних навичок. Система може аналізувати технічні аспекти гри, такі як точність передач, контроль м'яча, ефективність ударів та інші навички. Вона може використовувати дані з відеозйомки матчів або спеціальних тренувань для оцінки рівня майстерності гравців у цих аспектах гри.

Порівняння гравців. Система може порівнювати результати різних гравців на підставі їхньої фізичної підготовки та технічних навичок. Наприклад, вона може ранжувати гравців за їхнім внеском у гру, їхньою ефективністю у виконанні певних завдань на полі тощо.

Прогнозування та попередження травм. Система може аналізувати дані про рух та фізичне навантаження гравців для виявлення ознак можливих травм або перенапруження. Це дозволяє тренерам вчасно реагувати та вживати заходів для попередження травм та збереження здоров'я гравців.

Ці приклади демонструють, як кіберфізична система моніторингу може бути застосована для поліпшення тренувального процесу та досягнення кращих результатів у футболі.

Зважаючи на особливості баскетболу, ось приклад результатів функціонування кіберфізичної системи моніторингу та ранжування спортсменів у баскетболі.

Аналіз фізичної форми гравців. Система може вимірювати та аналізувати параметри фізичної підготовки гравців, такі як швидкість, витривалість, реакція,

сила та гнучкість. Це може допомогти тренерам і аналітикам визначити слабкі та сильні сторони кожного гравця та розробити індивідуальні тренувальні програми.

Аналіз технічних навичок. Система може використовувати дані з відеозйомки матчів для аналізу технічних аспектів гри, таких як точність кидків, позиціонування на майданчику, перехід гри з оборони в атаку тощо. Це може допомогти тренерам вдосконалити стратегії гри та покращити технічні навички гравців.

Моніторинг фізичного стану гравців під час гри. Система може вимірювати фізичні показники гравців під час матчу, такі як кількість кроків, швидкість переміщення, витрати енергії тощо. Це дозволяє тренерам визначати оптимальні стратегії заміни гравців та управління фізичним навантаженням.

Аналіз ефективності гравців у виконанні різних завдань. Система може оцінювати ефективність гравців у виконанні різних завдань на майданчику, таких як захист, напад, розіграші, робота під обидвома кошами тощо. Це дозволяє тренерам визначити найбільш впливових гравців та розробити стратегії для максимізації їх внеску у гру.

Ці приклади демонструють, як кіберфізична система моніторингу може бути застосована для аналізу та оптимізації тренувального процесу та результатів у баскетболі.

У боксі кіберфізична система моніторингу та ранжування спортсменів може відігравати важливу роль у підготовці та аналізі боксерів. Приклади функцій наведено нижче.

Моніторинг фізичної підготовки. Система може вимірювати показники фізичної підготовки боксерів, такі як швидкість, сила удару, витривалість та реакція. Це дозволяє тренерам аналізувати та вдосконалювати тренувальні програми для підготовки боксерів до боїв.

Аналіз технічних навичок. Система може використовувати дані з тренувань та спарингів для оцінки технічних аспектів боксу, таких як техніка ударів, захист, рухома активність тощо. Це дозволяє тренерам і боксерам виявляти слабкі місця та працювати над ними.

Моніторинг стану здоров'я та відновлення. Система може вимірювати показники, які вказують на стан здоров'я та рівень втоми боксера під час тренувань та після них. Це допомагає уникнути перенавантаження та травм, а також оптимізувати процес відновлення.

Аналіз виступів у боях. Система може використовувати дані з боїв для аналізу стратегій та ефективності боксерів у різних ситуаціях. Це допомагає тренерам та боксерам адаптувати свої підходи до подальших боїв та підвищити їхню ефективність.

Порівняння з іншими боксерами. Система може порівнювати результати та досягнення боксерів між собою, що дозволяє визначити найсильніших або найбільш перспективних спортсменів.

Ці приклади демонструють, як кіберфізична система моніторингу може бути використана для покращення підготовки та результатів боксерів у спорті.

У боротьбі кіберфізична система моніторингу та ранжування спортсменів може мати значний вплив на тренування, підготовку та аналіз виступів. Ось кілька прикладів результатів її функціонування.

Моніторинг фізичної підготовки. Система може вимірювати параметри фізичної підготовки борців, такі як швидкість, витривалість, сила та гнучкість. Це дозволяє тренерам аналізувати та оптимізувати тренувальні програми для підготовки борців до змагань.

Аналіз технічних навичок. Система може використовувати дані з тренувань та спарингів для аналізу технічних аспектів боротьби, таких як техніка хватання, кидка, контроль над супротивником тощо. Це дозволяє тренерам та борцям виявляти слабкі місця та працювати над ними.

Моніторинг стратегій та тактик. Система може аналізувати виступи борців у різних ситуаціях під час боїв та визначати ефективні та неефективні стратегії та тактики. Це допомагає тренерам та спортсменам розвивати оптимальні підходи до бою.

Оцінка фізичного стану та відновлення. Система може вимірювати показники, що вказують на стан здоров'я та рівень втоми борців під час тренувань

та після них. Це допомагає уникнути перенавантаження та травм, а також оптимізувати процес відновлення.

Порівняння з іншими борцями. Система може порівнювати результати та досягнення борців між собою, що дозволяє визначити найсильніших або найбільш перспективних спортсменів.

Ці приклади ілюструють, як кіберфізична система моніторингу та ранжування може сприяти підвищенню ефективності тренувань та результатів в боротьбі.

4.4 Висновки

У четвертому розділі запропонована кіберфізична система моніторингу та ранжування спортсменів, яка відрізняється від відомих наявністю одночасно двох модулів моніторингу та ранжування. Наведені приклади ілюструють, як кіберфізична система моніторингу та ранжування спортсменів може сприяти підвищенню ефективності тренувань та результатів в різних видах спорту.

ВИСНОВКИ

У професійних командних видах спорту збір та аналіз даних моніторингу спортсменів є поширеною практикою з метою оцінки втоми та подальших адаптаційних реакцій, вивчення потенціалу продуктивності, а також мінімізації ризику травм та/або хвороб. Системи моніторингу та ранжування спортсменів повинні бути підкріплені відповідним аналізом та інтерпретацією даних, щоб забезпечити швидке надання простої та науково обґрунтованої зворотної інформації. Використання доцільних наукових і статистичних підходів може підвищити достовірність рішень, прийнятих на основі даних моніторингу та ранжування спортсменів. Існує широкий спектр аналітичних методів та інструментів, які фахівці-практики можуть використовувати в рамках систем моніторингу та ранжування спортсменів, а також кілька факторів, які слід враховувати при зборі цих даних, методи визначення значущих змін і різні підходи до візуалізації даних. В основі успішної системи моніторингу та ранжування спортсменів лежить здатність фахівців передавати та представляти важливу інформацію тренерам, що в кінцевому підсумку призводить до покращення спортивних результатів.

Актуальність роботи полягає в розробці кіберфізичної системи моніторингу та ранжування спортсменів, що дає можливість отримувати тренерам, спортивним менеджерам, спортивним лікарям та іншим фахівцям своєчасну інформацію про фізичний, психологічний стани спортсмена, технічний та тактичний рівні підготовки, що дає можливість покращити спортивні результати як окремого спортсмена, так і команди в цілому, а також запобігти травмам в процесі тренувань.

Метою кваліфікаційної роботи магістра є моніторинг та ранжування спортсменів, шляхом розроблення кіберфізичної системи моніторингу та ранжування спортсменів, яка забезпечує своєчасне надходження інформації тренеру про стан спортсмена, що дає можливість вчасно скорегувати

навантаження та запобігти травмам. Поставлена мета досягається розв'язанням таких основних задач:

- 1) аналіз відомих підходів застосування кіберфізичних систем в спортивній індустрії;
- 2) огляд систем та датчиків для моніторингу внутрішнього та зовнішнього навантаження спортсмена;
- 3) моделювання кіберфізичної системи моніторингу та ранжування спортсменів;
- 4) дослідження методів та параметрів моніторингу та ранжування спортсменів;
- 5) розроблення методу моніторингу та методу ранжування спортсменів;
- 6) розроблення архітектури кіберфізичної системи моніторингу та ранжування спортсменів.

У другому розділі кваліфікаційної роботи був проведений огляд методів моніторингу та ранжування. Науковий підхід до спортивної підготовки все частіше передбачає регулярний моніторинг зовнішніх і внутрішніх навантажень, яких зазнає спортсмен, а також його реакції на ці навантаження. Було проведено дослідження внутрішніх та зовнішніх параметрів, які може моніторити кіберфізична система. Проведено моделювання процесу моніторингу та процесу ранжування спортсменів в кіберфізичній системі. Представлені концептуальні моделі процесу моніторингу та процесу ранжування кіберфізичної системи моніторингу та ранжування спортсменів.

У третьому розділі магістерської роботи були досліджені та обрані метрики за якими буде проводитись моніторинг спортсменів. Також розроблені та представлені правила моніторингу та сповіщення тренеру. Правила налаштовані з урахуванням конкретних потреб і вимог тренувального процесу та специфіки підготовки спортсменів. Вони допомагають автоматизувати моніторинг та реагування на виявлені тенденції чи проблеми, що дозволяє оптимізувати тренувальний процес і підтримувати спортсменів на найвищому рівні в довгостроковій перспективі. Ці правила допомагають системі моніторингу

ефективно виявляти потенційні проблеми та надавати рекомендації для підтримки здоров'я та оптимальної фізичної підготовки спортсменів.

Запропоновано формулу, яка є базовою для визначення рейтингу спортсмена на початку, наприклад тренувального або змагального періодів. Далі зі значенням цього рейтингу спортсмен входить в процес і далі його рейтинг може як зростати, так і зменшуватись. Далі в підсистемі ранжування можуть використовуватися правила виду «ЯКЩО ТО» для автоматизації прийняття рішень на основі отриманих даних та критеріїв успішності.

Вперше запропоновано метод моніторингу спортсменів, який дозволяє вибрати параметри за якими буде здійснюватись моніторинг спортсменів та на основі розроблених правил сформувати дані для аналізу та передачі до підсистеми ранжування. Також вперше запропоновано метод ранжування спортсменів, який на основі визначених метрик, числової шкали та вагових коефіцієнтів, використовуючи розроблені правила періодичного рейтингу, дозволяє сформувати рейтинг гравців в кіберфізичній системі моніторингу та ранжування спортсменів.

У четвертому розділі представлена структура кіберфізичної системи моніторингу та ранжування спортсменів, в частині додавання одночасно двох модулів моніторингу та ранжування.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Вперше запропоновано метод моніторингу спортсменів, який дозволяє вибрати параметри за якими буде здійснюватись моніторинг спортсменів та на основі розроблених правил сформувати дані для аналізу та передачі до підсистеми ранжування.

2. Вперше запропоновано метод ранжування спортсменів, який на основі визначених метрик, числової шкали та вагових коефіцієнтів, використовуючи розроблені правила періодичного рейтингу, дозволяє сформувати рейтинг гравців в кіберфізичній системі моніторингу та ранжування спортсменів.

3. Набула подальшого розвитку кіберфізична система моніторингу та ранжування спортсменів, яка відрізняється від відомих наявністю одночасно двох модулів моніторингу та ранжування.

Практична цінність отриманих результатів. В результаті виконаного наукового дослідження розроблена кіберфізична система моніторингу та ранжування спортсменів забезпечує своєчасне надходження інформації тренеру про стан спортсмена, що дає можливість вчасно скорегувати навантаження та запобігти травмам. А також практична цінність полягає в тому, що таку систему можна використовувати для будь-яких видів спорту, а також для моніторингу будь-яких, потрібних тренерському штабу даних. Також розроблені та представлені правила моніторингу та сповіщення тренеру. Правила налаштовані з урахуванням конкретних потреб і вимог тренувального процесу та специфіки підготовки спортсменів. Вони допомагають автоматизувати моніторинг та реагування на виявлені тенденції чи проблеми, що дозволяє оптимізувати тренувальний процес і підтримувати спортсменів на найвищому рівні в довгостроковій перспективі. Ці правила допомагають системі моніторингу ефективно виявляти потенційні проблеми та надавати рекомендації для підтримки здоров'я та оптимальної фізичної підготовки спортсменів.

За темою кваліфікаційної роботи магістра опублікована одна стаття у матеріалах конференції, що індексується в наукометричній базі Scopus (додаток А), та взято участь у 18-th International Conference on Computer Science and Information Technologies, 2023 (16-19 October 2023, Lviv, UKRAINE).

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Harpreet Singh. Big data, industry 4.0 and cyber-physical systems integration: A smart industry context. *Materials Today: Proceedings*. 2021. Volume 46, Part 1. pp. 157-162. DOI: 10.1016/j.matpr.2020.07.170.
2. Chyron Hego. Sports tracking – chyronhego. 2018. URL: <https://chyronhego.com/products/sports-tracking> (дата звернення: 17.02.2024).
3. S. A. Pettersen, H. D. Johansen, I. A. M. Baptista, P. Halvorsen, and D. Johansen. Quantified soccer using positional data: A case study. *Frontiers in Physiology*. 2018. Vol. 9. P. 866.
4. F. Tao et al. Digital twins and cyber-physical systems toward smart manufacturing and Industry 4.0: Correlation and comparison. *Engineering*. 2019. Volume 5, Issue 4. Pp. 653-661.
5. M.Y. Santos et al. A big data system supporting bosch braga Industry 4.0 strategy. *International Journal of Information Management*. 2017. Volume 37, Issue 6. Pp. 750-760.
6. Shahzaib Zahid, Muhammad Shoaib Mazhar, Syed Ghazanfar Abbas, Zahid Hanif, Sadaf Hina, Ghalib A. Shah. Threat modeling in smart firefighting systems: Aligning MITRE ATT&CK matrix and NIST security controls. *Internet of Things*. 2023. Volume 22. 100766. DOI: 10.1016/j.iot.2023.100766.
7. T.H. Uhlemann *et al.* The digital twin: Realizing the cyber-physical production system for Industry 4.0 *Procedia CIRP*. 2017.
8. Zhou, Hongtao and Daud, D. Maryama Binti Ag. Ensuring Athlete Physical Fitness Using Cyber-Physical Systems (CPS) in Training Environments. *Technol Health Care*. 2024 Mar 20. DOI: 10.3233/THC-231435.
9. D. Mourtzis et al. Cyber-physical systems and education 4.0 – The teaching factory physical systems and education teaching factory costing models for capacity optimization in industry between used capacity and operational efficiency. *Procedia Manufacturing*. 2018. Volume 23. Pp.129-134.

10. Arafsha F, Laamarti F, El Saddik A. Cyber-Physical System Framework for Measurement and Analysis of Physical Activities. *Electronics*. 2019. 8(2):248. DOI: 10.3390/electronics8020248.
11. Alam K.M., El Saddik A. C2PS: A Digital Twin Architecture Reference Model for the Cloud-Based Cyber-Physical Systems. *IEEE Access*. 2017. Vol. 5. Pp. 2050–2062.
12. Zhuang Y., Gong, J., Kerrigan, D.C., Bennett B.C., Lach, J., Russell, S. Gait tracker shoe for accurate step-by-step determination of gait parameters. In *Proceedings of the 2016 IEEE 13th International Conference on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN)*. 2016. pp. 13–18.
13. Grispos G., Glisson W.B., Choo K.-K.R. Medical Cyber-Physical Systems Development: A Forensics-Driven Approach. In *Proceedings of the 2017 IEEE/ACM International Conference on Connected Health: Applications, Systems and Engineering Technologies (CHASE)*. 2017; Pp. 108–113.
14. M. Sony et al. Technology in society Industry 4.0 integration with socio-technical systems theory: A systematic review and proposed theoretical model. *Technology in Society*. 2020. Volume 61. 101248. DOI: 10.1016/j.techsoc.2020.101248.
15. M. Ghobakhloo et al. Adoption of digital technologies of smart manufacturing in SMEs. *Journal of Industrial Information Integration*. 2019. Vol. 16. DOI: 100107. 10.1016/j.jii.2019.100107.
16. Godfrey A., Del Din S., Barry G., Mathers J.C., Rochester L. Instrumenting gait with an accelerometer: A system and algorithm examination. *Medical Engineering & Physics*. 2015. Vol. 37. Pp. 400–407.
17. Q. Wu, K. Sum, and D. Nathan-Roberts. How Fitness Trackers Facilitate Health Behavior Change. *Proc. Hum. Factors Ergon. Soc. Annu. Meet.* 2016. Vol. 60, №. 1, pp. 1068– 1072.
18. Fortune E, Lugade V, Morrow M, Kaufman K. Validity of using tri-axial accelerometers to measure human movement - Part II: Step counts at a wide range of gait velocities. *Med Eng Phys*. 2014 Jun;36(6):659-69. DOI: 10.1016/j.medengphy.2014.02.006.

19. Sjöberg V, Westergren J, Monnier A, Lo Martire R, Hagströmer M, Ång BO, Vixner L. Wrist-Worn Activity Trackers in Laboratory and Free-Living Settings for Patients With Chronic Pain: Criterion Validity Study. *JMIR Mhealth Uhealth*. 2021 Jan 12;9(1):e24806. DOI: 10.2196/24806.
20. Moraca G.A.G. et al. Aerobic exercise on the treadmill combined with transcranial direct current stimulation on the gait of people with Parkinson's disease: A protocol for a randomized clinical trial. *PLoS One*. 2024. Apr 25;19(4):e0300243. DOI: 10.1371/journal.pone.0300243.
21. S. O'Regan and W. Marnane. Multimodal detection of head-movement artefacts in EEG. *J. Neurosci. Methods*. 2013. Vol. 218, №. 1. Pp. 110–120.
22. H. Jin, Z. Yang, S. Kumar, and J. I. Hong. Towards Wearable Everyday Body-Frame Tracking using Passive RFIDs. *Proc. ACM Interactive, Mobile, Wearable Ubiquitous Technol*. 2018. Vol. 1, №. 4 Pp. 1–23.
23. J. Kuschan, H. Schmidt, and J. Krueger. Improved Ergonomics via an Intelligent Movement and Gesture Detection Jacket. In *Proceedings of ISR 2016: 47st International Symposium on Robotics*. 2016. Pp. 373–378.
24. Saw A. E., Main L. C., Gastin P.B. Monitoring athletes through self-report: factors influencing implementation. *Journal of Sports Science and Medicine*. 2015. Mar 1;14(1):137-46.
25. P. Halvorsen, S. Sægrov et al. Bagadus: an integrated system for arena sports analytics: a soccer case study. In *Proceedings of the ACM Multimedia Systems Conference (MMSYS)*. 2013. Pp. 48–59.
26. A. Mortensen, V. R. Gaddam, H. K. Stensland, C. Griwodz, D. Johansen, and P. Halvorsen. Automatic event extraction and video summaries from soccer games. In *Proceedings of the ACM Multimedia Systems Conference (MMSYS)*. 2014. Pp. 176–179.
27. GPSports. Gps tracking systems for elite sports - globally positioning sport since 2001. URL: <http://gpsports.com>. (дата звернення: 17.02.2024).

28. STATSports Group Limited. Statsports - GPS player tracking and performance analysis. 2018. URL: <http://www.statsports.com> (дата звернення: 17.02.2024).
29. S. A. Pettersen, D. Johansen, H. Johansen, V. Berg-Johansen, V. R. Gaddam, A. Mortensen, R. Langseth, C. Griwodz, H. K. Stensland, and P. Halvorsen. Soccer video and player position dataset. In *Proceedings of the ACM Multimedia Systems Conference (MMSYS)*. 2014. Pp. 18–23.
30. H. K. Stensland, V. R. Gaddam, M. Tennøe, E. Helgedagsrud, M. Næss, H. K. Alstad, A. Mortensen, R. Langseth, S. Ljødal, Ø. Landsverk et al. Bagadus: An integrated real-time system for soccer analytics. *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications (TOMM)*. 2014. Vol. 10, №. 1s. P.14.
31. H. A. Javaid, N. Rashid, M. I. Tiwana, and M. W. Anwar. Comparative Analysis of EMG Signal Features in Time-domain and Frequency-domain using MYO Gesture Control. In *Proceedings of the 4th International Conference on Mechatronics and Robotics Engineering – ICMRE*. 2018. Pp. 157–162.
32. Malone J., Lovell R., Varley M., Coutts A. Unpacking the black box: Applications and considerations for using GPS devices in sport. *Int J Sports Physiol Perform*. 2017. Vol. 12(Suppl 2). Pp. 218-S226.
33. Thornton H., Nelson A., Delaney J., Duthie G. Inter-unit reliability and effect of data processing methods of global positioning systems. *Int J Sports Physiol Perform*. 2018. In Press.
34. Carey D., Crossley K., Whiteley R., et al. Modelling training loads and injuries: The dangers of discretization. *Med Sci Sports Exerc*. 2018. In Press.
35. R: A language and environment for statistical computing [computer program]. *Vienna, Austria R Foundation for Statistical Computing*. 2015.
36. Gabbett T. The training-injury prevention paradox: Should athletes be training smarter and harder? *Br J Sports Med*. 2016. Vol. 50(5). Pp. 273-280.
37. Hulin B., Gabbett T., Lawson D., Caputi P., Sampson J. The acute: chronic workload ratio predicts injury: High chronic workload may decrease injury risk in elite rugby league players. *Br J Sports Med*. 2016. Vol. 50(4). Pp. 231-236.

38. Murray N., Gabbett T., Townshend A., Hulin B., McLellan C. Individual and combined effects of acute and chronic running loads on injury risk in elite Australian footballers. *Scand J Med Sci Sports*. 2017. Vol. 27(9). Pp. 990-998.
39. O. Kocabas, T. Soyata, and M. K. Aktas. Emerging Security Mechanisms for Medical Cyber Physical Systems. *IEEE/ACM Trans. Comput. Biol. Bioinforma.* 2016. Vol. 13, № 3. Pp. 401–416.
40. Catapult Sports. World leader in sport technology for elite sports — catapult sports. 2018. URL: <http://www.catapultsports.com> (дата звернення: 17.02.2024).
41. Gleadhill S., Lee J.B., James D. The development and validation of using inertial sensors to monitor postural change in resistance exercise. *J Biomech.* 2016. Vol. 49(7). Pp.1259–1263. DOI:10.1016/j.jbiomech.2016.03.012.
42. García-Ramos A., Stirn I., Strojnik V., et al. Comparison of the force-, velocity-, and power-time curves recorded with a force plate and a linear velocity transducer. *Sports Biomech.* 2016. Vol. 15(3). Pp. 329–341. DOI:10.1080/14763141.2016.1161821.
43. Hulin B.T., Gabbett T.J., Lawson D.W., Caputi P., Sampson J.A. The acute: chronic workload ratio predicts injury: high chronic workload may decrease injury risk in elite rugby league players. *Br J Sports Med.* 2016. Vol. 50(4). Pp. 231–236. DOI:10.1136/bjsports-2015-094817.
44. Clarsen B., Myklebust G., Bahr R. Development and validation of a new method for the registration of overuse injuries in sports injury epidemiology: the Oslo Sports Trauma Research Centre (OSTRC) Overuse Injury Questionnaire. *Br J Sports Med.* 2013. Vol. 47(8). Pp. 495–502. DOI:10.1136/bjsports-2012-091524.
45. C. Massaroni, A. Nicolò, M. Sacchetti and E. Schena. Contactless Methods For Measuring Respiratory Rate: A Review. In *IEEE Sensors Journal*. Vol. 21, №. 11, pp. 12821-12839. DOI: 10.1109/JSEN.2020.3023486.
46. Bonaiuto V., Boatto P., Lanotte N., Romagnoli C., Annino G. A Multiprotocol Wireless Sensor Network for High Performance Sport Applications. *Applied System Innovation*. 2018. Vol. 1(4). P. 52. DOI: 10.3390/asi1040052.

47. Sharma P., Hui X., Zhou J. *et al.* Wearable radio-frequency sensing of respiratory rate, respiratory volume, and heart rate. *npj Digit. Med.* 2020. Vol. 3. P. 98.
48. Saw A. E., Kellmann M., Main L. C., Gatin P. B. Athlete self-report measures in research and practice: considerations for the discerning reader and fastidious practitioner. *Int J Sports Physiol Perf.* 2017. Vol. 12(Suppl 2) S2-127–S2-135. DOI:10.1123/ijsp.2016-0395.
49. Kellmann M., Kallus K.W. Recovery-Stress Questionnaire for Athletes. In: Kallus KW, Kellmann M, eds. *The Recovery-Stress Questionnaires: User Manual.* Frankfurt am Main, Germany: Pearson Assessment & Information; 2016:86–131.
50. Bowen L, Gross AS, Gimpel M, Li FX. Accumulated workloads and the acute:chronic workload ratio relate to injury risk in elite youth football players. *Br J Sports Med.* 2017;51(5):452–459. PubMed doi:10.1136/bjsports-2015-095820 56.
51. Menaspà P. Are rolling averages a good way to assess training load for injury prevention? *Br J Sports Med.* 2017;51(7):618–619. PubMed doi:10.1136/bjsports-2016-096131.
52. Malone JJ, Lovell R, Varley MC, Coutts AJ. Unpacking the black box: applications and considerations for using GPS devices in sport. *Int J Sports Physiol Perform.* 2017;17(Suppl 2):S2-18–S2-26. [http:// dx.doi.org/10.1123/ijsp.2016-0236](http://dx.doi.org/10.1123/ijsp.2016-0236)
53. Vertec Jump Test. URL: <https://www.scienceforsport.com/vertec-jump-test/>. (дата звернення 24.03.2024).
54. Force Plate. URL: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/force-plate#:~:text=Force%20plates%20are%20mechanical%20sensing,cells%20%5B21%2C%2022%5D>. (дата звернення 24.03.2024).
55. C. G. Cassandras. Online Control and Optimization for Cyber-Physical Systems. In *Cyber-Physical Systems, Elsevier.* 2017. Pp. 31–54.
56. Malone S., Roe M., Doran D., Gabbett T.J., Collins K. High chronic training loads and exposure to bouts of maximal velocity running reduce injury risk in Gaelic football. *J Sci Med Sport.* 2017. Vol. 20(3). Pp. 250–254. DOI:10.1016/j.jsams.2016.08.005.

57. T. Hovorushchenko, Y. Hnatchuk, A. Hnatchuk, O. Fehyr. Decision Support System For The Coaching Staff in the Process of Preliminary Selection of Players. 2023 *IEEE 18th International Conference on Computer Science and Information*.
58. Komodo A. I. O. Smart sleeve gets serious about heart rate monitoring. Wareable. URL: <https://www.wareable.com/fitness-trackers/aio-smart-sleeve-specs-pricerelease-date-2547>. (дата звернення 24.03.2024).
59. Jabra Sport Pulse review. Wareable. URL: <https://www.wareable.com/headphones/jabra-sport-pulse-review>. (дата звернення 24.03.2024).
60. Kabir, M. M., Perez-Alday, E. A., Thomas, J., Sedaghat, G. & Tereshchenko, L. G. Optimal configuration of adhesive ECG patches suitable for long-term monitoring of a vectorcardiogram. *J. Electrocardiol.* 2017. Vol. 50. Pp. 342–348.
61. Lee, J.-W., Yun, K.-S., Lee, J.-W. & Yun, K.-S. ECG monitoring garment using conductive carbon paste for reduced motion artifacts. *Polymers.* 2017. Vol. 9. P. 439.
62. SportTechie. Smart Textile Company Kymira introduces cardiac monitoring T-shirt. URL: <https://www.sporttechie.com/smart-textile-company-kymiracardiac-monitoring-tshirt-athletes/>. (дата звернення 26.03.2024).
63. Anderson, D. P. The limitations of training with heart rate and the crucial information muscle oxygenation can offer you. *Engineer.* 2017. Vol.4.
64. Whoop. Performance optimization system|wearable fitness devices. URL: <https://whoop.com/>. (дата звернення 26.03.2024).
65. Sekiguchi, Y. et al. Relationships between resting heart rate, heart rate variability and sleep characteristics among female collegiate cross-country athletes. *J. Sleep Res.* 2019.
66. Rathore MM, Ahmad A, Paul A, Wan J, Zhang D. Real-time medical emergency response system: exploiting IoT and big data for public health. *J Med Syst.* 2016;40(12):283

67. Fortino G., Parisi D., Pirrone V., Di Fatta G. BodyCloud: a SaaS approach for community body sensor networks. *Futur Gener Comput Syst.* 2014. Vol. 35. Pp.62-79. DOI: 10.1016/j.future.2013.12.015 41.
68. Mohammed J., Lung C.H., Ocneanu A., Thakral A., Jones C., Adler A. Internet of things: remote patient monitoring using web services and cloud computing. *2014 IEEE International Conference on Internet of Things (iThings), and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom), Taipei.* 2014. Pp. 256- 263. DOI:10.1109/iThings.2014.45.
69. Cai H, Cui L, Shi, Y, Kong L, Yan, Z. Multi- tenant service composition based on granularity computing. *2014 IEEE International Conference on Services Computing, SCC 2014;* 669- 676.
70. Pepa L., Capecci M., Verdini F., Ceravolo M.G., Spalazzi L. An architecture to manage motor disorders in Parkinson's disease. *2nd World Forum on Internet of Things (WF- IoT), Milan, IEEE;* 2015. Pp. 615- 620. DOI: <https://doi.org/10.1109/WF- IoT.2015.7389124>.
71. Lanata, Antonio, Gaetano Valenza, Mimma Nardelli, Claudio Gentili, and Enzo Pasquale Scilingo. Complexity index from a personalized wearable monitoring system for assessing remission in mental health. *IEEE journal of biomedical and health informatics.* 2015. Vol. 19, №. 1. Pp.132-139.
72. Li, Yibin, Wenyun Dai, Zhong Ming, and Meikang Qiu. Privacy protection for preventing data over-collection in smart city. *IEEE Transactions on Computers.* 2016. Vol.65, №. 5. Pp.1339-1350.
73. Bourdon P., et al. Monitoring athlete training loads: Consensus statement. *International Journal of Sports Physiology and Performance.* 2017. Vol. 12(Suppl. 2). Pp. 161-170. DOI:10.1123/IJSPP.2017-0208.
74. Foster C., Rodriguez-Marroyo J., & de Koning, J. Monitoring training loads: The past, the present, and the future. *International Journal of Sports Physiology and Performance.* 2017. Vol. 12(2). Pp.2-8. DOI:10.1123/ijsp.2016-0388.
75. Greenham G., Buckley J. D., Garrett J., Eston, R., & Norton, K. Biomarkers of physiological responses to periods of intensified, non-resistance-based

exercise training in welltrained male athletes: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*. 2018. Vol. 48. Pp. 2517-2548. DOI:10.1007/s40279-018-0969-2.

76. Hackney A. C., Kallman A. L., & Aggon, E. Female sex hormones and the recovery from exercise: Menstrual cycle phase affects responses. *Biomedical Human Kinetics*. 2019. Vol. 11(1). Pp. 87-89. DOI:10.2478/bhk-2019-0011.

77. Julian R., Hecksteden A., Fullagar H. H. K., & Meyer, T. The effects of menstrual cycle phase on physical performance in female soccer players. *PLoS ONE*. 2017. Vol. 12(3). Pp. 1- 13. DOI:10.1371/journal.pone.0173951.

78. Lee E. C., Fragala M. S., Kavouras S. A., Queen R. M., Pryor, J. L., & Casa, D. J. Biomarkers in sports and exercise: Tracking health, performance, and recovery in athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2017. Vol. 31. Pp. 2920- 2937. DOI:10.1519/JSC.0000000000002122.

79. Weston M. Training load monitoring in elite English soccer: A comparison of practices and perceptions between coaches and practitioners. *Science and Medicine in Football*. 2018. Vol. 2. Pp. 216-224. DOI:10.1080/24733938.2018.1427883.

80. Zubac D., Reale R., Karnincic H., Sivric A., & Jelaska, I. Urine specific gravity as an indicator of dehydration in Olympic combat sport athletes; considerations for research and practice. *European Journal of Sports Science*. 2018. Vol. 18. Pp. 920-929. DOI:10.1080/17461391.2018.146848

ДОДАТОК А
(обов'язковий)

КОПІЯ СТАТТІ

T. Hovorushchenko, Y. Hnatchuk, A. Hnatchuk, O. Fehyr. Decision Support System For The Coaching Staff in the Process of Preliminary Selection of Players. 2023 IEEE 18th International Conference on Computer Science and Information.

Hovorushchenko, T., Hnatchuk, Y., Hnatchuk, A., Fehyr, O.

Decision Support System For The Coaching Staff in the Process of Preliminary Selection of Players

(2023) International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information

Technologies, .

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85179848093&doi=10.1109%2fCSIT61576.2023.10324119&partnerID=4>

DOI: 10.1109/CSIT61576.2023.10324119

Document Type: Conference Paper

Publication Stage: Final

Source: Scopus

ELSEVIER

[Terms and conditions](#)

[Privacy policy](#)

Copyright © 2023 Elsevier B.V. All rights reserved. Scopus® is a registered trademark of Elsevier B.V.

 RELX Group™

Decision Support System For The Coaching Staff in the Process of Preliminary Selection of Players

Tetiana Hovorushchenko
*Computer Engineering and Information
 System Department
 Khmelnytskyi National University
 (KhNU)*
 Khmelnytskyi, Ukraine
 tat_yana@ukr.net

Yaroslav Hnatchuk
*Theory and Methods of Physical
 Education and Sports
 Department
 Khmelnytskyi National University
 (KhNU)*
 Khmelnytskyi, Ukraine
 hnatchuk@ukr.net

Alina Hnatchuk
*Computer Engineering and Information
 System Department
 Khmelnytskyi National University
 (KhNU)*
 Khmelnytskyi, Ukraine
 alinahnatchuk@ukr.net

Oleksandr Fegir
*Computer Engineering and Information System Department
 Khmelnytskyi National University (KhNU)*
 Khmelnytskyi, Ukraine
 sasha.fegir@gmail.com

Abstract— Nowadays in Ukraine, there is a need to automate the routine work of coaches and sports managers in the preliminary selection of athletes. In the process of selecting athletes for competitions of various levels, the head coach and coaching staff need to process large amounts of information about the applicants. This is especially important at the stages of preliminary selection, when the number of players to be selected for preliminary training camps is quite large, and the amount of information about each individual athlete increases accordingly. Our research has shown that despite the rapid development and application of information technology in the sports industry, there is currently no intelligent sports-specific DSS in Ukraine that helps coaching staff and sports managers automate the routine and time-consuming process of preliminary selection of athletes. Taking into account the large amount and heterogeneity of data that must be processed for decision-making by the coaching staff during the preliminary selection of players, a decision support system for preliminary selection of players is proposed. The system is based on the method of supporting decision-making by the coaching staff in the process of preliminary selection of athletes. The result of the decision support system is a recommended list of 18 players who have been selected according to the specified criteria out of a total of 24 players. If the coaching staff is not satisfied with the recommended list, it is possible to set additional criteria and use the decision support method to obtain a more accurate result. The results can also be implemented in other team sports.

Keywords— *sports data, athletes, preliminary selection of players, decision making, decision support method.*

I. INTRODUCTION

The development of the modern sports industry is impossible without the use of information systems and technologies used by coaches, athletes, sports managers and

judges in the preparatory and pre-competition periods, when selecting athletes for national teams and when organizing and conducting competitions at various levels. At the same time, large amounts of data are accumulated, including data on the physical and functional condition of athletes, indicators of the level of physical fitness of athletes, statistical results of training and competition processes, analysis of the effectiveness of technical and tactical actions of athletes, ratings of athletes and teams, competition protocols, etc. Hundreds of millions of sports data are generated every day in the world from sports schools, clubs, national teams, various sports events and unions [1].

The diversity and complexity of sports data is due to the fact that it contains a variety of objects and relationships between them, which makes analyzing and processing such data a time-consuming task. Another important issue is the elimination of ambiguity and duplication of sports data.

Working with big sports data can be promising for popular sports. Sports data can be used to predict potential athletes, sports match results, etc. The results of analyzing this data help coaching staff, referees, and sports managers make decisions. This will allow to provide better sports services to athletes, coaches, and decision makers related to the organization of competitions. In addition, data such as data on the athlete's health status, functional training, training and competition statistics, dynamics of changes in results, data on the athlete's psycho-emotional state can effectively help coaches in making decisions on the organization of training, developing game strategies and influencing the outcome of competitions. [2].

Specialized sports software and decision support systems can significantly increase the productivity of coaches, sports managers, and referees. Even more important nowadays are multidisciplinary sports DSS, for example, those that help coaching staff or sports managers in the selection of athletes.

Thus, today, an important and urgent task is to apply intelligent sports information technologies that serve as a basis for integrating the efforts of specialists in interdisciplinary fields and a reliable tool for supporting decision-making on the selection of athletes, improving their skills and achieving high sports results.

A number of foreign scientists have been engaged in research related to the use and processing of large amounts of sports data [3]. The vast majority of research and development using information systems and technologies are foreign developments. Instead, the works of Ukrainian scientists are primarily devoted to an overview, prospects for application and opportunities that information technology can provide in the system of athletes' training [4].

In Ukraine, there is currently an acute problem of solving the task of automating routine work on processing information in the process of preliminary selection of athletes.

Successful implementation of sports software and decision support systems can significantly increase the efficiency of information processing in the process of preliminary selection of athletes. Agent-based systems and intelligent agents can be especially useful for decision support, as they allow to partially eliminate a person from the processes of information processing, knowledge acquisition and decision (conclusion) formation [5, 6].

In [7], in order to improve the ability to make decisions about the effect of sports training, the authors proposed a method for designing a sports training decision support system based on an improved association rule, the *Apriori* algorithm, and built a model of the phase space of the distribution of association rules for sports training decision support data. Based on the results of the a priori extraction of features of association rules, the decision on sports training is evaluated.

In [8], the author set out to improve the effect of a sports training assistance solution. In this paper, the author proposed to combine the needs of a sports training assistive system to perform functional analysis and improve a traditional machine learning algorithm. This article takes sports decisions as a basis and introduces tasks of varying complexity and video training into the study. In addition, this paper uses simulation software to measure the correctness of sports training in different scenarios and reaction delay data, and applies a neural network algorithm to build a sports training decision support system.

The main content of [9] is a methodological framework for designing decision support systems for planning in professional team sports. The authors have developed a conceptual framework for contextualizing HR indicators, paying special attention to the dynamics of reactions to training, as well as the context of training, and illustrated its application for multidimensional interpretation and decision-making using a heuristic approach.

Most of the conducted studies show that the authors mainly focus on the development of DSS for sports training of athletes of various sports.

However, it should be noted that when making decisions for the preliminary selection of athletes, not only sports

training data is taken into account, but also personal data of athletes, their performance results at competitions of various levels or the potential they have for further successful performances at competitions.

The conducted research has shown that despite the rapid development and application of information technologies in the sports industry, there is currently no intelligent DSS in the sports industry in Ukraine that helps coaches and sports managers automate the routine and time-consuming process of preliminary selection of athletes.

Thus, today the urgent task in Ukraine is to automate the routine work of coaches and sports managers in the preliminary selection of athletes.

The purpose of this study is to present the concept of a decision support system for the preliminary selection of players. The objectives of this study are to analyse the criteria by which players are selected for the national volleyball team of Ukraine, to develop the structure of a decision support system for the preliminary selection of players, as well as the concept of a method for supporting the decision-making of the coaching staff in the process of preliminary selection of athletes, which forms the basis of the presented system.

II. THE SYSTEM OF SELECTION OF PLAYERS FOR THE NATIONAL TEAMS OF UKRAINE TO PARTICIPATE IN INTERNATIONAL SPORTS COMPETITIONS

In the process of selecting athletes for competitions at various levels, the head coach and coaching staff need to process large amounts of information about the athletes. This is especially important at the preliminary selection stages, when the number of players to be selected for preliminary training camps is quite large, and the amount of information about each individual athlete increases accordingly [10]. The coach and his assistants need to study, re-read, analyze, compare and make decisions. This includes data on the physical and functional condition of athletes, indicators of the level of physical fitness of athletes, statistical results of training and competition processes, analysis of the effectiveness of technical and tactical actions of athletes, ratings of athletes, etc.

In team sports, such as volleyball, football, basketball, handball, and others, the amount of information that needs to be processed and the decisions that need to be made based on the results of the processing increase significantly compared to individual sports. This is due to the peculiarities of team sports, where a larger number of players participate simultaneously. The selection of players for the national team consists of three stages:

1) *The first stage is a review:* At this stage, the performance of players at the club level is analyzed and a list of candidate athletes is determined (the number of potential players is 20-24 athletes).

2) *The second stage is the training and competition stage:* At this stage, the degree of readiness of the players to

participate in the preparation of the team for official matches is determined (the number of players is 18-20).

3) *The third stage is the main one:* At this stage, the final composition of the national team of Ukraine is formed (the number of players is 14-18).

Let's consider groups of criteria for player selection using the example of a team sport such as volleyball. Volleyball is a non-contact, combinational sport where each player has his own specialization on the court. A large number of technical and tactical actions, their combinations and various manifestations in the process of training and competitive activities of rival teams and individual players leads to an increase in data volumes, which leads to an increase in the complexity of the decision-making process.

Fig. 1 shows the groups of criteria for selecting volleyball players for the national teams of Ukraine to participate in international sports competitions.



Fig. 1. Groups of criteria for selecting volleyball players for the national teams of Ukraine to participate in international sports competitions [10]

As can be seen from Fig. 1, there are 4 groups of criteria that are recommended for pre-selection of players. Each of these groups consists of subgroups that contain criteria, which, in turn, contain a set of data that characterizes them. In the process of making a decision, the coaching staff must process various groups of data: video data, quantitative and qualitative indicators, which in turn can be both clear and fuzzy, different ranges of values, study the dynamics of changes in various indicators - numerical and verbal, and so on.

III. SUPPORTING DECISION-MAKING BY THE COACHING STAFF IN THE PROCESS OF PRELIMINARY SELECTION OF PLAYERS

Therefore, given the large amount and heterogeneity of data that must be processed for decision-making by the coaching staff in the preliminary selection of players, it is advisable to propose a decision support system for the preliminary selection of players.

The structure of the proposed system is shown in Fig. 2.

The basis of the system is a method of supporting decision-making by the coaching staff in the process of preliminary selection of athletes. The method consists of three steps, shown in Fig. 3.

The first step is to search for information according to the criteria set by the coaching staff. The second step of the method analyzes the information found and, as a result, the last step is to get a recommended list of players.

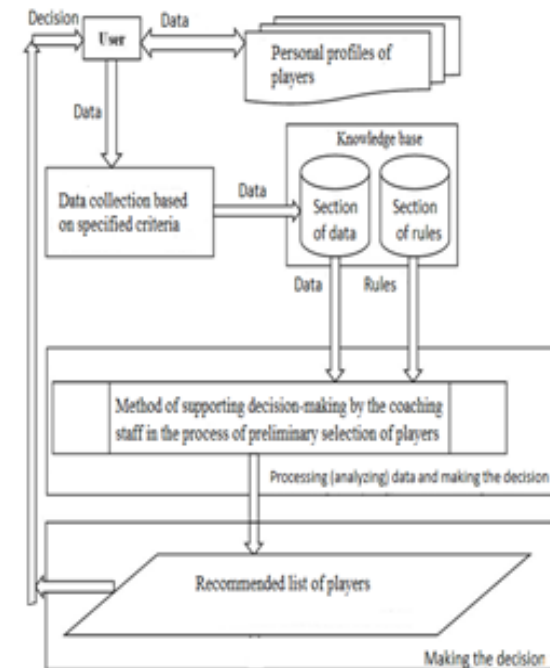


Fig. 2. Structure of the decision support system for the coaching staff in the process of preliminary selection of players.

The decision support system for the coaching staff in the process of preliminary selection of players consists of the following subsystems: a dialogue subsystem of user interaction, a subsystem of player profiles, knowledge bases, subsystems for data processing (analysis) and decision support process, and a subsystem for forming a conclusion.

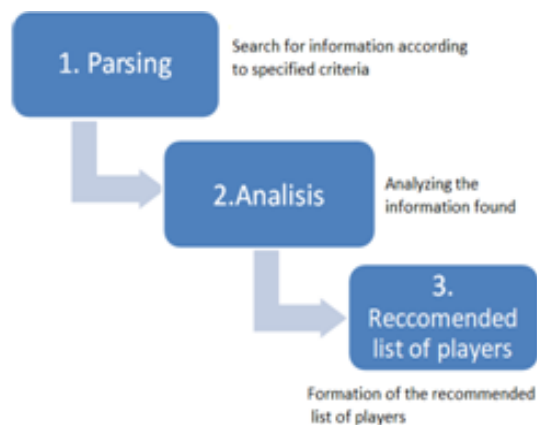


Fig. 3. Steps of the decision support method for the coaching staff in the process of preliminary selection of players

In general, the method of supporting decision-making by the coaching staff in the process of preliminary selection of athletes consists of three main steps: search for information according to specified criteria; analyzing the information found; formation of the recommended list of players.

The result of the decision support system is a recommended list of 18 players who have been selected according to the specified criteria out of a total of 24 players. If the coaching staff is not satisfied with the recommended list, it is possible to set additional criteria and use the decision support method to obtain a more accurate result. The results can also be implemented in other team sports.

Conclusions

Thus, today in Ukraine there is a need to automate the routine work of coaches and sports managers in the preliminary selection of athletes. In the process of selecting athletes for competitions of various levels, the head coach and coaching staff need to process large amounts of information about the applicants. This is especially important at the stages of preliminary selection, when the number of players to be selected for preliminary training camps is quite large, and the amount of information about each individual athlete increases accordingly. The conducted research has shown that despite the rapid development and application of information technology in the sports industry, there is currently no intelligent sports-specific DSS in Ukraine that helps coaching staff and sports managers automate the routine and time-

consuming process of preliminary selection of athletes. Given the large amount and heterogeneity of data that must be processed for decision-making by the coaching staff in the preliminary selection of players, a decision support system for the preliminary selection of players is proposed. The system is based on the method of supporting decision-making by the coaching staff in the process of preliminary selection of athletes. The result of the decision support system is a recommended list of 18 players who have been selected according to the specified criteria out of a total of 24 players. If the coaching staff is not satisfied with the recommended list, it is possible to set additional criteria and use the decision support method to obtain a more accurate result. The results can also be implemented in other team sports.

Promising areas for further work of the authors are the implementation of a method for supporting decision-making in the coaching staff in the process of preliminary selection of players.

References

- [1] Du M., Yuan X., "A survey of competitive sports data visualization and visual analysis", *Journal of Visualization*, Vol. 24, pp. 47-67, 2021. <https://doi.org/10.1007/s12650-020-00687-2>
- [2] Zhongbo Bai, Xiaomei Bai, "Sports Big Data: Management, Analysis, Applications, and Challenges", *Hindawi Complexity* Volume 2021, 2021, pp. 1076-2787. <https://doi.org/10.1155/2021/6676297>
- [3] Grunetter Arne, "What We Know and What We Do Not Know About Digital Technologies in the Sports Industry", *Completed Research, Americas Conference on Information Systems (AMCIS)*, 2019, p.10.
- [4] Alyoshyna A., Bychuk O., Rodionenko M., Hrytsai V., Bychuk L., "Information Technologies in Sports Activities (on the Example of Football)", *Youth Scientific Bulletin of Lesya Ukrainka Eastern European National University*, Issue 31, 2018, pp. 68-72.
- [5] T. Hovorushchenko, A. Herts, Ye. Hnatchuk, "Concept of Intelligent Decision Support System in the Legal Regulation of the Surrogate Motherhood", *CEUR-WS*, vol. 2488, 2019, pp. 57-68.
- [6] T. Hovorushchenko, Ye. Hnatchuk, A. Herts, O. Onyshko, "Intelligent Information Technology for Supporting the Medical Decision-Making Considering the Legal Basis", *CEUR-WS*, 2021, Vol. 2853, Pp. 72-82.
- [7] Xinbao Wang, Dawu Huang, Xuemin Zhao, "Design of the Sports Training Decision Support System Based on the Improved Association Rule, the Apriori Algorithm, Intelligent Automation & Soft Computing", Vol. 26 Issue 4, 2020, pp.755-763.
- [8] T. Wang, "Sports training auxiliary decision support system based on neural network algorithm", *Neural Comput & Applic* 35, pp. 4211-4224, 2023. <https://doi.org/10.1007/s00521-022-07137-0>.
- [9] X. Schelling, J. Fernández, P. Ward, J. Fernández, S. Robertson, "Decision Support System Applications for Scheduling in Professional Team Sport: The Team's Perspective", *Frontiers in Sports and Active Living, Sec. Sports Science, Technology and Engineering* Volume 3, 2021. <https://doi.org/10.3389/fspor.2021.678489>.
- [10] Ministry of Youth and Sports of Ukraine, "System of selection to the national teams of Ukraine in Olympic sports for participation in official international competitions in 2023". URL: <http://sur.li/indsvf>.

ДОДАТОК Б

(обов'язковий)

ПРЕЗЕНТАЦІЯ ДО ЗАХИСТУ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Кіберфізична система моніторингу та ранжування спортсменів

Виконала: магістр гр.КІМ-22-1 Гнатчук А.Я.

Керівник: д.т.н., професор Яцків В.В.

1

Активация Wind

Актуальність

- Технологічний прогрес дозволив спортсменам, тренерам і лікарям відстежувати функціональні рухи, робоче навантаження, біомеханічні та біожиттєві маркери за допомогою переносних датчиків, щоб максимізувати продуктивність і мінімізувати потенціал травм. Використання таких пристроїв дозволяє розробляти точні плани лікування та програми тренувань для кожного гравця, щоб потенційно зменшити й полегшити травми.
- Актуальність роботи полягає в розробці кіберфізичної системи моніторингу та ранжування спортсменів, що дає можливість отримувати тренерам, спортивним менеджерам, спортивним лікарям та іншим фахівцям своєчасну інформацію про фізичний, психологічний стани спортсмена, технічний та тактичний рівні підготовки, що дає можливість покращити спортивні результати як окремого спортсмена, так і команди в цілому, а також запобігти травмам в процесі тренувань.

- Мета дослідження: моніторинг та ранжування спортсменів, шляхом розроблення кіберфізичної системи моніторингу та ранжування спортсменів, яка забезпечує своєчасне надходження інформації тренеру про стан спортсмена, що дає можливість вчасно скорегувати навантаження та запобігти травмам.
- Об'єкт дослідження: процес моніторингу та ранжування спортсменів.
- Предмет дослідження: методи та кіберфізична система моніторингу та ранжування спортсменів.

Задачі дослідження

- 1) аналіз відомих підходів застосування кіберфізичних систем в спортивній індустрії;
- 2) огляд систем та датчиків для моніторингу внутрішнього та зовнішнього навантаження спортсмена;
- 3) моделювання кіберфізичної системи моніторингу та ранжування спортсменів;
- 4) дослідження методів та параметрів моніторингу та ранжування спортсменів;
- 5) розроблення методу моніторингу та методу ранжування спортсменів;
- 6) розроблення архітектури кіберфізичної системи моніторингу та ранжування спортсменів.

Наукова новизна

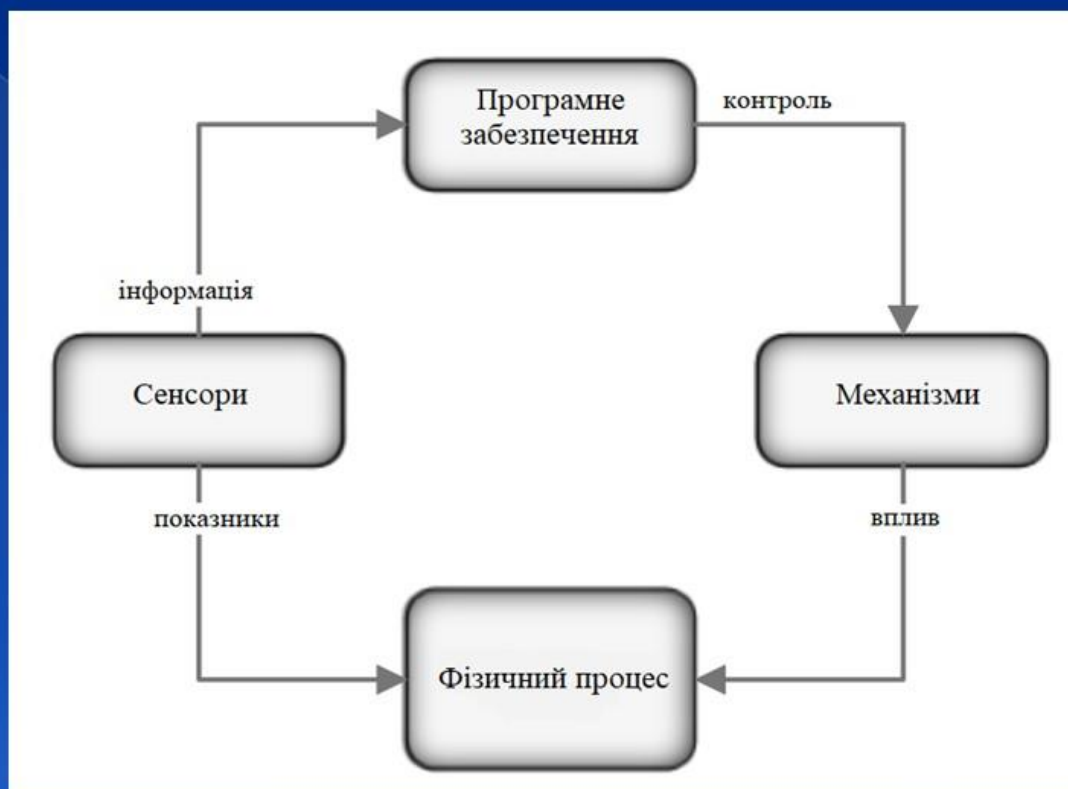
- 1. Вперше розроблено метод моніторингу спортсменів, який дозволяє вибрати параметри за якими буде здійснюватись моніторинг спортсменів та на основі розроблених правил сформувані дані для аналізу та передачі до підсистеми ранжування.
- 2. Вперше розроблено метод ранжування спортсменів, який на основі визначених метрик, числової шкали та вагових коефіцієнтів, використовуючи розроблені правила періодичного рейтингу, дозволяє сформувані рейтинг гравців в кіберфізичній системі моніторингу та ранжування спортсменів.
- 3. Набула подальшого розвитку кіберфізична система моніторингу та ранжування спортсменів, в частині додавання в її структуру одночасно двох модулів моніторингу та ранжування.

- Практична цінність отриманих результатів

В результаті виконаного наукового дослідження розроблена кіберфізична система моніторингу та ранжування спортсменів забезпечує своєчасне надходження інформації тренеру про стан спортсмена, що дає можливість вчасно скорегувати навантаження та запобігти травмам.

Практична цінність полягає в тому, що таку систему можна використовувати для будь-яких видів спорту, а також для моніторингу будь-яких, потрібних тренерському штабу даних.

- Огляд літературних джерел показав, що на даний момент актуальність використання методів та систем моніторингу та ранжування в спортивній галузі зростає.
- Завданнями кіберфізичної системи моніторингу та ранжування спортсменів є надання тренерам, спортивним менеджерам, спортивним лікарям та іншим фахівцям актуальної інформації про фізичний, психологічний стани спортсмена, технічний та тактичний рівні підготовки, що дає можливість покращити спортивні результати як окремого спортсмена, так і команди в цілому, а також запобігти травмам в процесі тренувань.



Сценарій роботи кіберфізичної системи

Компанії-виробники натільних датчиків

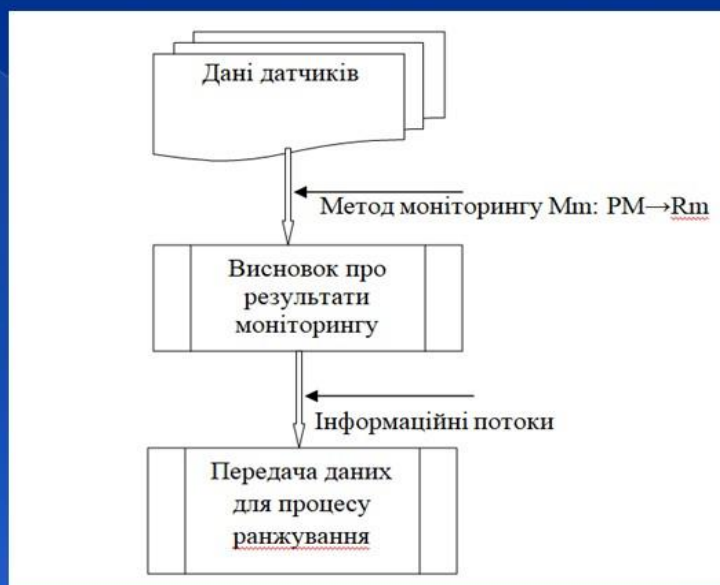
Microsoft	Microsoft Band (браслет)	Пульс, спалені калорії, якість сну, електронна пошта, текст
Nike	Fuelband (браслет)	Крокомір, GPS
Polar	A360, Loop Crystal, Loop 2 (браслет)	Пульс, трекер продуктивності
Samsung	GearFit 2 (годинник)	GPS, сон, пульс, калорії, крокомір
Stifit	Stifit band (браслет)	Кисень у крові, індекс маси тіла, спалені калорії, дистанція, втома, частота серцевих скорочень, сон
TruSox	TruSox (шкарпетки)	Нековзні шкарпетки для більшої швидкості та маневреності
Vibrado Technologies	Vibrado Technologies (текстильна електроніка - рукав для носіння на передпліччі)	Акселерометр для вимірювання кута пострілу, висоти руки, точки спуску.
Zebra Technologies	Zebra Tracking Device (блоковий пристрій)	RFID, що використовується для кількісного визначення профілів руху та відстані.

Компанії-виробники натільних датчиків

Microsoft	Microsoft Band (браслет)	Пульс, спалені калорії, якість сну, електронна пошта, текст
Nike	Fuelband (браслет)	Крокомір, GPS
Polar	A360, Loop Crystal, Loop 2 (браслет)	Пульс, трекер продуктивності
Samsung	GearFit 2 (годинник)	GPS, сон, пульс, калорії, крокомір
Stifit	Stifit band (браслет)	Кисень у крові, індекс маси тіла, спалені калорії, дистанція, втома, частота серцевих скорочень, сон
TruSox	TruSox (шкарпетки)	Нековзні шкарпетки для більшої швидкості та маневреності
Vibrado Technologies	Vibrado Technologies (текстильна електроніка - рукав для носіння на передпліччі)	Акселерометр для вимірювання кута пострілу, висоти руки, точки спуску.
Zebra Technologies	Zebra Tracking Device (блоковий пристрій)	RFID, що використовується для кількісного визначення профілів руху та відстані.

- Моніторинг даних спортсменів має на меті забезпечити тренерам та медичному персоналу інформацію про фізичний стан та прогрес атлетів для оптимізації їхньої підготовки та уникнення травм.
- Моніторинг даних спортсменів допомагає збалансувати навантаження та відновлення, мінімізувати ризики травм та покращити спортивні результати.

Концептуальна модель процесу моніторингу кіберфізичної системи моніторингу та ранжування спортсменів



Для змінної PM – параметри моніторингу та результатів моніторингу Rm (залежить від задачі моніторингу та відповідно обраних датчиків) існує метод моніторингу Mm , що наближує Rm на всій множині об'єктів PM

Процес ранжування спортсменів має на меті визначити їхній рівень вмінь, навичок та досягнень у відповідній галузі спорту. Цей процес є важливим для багатьох цілей, включаючи відбір до команд, розподіл спортсменів на рівні групи для тренувань та змагань, а також визначення потенційних учасників змагань.

Ранжування спортсменів може базуватися на різних критеріях, таких як технічні навички, фізична підготовленість, вікові категорії, рівень досвіду тощо. Важливо, щоб цей процес був об'єктивним, справедливим та спрямованим на підтримку розвитку кожного спортсмена у відповідності з його потенціалом.

Концептуальна модель процесу ранжування кіберфізичної системи моніторингу та ранжування спортсменів

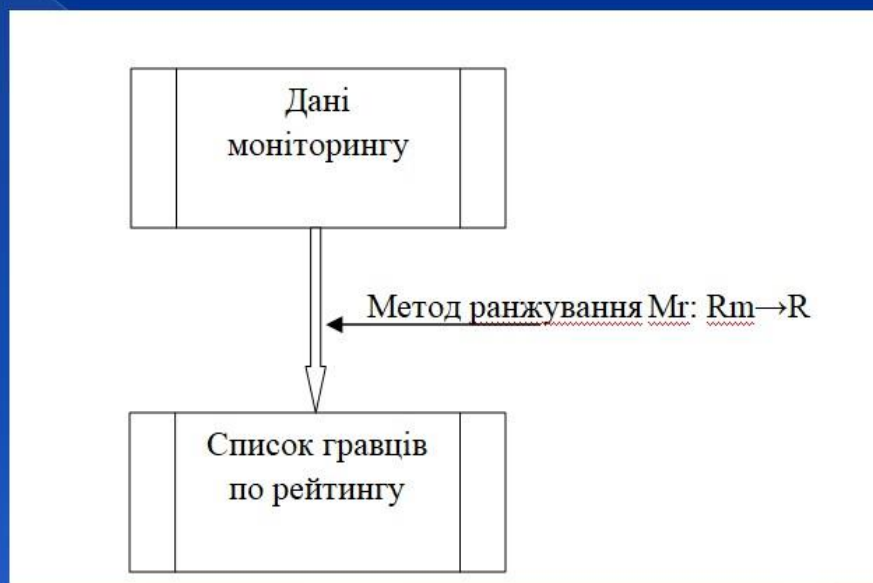


Для змінної R_m – результати моніторингу та R – рейтинг за відповідними параметрами існує метод ранжування M_r , що наближує R на всій множині об'єктів R_m .

Процес ранжування спортсменів має на меті визначити їхній рівень вмінь, навичок та досягнень у відповідній галузі спорту. Цей процес є важливим для багатьох цілей, включаючи відбір до команд, розподіл спортсменів на рівні групи для тренувань та змагань, а також визначення потенційних учасників змагань.

Ранжування спортсменів може базуватися на різних критеріях, таких як технічні навички, фізична підготовленість, вікові категорії, рівень досвіду тощо. Важливо, щоб цей процес був об'єктивним, справедливим та спрямованим на підтримку розвитку кожного спортсмена у відповідності з його потенціалом.

Концептуальна модель процесу ранжування кіберфізичної системи моніторингу та ранжування спортсменів



Для змінної R_m – результати моніторингу та R – рейтинг за відповідними параметрами існує метод ранжування M_r , що наближує R на всій множині об'єктів R_m .

Правила та метод моніторингу спортсменів

○ Перед тим як формувати правила моніторингу спортсменів кіберфізичною системою необхідно почати з визначення показників моніторингу та/або конкретних цілей для кожного спортсмена. Ці цілі можуть бути пов'язані з фізичними показниками (наприклад, швидкість, сила, витривалість), медичними показниками (показники серцевого ритму, частота серцевих скорочень, температура тіла, тощо), психо-емоційними факторами (втома, стрес, хвилювання, тощо), технічними навичками (наприклад, точність, реакція, координація) або загальними аспектами гри (наприклад, ефективність в атаку та захист).

○ Отже, мають бути задіяні відповідні лічильники: фізичні показники – f , медичні показники – m , психо-емоційні фактори – p , технічні навички – t , загальні аспекти гри – g .

- ЯКЩО серцевий ритм спортсмена під час тренувань перевищує заданий поріг, ТО відправити сповіщення тренеру про можливе перевантаження або погіршення стану здоров'я, $f = f+1$.
- ЯКЩО результати тестування показують погіршення в певних параметрах (наприклад, вертикальний стрибок або час реакції), ТО автоматично змінити тренувальну програму для фокусування на покращенні цих аспектів, $t = t+1$.
- ЯКЩО спортсмен досягає певного показника (наприклад, певна кількість кроків або кількість тренувань) за певний період часу, ТО відправити йому позитивне сповіщення або нагороду для стимулювання продовження успішної роботи, $g = g+1$.
- ЯКЩО час відновлення спортсмена після тренування або змагань значно збільшується порівняно зі звичайними показниками, ТО сповістити тренера та рекомендувати зменшити навантаження або вжити інші заходи для прискорення відновлення, $m = m+1$.
- ЯКЩО спортсмен досягає певної мети (наприклад, покращення швидкості чи сили), ТО автоматично позначити це в його особистому профілі та вислати сповіщення про досягнення цієї мети, $f = f+1$.

Метод моніторингу спортсменів в кіберфізичній системі моніторингу та ранжування спортсменів

● Метод складається з наступних кроків:

- 1). Вибір параметрів моніторингу (фізичні показники – f , медичні показники – m , психо-емоційні фактори – p , технічні навички – t , загальні аспекти гри – g).
- 2). Обнулення відповідних лічильників ($f = 0$; $m = 0$; $p = 0$; $t = 0$; $g = 0$).
- 3). Обчислення значень відповідних лічильників.
- 4). Аналіз отриманих значень лічильників.
- 5). Формування рекомендацій на основі отриманих значень.

В загальному формування рейтингу певного гравця представимо формулою

$$R = (M_1 * W_1) + (M_2 * W_2) + \dots (M_n * W_n), \quad (1)$$

де $M_1 \dots M_n$ – попередньо задані метрики;
 $W_1 \dots W_n$ – відповідні вагові коефіцієнти.

Приклад розрахунку загального рейтингу кожного гравця (наприклад, в баскетбол), використовуючи їхні оцінки за кожною метрикою та відповідні ваги:

$$R = (Sh * 0.1) + (C * 0.1) + (Vt * 0.15) + (TP * 0.2) + (Rc * 0.1) + (Kr * 0.15) + (Efa * 0.1) + (Efz * 0.1),$$

де Sh – числове значення швидкості бігу по шкалі від 1 до 10;

C – числове значення сили по шкалі від 1 до 10;

Vt – числове значення витривалості по шкалі від 1 до 10;

TP – числове значення точності пасів по шкалі від 1 до 10;

Rc – числове значення реакції по шкалі від 1 до 10;

Kr – числове значення координації по шкалі від 1 до 10;

Efa – числове значення ефективності гри в атаці по шкалі від 1 до 10;

Efz – числове значення ефективності гри в захисті по шкалі від 1 до 10.

Правила та метод ранжування спортсменів

- Формула 1 є базовою для визначення рейтингу спортсмена на початку, наприклад тренувального або змагального періодів.
- Далі зі значенням цього рейтингу спортсмен входить в процес і далі його рейтинг може як зростати, так і зменшуватись. Далі в підсистемі ранжування можуть використовуватися правила виду «ЯКЩО ТО» для автоматизації прийняття рішень на основі отриманих даних та критеріїв успішності.
- Використаний лічильник так званого періодичного рейтингу, який на початку має значення $r = 0$. Слід зазначити, що значення лічильнику періодичного рейтингу може як збільшуватись, так і зменшуватись.

Активация Wind

- ЯКЩО середній показник швидкості спортсмена за останні три тренування збільшувався протягом тижня, ТО $r = r + 1$.
- ЯКЩО спортсмен досяг певного показника у важливому змаганні (наприклад, забив певну кількість голів у футбольному матчі) ТО $r = r + 1$.
- ЯКЩО спортсмен не виконував план тренувань протягом певного часу (наприклад, пропустив тренування два рази поспіль), ТО $r = r - 1$.
- ЯКЩО спортсмен досяг певного рівня результативності у тренувальних завданнях, які спеціально підібрані для покращення певного аспекту гри, ТО $r = r + 1$.
- ЯКЩО спортсмен покращував свій рівень у двох або більше аспектах гри протягом останнього місяця, ТО $r = r + 1$.
- ЯКЩО забиваючий нападник витримав декілька матчів без голу, ТО $r = r - 1$.

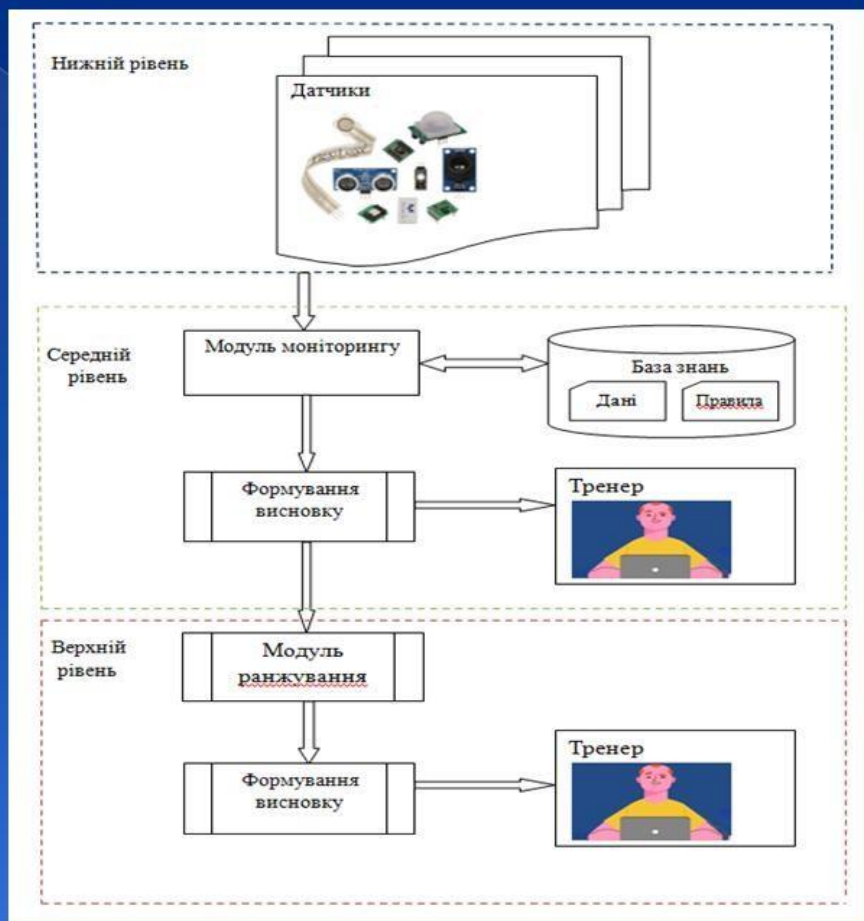
Активация Wind

Метод ранжування спортсменів в кіберфізичній системі моніторингу та ранжування спортсменів

● Метод складається з наступних кроків:

1. Формування попереднього рейтингу гравців R за формулою 3.1.
2. Обнулення лічильника періодичного рейтингу $p = 0$.
3. Обчислення значення лічильника p .
4. Формування загального рейтингу спортсмена за формулою $ZR = R + p$, додаючи числові значення рейтингів.
5. Аналіз отриманого значення.
6. Формування рекомендацій на основі отриманих значень.

Структура кіберфізичної системи моніторингу та ранжування спортсменів



Висновки

1) У першому розділі було проведено огляд існуючих підходів до застосування кіберфізичних систем в спортивній індустрії, огляд наукових підходів, використовуюваного обладнання (датчиків, платформ, систем), а також сформовано постановку задачі.

2) У другому розділі на основі проведеного аналізу літературних джерел був проведений огляд методів моніторингу та ранжування. Було проведено дослідження внутрішніх та зовнішніх параметрів, які може моніторити кіберфізична система. Проведено моделювання процесу моніторингу та процесу ранжування спортсменів в кіберфізичній системі. Представлені концептуальні моделі процесу моніторингу та процесу ранжування кіберфізичної системи моніторингу та ранжування спортсменів.

3) У третьому розділі були досліджені та обрані метрики за якими буде проводитись моніторинг спортсменів. Також розроблені та представлені правила моніторингу та сповіщення тренера. Правила налаштовані з урахуванням конкретних потреб і вимог тренувального процесу та специфіки підготовки спортсменів. Вони допомагають автоматизувати моніторинг та реагування на виявлені тенденції чи проблеми, що дозволяє оптимізувати тренувальний процес і підтримувати спортсменів на найвищому рівні в довгостроковій перспективі.

Вперше запропоновано метод моніторингу спортсменів, який дозволяє вибрати параметри за якими буде здійснюватись моніторинг спортсменів та на основі розроблених правил сформулювати дані для аналізу та передачі до підсистеми ранжування. Також вперше запропоновано метод ранжування спортсменів, який на основі визначених метрик, числової шкали та вагових коефіцієнтів, використовуючи розроблені правила періодичного рейтингу, дозволяє сформулювати рейтинг гравців в кіберфізичній системі моніторингу та ранжування спортсменів.

4) У четвертому розділі запропонована кіберфізична система моніторингу та ранжування спортсменів, яка відрізняється від відомих наявністю одночасно двох модулів моніторингу та ранжування.



Ім'я користувача:
Кафедра КІ

Дата перевірки:
13.05.2024 17:14:07 EEST

Дата звіту:
13.05.2024 18:45:58 EEST

ID перевірки:
1016247545

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

ID користувача:
100005591

Назва документа: Гнатчук_Кіберфізична система моніторингу та ранжування спортсменів

Кількість сторінок: 106 Кількість слів: 23917 Кількість символів: 186372 Розмір файлу: 682.96 KB ID файлу: 1016032720

2.44% Схожість

Найбільша схожість: 0.91% з Інтернет-джерелом (<https://sesnz.org.nz/wp-content/uploads/2021/03/McGuigan-et-al.-2021>).

2.11% Джерела з Інтернету 263 Сторінка 108

0.96% Джерела з Бібліотеки 50 Сторінка 111

0.78% Цитат

Цитати 1 Сторінка 112

Посилання 1 Сторінка 112

0% Вилучень

Немає вилучених джерел

Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи 7

Mon May 13 13:26:53 EEST 2024, Медзятий Дмитро Миколайович, Хмельницький національний університет, ХНУ

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальне співпадіння з одним документом 0.0%

Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA. Помилки в документах: 8%

ID: 126089 Назва: МКР Кіберфізична система моніторингу та ранжування спортсменів Додано в БД: 2024-05-13 Автора: Гнатчук А.Я. Керівники: Яцків В.В. Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	165925	1092	1687 (1%)	20 (2%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ

Дипломник: Гнатчук Аліна Ярославівна

Тема: Кіберфізична система моніторингу та ранжування спортсменів

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг дипломної роботи:

Кількість листів креслень —; кількість сторінок записки 94

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: у роботі запропонована кіберфізична система моніторингу та ранжування спортсменів, яка забезпечує своєчасне надходження інформації тренеру про стан спортсмена, що дає можливість вчасно скорегувати навантаження та запобігти травмам. У роботі запропоновано метод моніторингу спортсменів, який дозволяє вибрати параметри за якими буде здійснюватись моніторинг спортсменів та на основі розроблених правил сформувати дані для аналізу та передачі до підсистеми ранжування. Також запропоновано метод ранжування спортсменів, який на основі визначених метрик, числової шкали та вагових коефіцієнтів, використовуючи розроблені правила періодичного рейтингу, дозволяє сформувати рейтинг гравців в кіберфізичній системі моніторингу та ранжування спортсменів.

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню Дипломна робота відповідає виданому завданню

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі було проведено огляд існуючих підходів до застосування кіберфізичних систем в спортивній індустрії, огляд наукових підходів, використовуюваного обладнання (датчиків, платформ, систем), а також сформовано постановку задачі. У другому розділі на основі проведеного аналізу літературних джерел був проведений огляд методів моніторингу та ранжування. Було проведено дослідження внутрішніх та зовнішніх параметрів, які може моніторити кіберфізична система. Проведено моделювання процесу моніторингу та процесу ранжування спортсменів в кіберфізичній системі. Представлені концептуальні моделі процесу моніторингу та процесу ранжування кіберфізичної системи моніторингу та ранжування спортсменів. У третьому розділі були досліджені та обрані метрики за якими буде проводитись моніторинг спортсменів. Також розроблені та представлені правила моніторингу та сповіщення тренеру. Правила налаштовані з урахуванням конкретних потреб і вимог тренувального процесу та специфіки підготовки спортсменів. Вони допомагають автоматизувати моніторинг та реагування на виявлені тенденції чи проблеми, що дозволяє оптимізувати тренувальний процес і підтримувати спортсменів на найвищому рівні в

довгостроковій перспективі. Ці правила допомагають системі моніторингу ефективно виявляти потенційні проблеми та надавати рекомендації для підтримки здоров'я та оптимальної фізичної підготовки спортсменів. Запропоновано формулу, яка є базовою для визначення рейтингу спортсмена на початку, наприклад тренувального або змагального періодів. Далі зі значенням цього рейтингу спортсмен входить в процес і далі його рейтинг може як зростати, так і зменшуватись. Далі в підсистемі ранжування можуть використовуватися правила виду «ЯКЩО ТО» для автоматизації прийняття рішень на основі отриманих даних та критеріїв успішності. Запропоновано метод моніторингу спортсменів, який дозволяє вибрати параметри за якими буде здійснюватись моніторинг спортсменів та на основі розроблених правил сформувані дані для аналізу та передачі до підсистеми ранжування. Також запропоновано метод ранжування спортсменів, який на основі визначених метрик, числової шкали та вагових коефіцієнтів, використовуючи розроблені правила періодичного рейтингу, дозволяє сформувати рейтинг гравців в кіберфізичній системі моніторингу та ранжування спортсменів. У четвертому розділі запропонована кіберфізична система моніторингу та ранжування спортсменів, яка відрізняється від відомих наявністю одночасно двох модулів моніторингу та ранжування.

4. Позитивні сторони роботи: Запропонована кіберфізична система моніторингу та ранжування спортсменів дає можливість отримувати тренерам, спортивним менеджерам, спортивним лікарям та іншим фахівцям своєчасну інформацію про фізичний, психологічний стани спортсмена, технічний та тактичний рівні підготовки, що дає можливість покращити спортивні результати як окремого спортсмена, так і команди в цілому, а також запобігти травмам в процесі тренувань.

5. Негативні сторони роботи: _____

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: _____

7. Відгук про роботу в цілому: В загальному робота виконана на високому науково-технічному рівні

8. Інші зауваження: _____

9. Оцінка дипломної роботи:

Розглянувши представлену дипломну роботу вважаю, що робота заслуговує оцінки «відмінно» 5.00 (А)

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи)

Будячок Леонід Петрович, в.ф.з.м.а.ч. наук, професор, зав. кафедрою Інженерні програмно-забезпечення ХНУ.

« 10 » 05 2024р.



Завідувачу кафедри КПС
д-р.техн.наук, проф. Говорущенко Т. О.

Гнатчук Аліни Ярославівни

ІІІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 2 курсу, групи КІ2М-22-1

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений(а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

10 травня 2024 року

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ
КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Кіберфізична система моніторингу та ранжування спортсменів

Автор: Гнатчук Аліна Ярославівна

Спеціальність: 123 – Комп'ютерна інженерія

Освітня програма: освітньо-наукова

Науковий керівник: Яцків В.В., д.т.н, професор

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи.	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

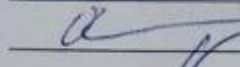
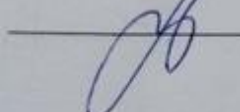
- 1) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
- 2) окремі виявлені збіги є загальноживаними фразами або виразами, про що свідчить посилання системи на збіг з джерелами на один фрагмент речення;

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ідентичності/схожості Unicheck, складає 2.44% і адресується до 263 першоджерела; та системою Anti-Plagiarism складає 0%.

Керівник роботи

Гарант ОП

Завідувач кафедри КІС

В. В. Яцків

О. С. Савенко

Т. О. Говорушенко