

Г.А. БІЛОУС, Т.К. СКРИПНИК, Н.К. МЕДВЕДЧУК

Хмельницький національний університет

РОЗБИТТЯ 3D-ОБ'ЄКТІВ НА ТЕТРАЕДРИ ІЗ ЗАДАНИМ СТУПЕНЕМ ДИСКРЕТНОСТІ

В роботі визначається проблема із методами триангулювання 3D-об'єктів та пропонується інформаційна технологія розбиття із заданим ступенем дискретності контурного 3D-об'єкта на тетраедри, особливістю якої є робота з STL-файлами тривимірних об'єктів як вхідних та вихідних даних, що ґрунтується на алгоритмі масштабування заданої неструктурованої розрахункової трикутної сітки.

Ключові слова: триангуляція, STL-формат, тетраедри, 3D-об'єкт, метод скінченних елементів, дискретність контурної моделі.

H.A. BILOUS, T.K. SKRYPNYK, N.K. MEDVEDCHUK

Khmelnytskyi National University

FRAGMENTATION OF 3D-OBJECTS ON TETRAHEDRONS WITH TARGETED DEGREE OF DISCRETENESS

Abstract - Three-dimensional geometry in leading 3D CAD systems is described by surfaces of the high order, and when being triangulated the surface of the model is divided into small triangles – facets. Currently, large number of research and commercial software packages are developed on the basis of one or another iterative method that implement the building of grids in automatic mode. However, only some software makes it based on STL-files, and even more rarely similar software packages support two types of STL-files. That's why the work is aimed to develop the information technology of the distribution with a given degree of discreteness of the contour 3D model STL into the tetrahedron. To confirm the effectiveness of information technology, an experimental software product was created that is used to generate a tetrahedron's grid based on data from STL-files. Within the framework of the proposed information technology, an algorithm for scaling a given unstructured calculated triangular grid has been developed.

Keywords: triangulation, STL-format, tetrahedron, 3D-object, finite element method, discreteness of contour model

Вступ

Для вирішення широкого кола задач моделювання, візуалізації та проектування виробів у сфері механічної інженерії часто застосовується метод скінченних елементів. Метод скінченних елементів є інженерним аналізом, що полягає в апроксимації суцільного середовища з нескінченно великими числами ступенів свободи сукупністю елементів, що мають скінченне число ступенів свободи, й між цими елементами встановлюється взаємозв'язок [1].

При використанні методу кінцевих елементів у інформаційних технологіях є проблема роботи із файлами STL-формату. STL (StereoLithography) є «мозаїчним» форматом, в якому для представлення форми цифрової 3D-моделі використовується послідовність трикутників (фасетів). STL-формат використовується в сфері прототипування, а саме в стереолітографії, у ньому міститься інформація, що застосовується в розробці різних об'ємних деталей, які можна навіть роздрукувати на 3D-принтері

Тривимірна геометрія в провідних 3D CAD-системах описується поверхнями високого порядку, а при триангуляції поверхня моделі розбивається на маленькі трикутники – фасети. Кожен фасет описується чотирма наборами даних: координати X, Y, Z кожної з трьох вершин і нормальний вектор, який описує орієнтацію фасета, вказуючи назовні моделі [2].

Триангуляцією тривимірного об'єкта є його розбиття на тетраедри, що розташовуються один біля одного. Існує два класи методів тривимірної триангуляції: прямі та ітераційні. Ітераційні мають достатню універсальність і тому, на відміну від прямих, можуть бути використані для триангуляції об'єктів довільного вигляду, проте вони характеризуються споживанням ресурсів і більш трудомісткою реалізацією методу в конкретному алгоритмі.

Сітки, побудовані ітераційними методами, як правило, неструктуровані й неоднорідні. Неструктурованість обумовлена тим, що топологія сітки формується в процесі побудови, і тому може варіюватися навіть в межах однієї підобласті. З цієї ж причини однорідність може виникнути тільки випадково. Оскільки перед побудовою сітки нічого не можна сказати про її майбутню структуру, не можна гарантувати і її якості. Часто побудовану сітку можна істотно поліпшити за допомогою одного з численних методів оптимізації. Цією можливістю зазвичай не нехтують, благо що час, що витрачається на оптимізацію, як правило, істотно менше часу, що витрачається на побудову [3].

В даний час розроблено велику кількість дослідницьких та комерційних програмних пакетів на основі того чи іншого ітераційного методу, що реалізують побудову сіток (частково або повністю) в автоматичному режимі [4]. Більшість з них ґрунтуються на використанні критерію Делоне. Тобто, трикутна сітка на площині відповідає критерію Делоне, якщо всередину кола, описаного навколо будь-якого трикутника, не потрапляють ніякі інші вузли цієї сітки. Проте лише деяке програмне забезпечення, що реалізує 3D-триангуляцію, робить це на основі файлів STL-формату. Ще рідше подібні програмні пакети підтримують два типи STL-файлів, дані у яких можуть зберігатися як в текстовому ASCII-форматі, так і в двійковому вигляді (бінарний формат), що забезпечує більшу швидкодію.

Тому **метою роботи** є розробка інформаційної технології розбиття із заданим ступенем

дискретності контурної 3D-моделі STL на тетраедри.

Основна частина

Загальну схему інформаційної технології для створення сітки тетраедрів із даних файлу STL-формату представлено на рисунку 1.

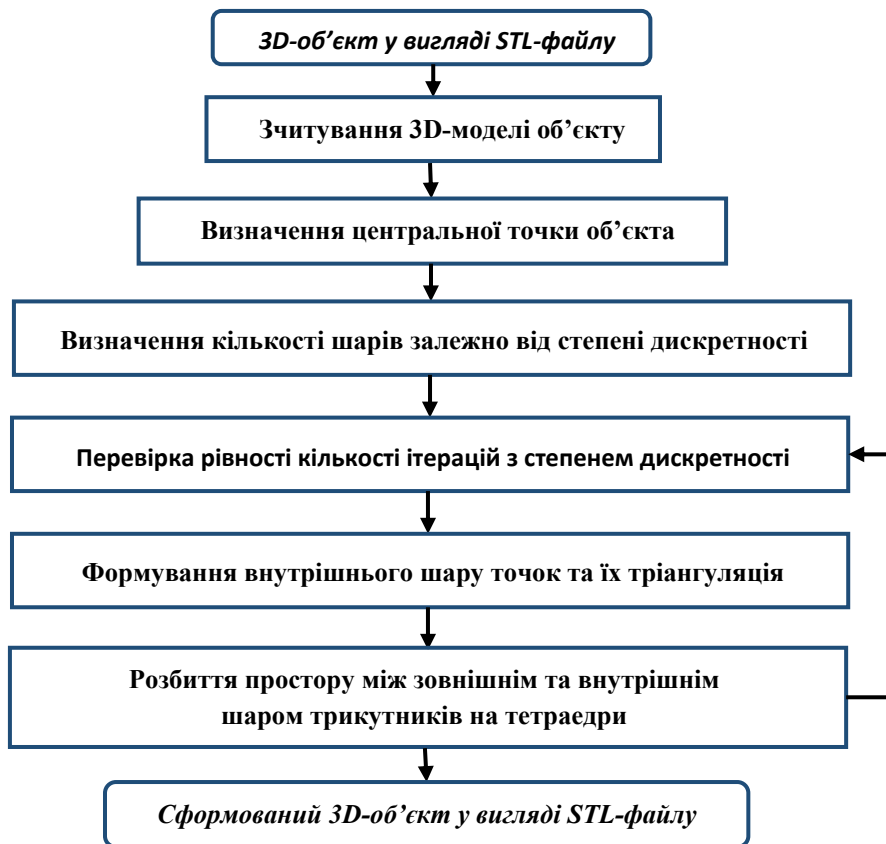


Рис. 1. Схема інформаційної технології розбиття контурної 3D-моделі STL на тетраедри

В рамках запропонованої інформаційної технології, спочатку вводяться вхідні дані через командний рядок: ім'я вхідного файлу в STL-форматі, тип STL-файлу, ім'я вихідного STL-файлу, що містить сітку тетраедрів, та параметри розбиття (ступінь дискретності). Далі зчитується 3D-об'єкт, який розбивається на тетраедри із заданим ступенем дискретності. Це відбувається за алгоритмом масштабування заданої неструктурованої розрахункової трикутної сітки. Для цього спочатку знаходяться координати точки центру фігури, в яку буде переноситися центр системи координат. Формується внутрішній шар точок, який тріангулюється і таким чином будується внутрішній тріангульований шар. Простір між зовнішнім і внутрішнім шаром розбивається на тетраедри. В результаті поєднання зовнішнього й внутрішнього шарів трикутників формуються трикутні призми, які розбиваються на тетраедри. На останній ітерації крайній внутрішній шар з'єднується з центром фігури, створюючи таким чином шар із тетраедрів.

Вихідний файлу зберігається в ASCII-форматі з заданим ім'ям файлу. STL-файли з вхідними даними і результатами створення сітки тетраедрів можна переглядати за допомогою 3D-редакторів з підтримкою STL «MeshLab» або «3D Viewer for Google Chrome».

Для підтвердження ефективності інформаційної технології було створено експериментальний програмний продукт, який застосовується для генерування сітки тетраедрів за даними файлів STL-формату. Даний програмний продукт базується на запропонованій інформаційній технології та алгоритму масштабування заданої неструктурованої розрахункової трикутної сітки, яка зчитується з вхідного STL-файлу. Запропонований алгоритм дозволяє розбити 3D-об'єкт, заданий замкнутим набором трикутних граней на тетраедри (кінцева сітка).

Розроблений додаток складається з наступних модулів (рисунк 2):

1. Модуль інтерфейсу користувача. Даний модуль реалізується у класі Program.
2. Модуль інтерфейсів додатку. Модуль містить у собі інтерфейси класів модуля роботи з STL-файлами та класу модуля розрахунків:
 - IstlReader – інтерфейс, який визначає загальні властивості методів читання STL-файлів в залежності від типу файлу (бінарний або ASCII);
 - IstlWriter – інтерфейс, що визначає клас запису в файл STL-формату (ASCII-тип);
 - ItetrahedralMeshes – інтерфейс, який визначає алгоритм масштабування заданої неструктурованої розрахункової трикутної сітки і розбивки фігури на тетраедри.

3. Модуль структур. Даний модуль відображено у наступних структурах даних:
- `StlVector` – описує точку з координатами X, Y, Z;
 - `StlTriangle` – описує структуру трикутника, що складається з трьох вершин і вектора нормалі.
4. Модуль роботи з STL-файлами. Реалізує читання даних із двох типів файлів даного формату та запис вихідних даних:
- `StlReader` – клас реалізує інтерфейс `IstlReader`. Містить два методи читання файлів STL-формату і метод визначення імені користувача;
 - `StlWriter` – клас реалізує інтерфейс `IstlWriter`. Містить метод запису файлів STL-формату.
5. Модуль розрахунків. Представлений класом `TetrahedralMeshes`, який реалізує інтерфейс `ItetrahedralMeshes`. Клас містить методи реалізації алгоритму масштабування заданої фігури у вигляді сітки трикутників і розбивки фігури на тетраедри.

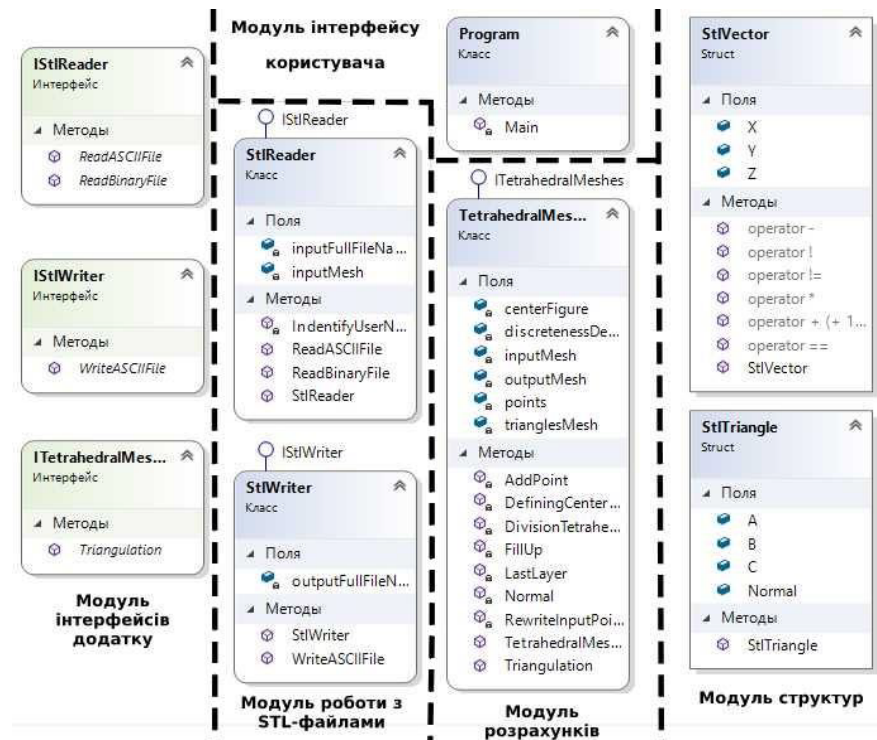


Рис. 2. Діаграма класів додатку

Інтерфейсом користувача для роботи з додатком є консоль. Для запуску побудови сітки необхідно ввести такі параметри як: STL-файл для читування поверхні, тип STL-файлу (бінарний або ASCII), назва файлу для запису створеної сітки, ступінь дискретності.

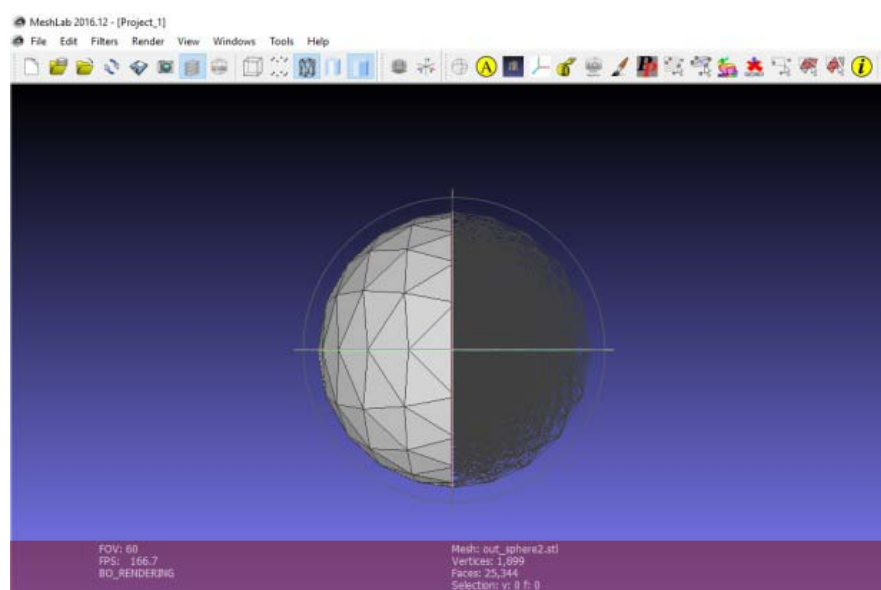


Рис. 3. Результат роботи додатку з генерування сітки тетраедрів

Результатом виконання програми є STL-файл, який містить у собі сітку трикутників, що формують

тетраедри (рисунок 3).

Висновки

Аналіз використання методу кінцевих елементів у інформаційних технологіях визначив, що існує проблема роботи із файлами STL-формату, що містять у собі моделі 3D-об'єктів. Тому запропоновано інформаційну технологію розбиття із заданим ступенем дискретності контурного 3D-об'єкта на тетраедри, особливістю якої є саме робота з STL-файлами тривимірних об'єктів як вхідних та вихідних даних. В рамках запропонованої інформаційної технології, було розроблено алгоритм масштабування заданої неструктурованої розрахункової трикутної сітки.

Розглянуто роботу програмного продукту на основі даної інформаційної технології, його алгоритмічну складову та структуру. Встановлено, що даний програмний продукт дійсно дозволяє формувати сітку тетраедрів для трьохвимірних геометричних тіл обертання, що підтверджує ефективність та функціональність запропонованої інформаційної технології. Подальші дослідження спрямовані на покращення алгоритму задля тріангулювання складних 3D-об'єктів, що містять у собі заглибини та випуклості різної складності: тора, моделей автомобілів, будівель, тощо.

Література

1. Зенкевич О. К. Метод скінченних елементів у техніці / О. К. Зенкевич // Науковий журнал «Світ», Москва, 1975, №6. – С.541.
2. Що таке формат файлу STL. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://3dnetprint.com/blog/stl-file-what-is-it>
3. Development and Implementation of Algorithms for Constrained Volume Triangulations: Iterative Algorithms [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://keldysh.ru/papers/2006/prep09/prep2006_09.html
4. A Quality Tetrahedral Mesh Generator and a 3D Delaunay Triangulator [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://wias-berlin.de/software/tetgen/>

References

1. Zenkevych O. K. Finite Element Method in Engineering / O. K. Zenkevych // Naukovyy zhurnal „World”, 1975, №6. – P.541.
2. What is the format of the STL file: <https://3dnetprint.com/blog/stl-file-what-is-it>
3. Development and Implementation of Algorithms for Constrained Volume Triangulations: Iterative Algorithms: http://keldysh.ru/papers/2006/prep09/prep2006_09.html
4. A Quality Tetrahedral Mesh Generator and a 3D Delaunay Triangulator: <http://wias-berlin.de/software/tetgen/>

Рецензія/Peer review : 16.5.2019 р.

Надрукована/Printed : 2.6.2019 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Сорокати́й Р.В.