

АНАЛІТИЧНИЙ ОПИС БУДІВЕЛЬ ЗА РАСТРОВИМИ ЗОБРАЖЕННЯМИ ВИСОТ

© Мороз І.В., 2013

Розглянуто метод аналітичного опису будівель за растровими даними висот, що отримані за допомогою лазерного далекоміра, встановленого на літаючій платформі. Деталізовано та проаналізовано етапи запропонованого методу та приведено результати експериментальних досліджень.

Ключові слова: цифрове опрацювання зображень, тривимірні моделі.

The method of analytical description of building from raster altimeter data were obtained using a laser range finder mounted on the flying platform are discussed. Stages of the proposed method are detailed and analyzed and experimental results are given.

Key words: digital image processing, three-dimensional models.

Вступ

Із збільшенням обчислювальних потужностей комп'ютерів, пропускної здатності локальних і глобальних інформаційних мереж тривимірні моделі є все затребуванішими. Динамічне відображення сцени комп'ютерної гри, реконструкція архітектури міст на інтернет-сайтах і в системах навігації, системи відтворення геометрії деталей машин за даними комп'ютерної томографії для неруйнівного контролю – усе це вимагає засобів побудови тривимірних моделей об'єктів. Для створення моделей використовують спеціальні системи автоматизованого тривимірного проектування, але у деяких випадках необхідно отримати аналітичний опис тих об'єктів, що уже існують. Зокрема, це стосується відтворення тривимірних моделей будівель в містах та на віддалених територіях. Отримані моделі дають змогу розв'язати низку задач, серед яких: планування міської архітектури та контроль забудови населених пунктів, дослідження мікроклімату, розміщення джерел телекомунікації тощо.

Застосування технологій лазерного сканування земної поверхні вимагає розроблення відповідних методів і комп'ютерних засобів тематичного опрацювання для видобування з растрових зображень карт висот корисної для певних галузей застосування інформації. Незважаючи на значний прогрес у розвитку універсальної обчислювальної техніки (підвищення продуктивності, збільшення обсягів оперативної пам'яті тощо), наявні комп'ютерні системи не завжди забезпечують розв'язок поставлених задач за заданий час. Також доволі часто виникає потреба в опрацюванні висотних даних у реальному масштабі часу. Тому створення ефективних методів, швидких алгоритмів і комп'ютерних засобів для опрацювання растрових зображень тривимірних об'єктів є актуальним.

Огляд літературних джерел

Задачі побудови моделей аналітичного опису тривимірних об'єктів на растрових зображеннях [1–3] знаходять широке застосування у багатьох галузях, зокрема у таких, як: планування населених пунктів, міська архітектура, дослідження мікроклімату, розміщення джерел телекомунікації тощо. Розв'язання цих задач можна розкласти на кілька послідовних кроків [4]. Початковим етапом є детектування країв об'єктів на горизонтальній площині [5–7], ґрунтуючись на заданому растровому зображенні певної сцени. З цієї точки зору задача нижнього рівня називається виділенням країв [7] і складається з: а) вибору диференціального оператора; б) обчислення коректних і стійких похідних; в) відокремлення та замикання окремих контурів.

Постановка завдання

Мета роботи – розробити метод та комп'ютерні засоби аналітичного опису тривимірних об'єктів з растрових зображень, приділивши особливу увагу впорядкуванню етапів обробки та визначенню змісту і доцільності операцій, що виконуються на кожному з етапів методу.

Концептуальні основи опису тривимірних об'єктів

Основними, функціонально завершеними етапами параметричного опису об'єктів необхідно вважати: виділення країв і маркування контурів об'єктів; формування та параметричний опис контурів об'єктів; формування та розділення множин точок об'єктів, що належать різним поверхням, та їх апроксимацію поверхнями першого та другого порядку; визначення та спряження сусідніх поверхонь об'єктів. Загальну схему розробленого методу параметричного опису об'єктів зображено на рис. 1 [3].

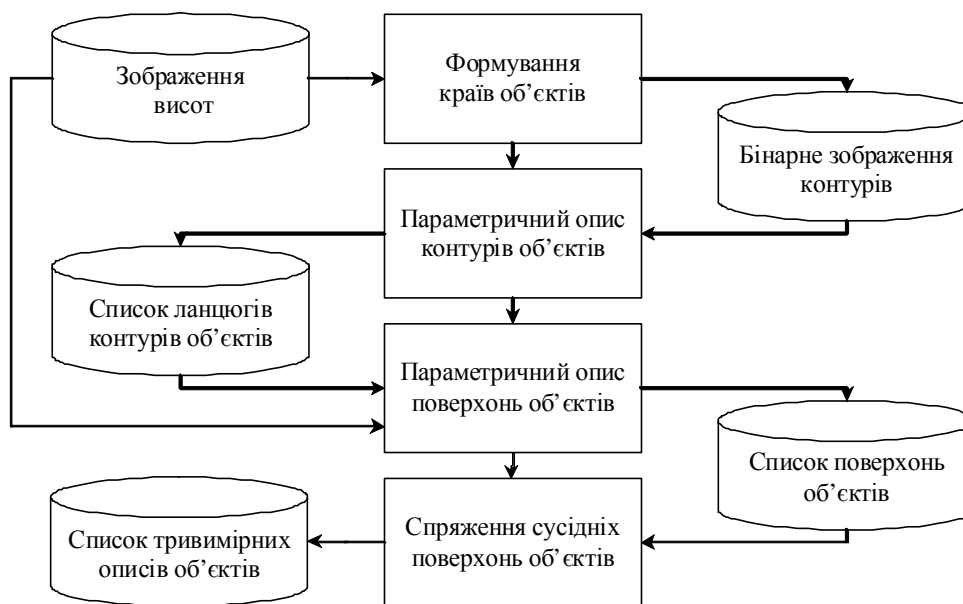


Рис. 1. Загальна схема параметричного опису тривимірних об'єктів за растровими даними висот

Вхідними даними для параметричного опису тривимірних об'єктів є растрові зображення, в яких яскравість кожного пікселю інтерпретується як висота фрагмента якогось об'єкта сцени. У процесі опрацювання зображення необхідно отримати параметричний опис об'єктів сцени поверхнями першого та другого порядку. Запропонований метод опису переважно орієнтований на виділення та опис будівель. Для досягнення цього цільового завдання зорієнтовано кожен з етапів процесу опису.

Формування країв об'єктів

Основна задача першого етапу – сформувати замкнені контури об'єктів. Замкненість контурів необхідна для того, щоб надійно відділити об'єкти один від одного, що дасть змогу опрацювати їх окремо на подальших етапах, і тим самим знизити загальні обчислювальні затрати. У процесі формування контурів (рис. 2) котируються такі завдання: детектування країв об'єктів; розмітка контурів; замикання розривів контурів; знищення хибних відгалужень контуру [8]. Під час детектування країв необхідно забезпечити обчислення коректних і стійких похідних. Зважаючи на присутність у вхідних зображеннях шуму, що може призвести до некоректного виділення краю, у процесі його детектування, необхідно застосовувати згладжування. Атрибутами фільтра, що впливають на продуктивність детектора краю, є його лінійність, тривалість його імпульсної характеристики та інваріантність до повороту. Властивість інваріантності до повороту гарантує, що ефект згладжування не вплине на орієнтацію краю. Тому для регуляризуючого диференціювання доцільно використати функцію Гаусса [5], що якнайповніше відповідає згаданим вимогам.

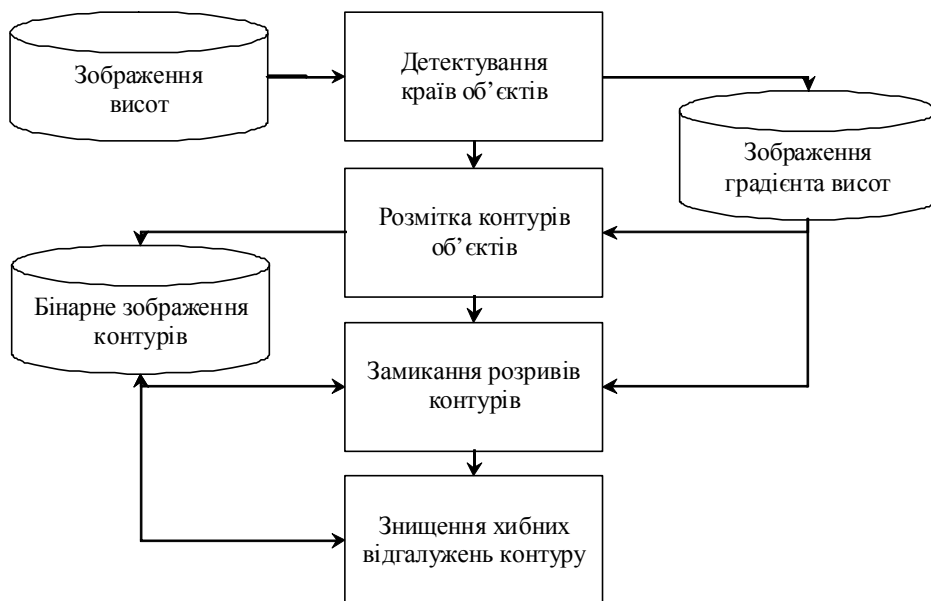


Рис. 2. Схема формування контурів об'єктів

Диференціювання зображення найдоцільніше виконувати оператором градієнта, оскільки він є симетричним та інваріантним до обертання, що уможливорює підвищити ефективність його обчислення.

Розмітка краю полягає у відшукуванні максимуму модуля градієнта. Для цього доцільно використати алгоритм неакумального вилучення, щоб знаходити локальні максимуми за напрямком вектора градієнта. Застосований для виявлення краю метод неакумального вилучення може призводити до появи хибних країв, а також до розривів лінії краю. Це є наслідком не тільки присутності на зображенні шуму, але й залежить від структури об'єктів сцени. Тому необхідно використовувати додаткові заходи для очищення зображення від хибних країв і замикання лінії краю. Для замикання лінії краю використовується властивість градієнта. Відкрита гілка краю подовжується у напрямку, перпендикулярному до напрямку градієнта, доки не замкнеться на край іншого об'єкта, або модуль градієнта не стане меншим від заданого порога [8].

У результаті виконання першого етапу отримуємо бінарне зображення контурів об'єктів сцени. Замкненість контурів дає змогу якісно розділити об'єкти для відокремленого їх опрацювання на подальших етапах.

Параметричний опис контурів об'єктів

Другим етапом розробленого методу опису тривимірних об'єктів є параметричний опис контурів об'єктів з метою їх відокремлення один від одного. Розв'язання цієї задачі (див. рис. 3) передбачає виконання таких дій: зіставлення контурів об'єктів з ланцюжками точок, що належать до їх країв; класифікація та відбраковування об'єктів; аналітичний опис контурів об'єктів відрізками прямих із заданим допуском; покращення аналітичного опису з врахуванням геометрії об'єктів; виявлення паралельності та перпендикулярності їх сторін [8].

Формування ланцюгів контурів об'єктів полягає в об'єднанні усіх точок, що належать до контурної лінії об'єкта, у замкнений ланцюжок та визначення його координатами цих точок. Це дасть змогу відокремити об'єкти один від одного і далі оперувати з об'єктом, як з одним цілим. Розроблений метод параметричного опису тривимірних об'єктів за растровими даними висот орієнтується на відокремлення та опис будівель, виявлених на сцені. На етапі класифікації необхідно розділити об'єкти, що можуть інтерпретуватися як будівлі, від інших об'єктів і вилучити останні з подальшого розгляду. Класифікація ґрунтується як на локальних характеристиках самого об'єкта, так і його сусідів [2]. Тут враховуються взаємні висоти та дисперсії висот об'єктів.

Етап опису контурів об'єктів відрізками прямих введений з метою зменшення кількості параметрів, якими подається лінія контуру та усунення шумової складової з геометрії об'єктів. Для початкового наближення ланцюга точок контуру відрізками прямих використовується метод Лава [9], який характеризується високою продуктивністю та точністю апроксимації.

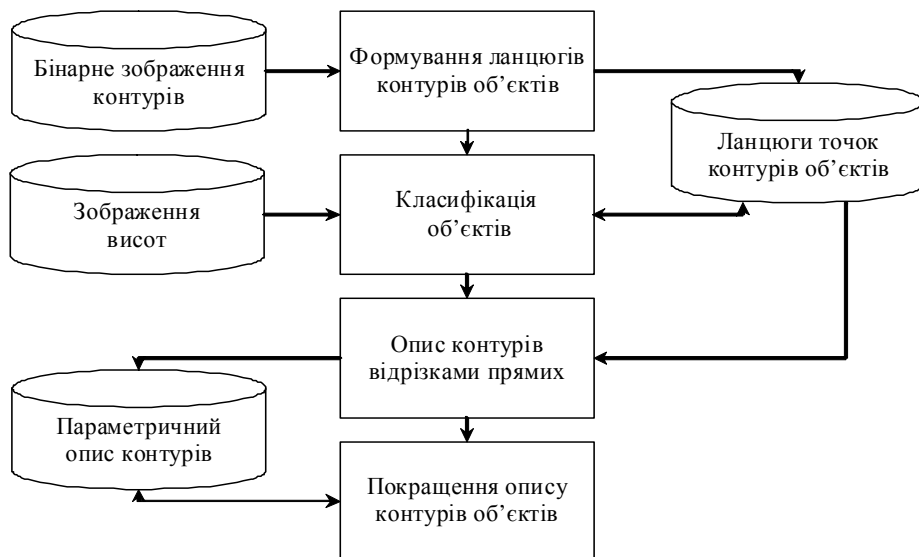


Рис. 3. Параметричний опис контурів об'єктів

Покращення параметричного опису контурів ґрунтується на характеристиках самих об'єктів. Оскільки, основними об'єктами, тривимірна структура яких відновлюється, є будівлі, а для них характерні паралельність і перпендикулярність сторін. Тому цей факт враховується для глобального в межах певного об'єкта уточнення параметрів відрізків прямих, що становлять його контур [8]. Результатом параметричного опису контурів об'єктів є впорядкований список оптимізованих графічних примітивів (відрізків прямих), що задають відокремлені об'єкти у горизонтальній площині.

Опис поверхонь об'єктів

Завершальними етапами відтворення тривимірних об'єктів з растрових даних є аналітичний опис поверхонь, що належать до виявлених об'єктів, за допомогою фрагментів площин і циліндричних поверхонь [10] (рис. 4).

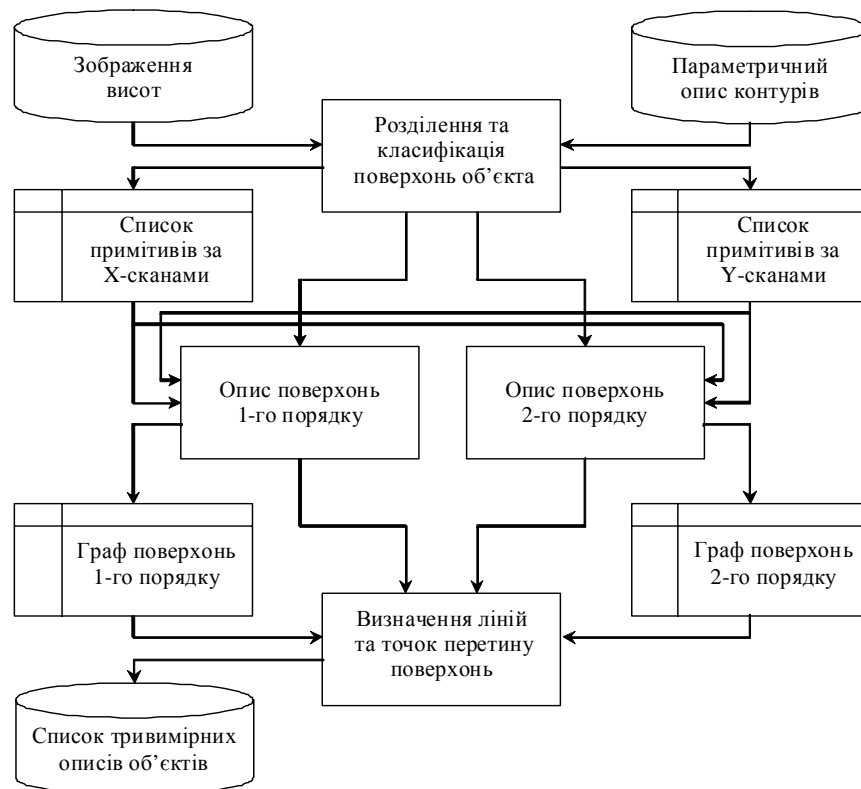


Рис. 4. Схема параметричного опису поверхонь об'єктів

На першому етапі виявляються межі площин об'єкта та формуються множини графічних примітивів, що належать до кожної з виділених площин. Для визначення характеру геометричних примітивів (лінії, точки) об'єктів використовується метод Лава. На другому етапі визначаються параметри поверхонь, що належать до тривимірних об'єктів, відокремлених на попередньому етапі. Для знаходження параметрів геометричних примітивів даху будівлі (площини, дуги еліпсів) використовується метод найменших квадратів. Цей метод дає змогу аналітично описати поверхні, які належать до об'єктів, і знайти лінії їх перетину.

Для розділення та класифікації поверхонь об'єктів, зображення висот, що відповідає горизонтальній проекції об'єкта, сканується у взаємно-перпендикулярних напрямках X та Y (за рядками та стовпцями). Межі сканування визначаються на основі контурів, що були визначені та оптимізовані на попередніх етапах. У кожному зі сканів множини точок поверхонь апроксимуються відрізками прямих. Для кожного з напрямків сканування уточнюються параметри відрізків, що пройшли фільтрування та формуються списки примітивів. Оскільки опис поверхонь 1-го і 2-го порядків істотно різняться, то на основі характеристик суміжних відрізків скану (послідовність і характер зміни кута нахилу, кількість відрізків у скані тощо) приймається рішення про тип поверхні – 1-го чи 2-го порядку [2].

У процесі опису поверхонь 1-го порядку спочатку групуються відрізки, отримані у взаємно перпендикулярних сканах. Групування виконується на основі подібності кутів нахилу відрізків та їх взаємного положення у площинах сканування. Під час прийняття рішення про об'єднання груп відрізків, отриманих у різних сканах, і зарахування їх до однієї поверхні, враховується наявність перетину їх проекцій на горизонтальній площині. На основі згрупованих примітивів зі сканів різних напрямків, за методом найменших квадратів обчислюються параметри площини, до якої вони належать.

Одночасно з визначенням параметрів площин, що належать до об'єкта, формується граф взаємного положення цих площин, де вузли графа відповідають виявленим площинам, а дуги з'єднують сусідні площини. Цей граф використовуватиметься для знаходження ліній та точок перетину поверхонь об'єкта. Результатом тривимірного опису кожного об'єкта, виявленого на сцені, є список площин, що визначають його поверхню. А кожна з площин визначається набором крайових точок, сполучивши які у заданому порядку, отримаємо ламану, яка обмежує задану площину.

Подібно до поверхонь 1-го порядку формується опис поверхонь 2-го порядку, але графічними примітивами виступають уже сегменти еліпсів. Для кожного скану у кожному з напрямків обчислюються параметри еліпсів за методом найменших квадратів. Отримані еліпси групуються на основі подібності їх параметрів, що слугують основою для зарахування їх до однієї поверхні. За параметрами групи примітивів 2-го порядку визначаються осі симетрії поверхні та проводиться повторне сканування точок об'єкта, але вже у напрямку перпендикулярному до основної осі симетрії. Це дає змогу точніше визначити параметри еліптичних перетинів і відтворити саму поверхню. Параметри еліпсів, отриманих за повторного сканування, групуються та усереднюються, уточнюються межі об'єкта та формується граф поверхонь 2-го порядку.

Завершальним етапом формування опису тривимірних об'єктів за растровими даними висот є знаходження ліній перетину поверхонь, що належать одному об'єкту, та визначення точок, за якими площини поверхонь описуватимуться. Схему цього етапу показано на рис. 5 [2]. У сформованих графах поверхонь відшукуються прості цикли. Відповідно до формування графа, саме прості цикли на ньому визначатимуть точки перетину суміжних поверхонь. Для суміжних поверхонь обчислюються та уточнюються точки перетину.

Аналіз результатів опису поверхонь об'єктів

Розроблено програмне забезпечення, що реалізує метод аналітичного опису тривимірних об'єктів на растрових зображеннях висот, яке тестувалося та досліджувалося на реальних зображеннях, отриманих від лазерного далекоміра на літаючій платформі.



Рис. 5. Схема визначення ліній та точок перетину поверхонь

Розглянутими тестовими зображеннями охоплено усі аспекти та проблеми, які можуть виникнути під час тривимірного аналітичного опису будівель за растровими даними висот. Тому можна вважати цей набір тестів повним і таким, що дасть змогу перевірити функціональність розроблених методів та комп'ютерних засобів у повному обсязі.

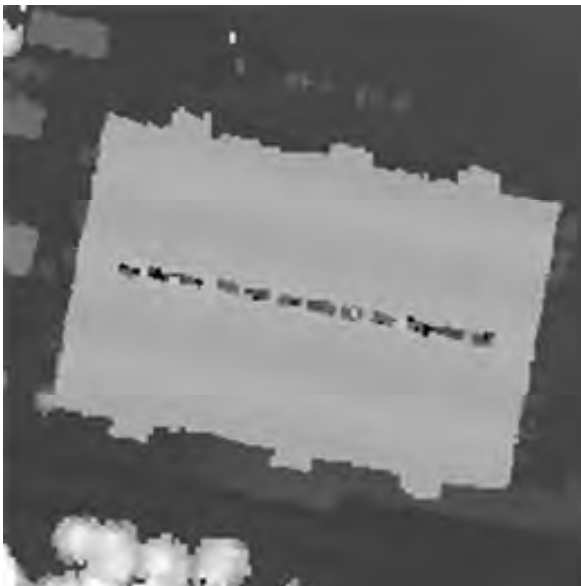
Реалізація програмних засобів виконана мовою програмування Сі. Вибір мови продиктований тим, що її мовні конструкції та засоби організації обчислювального процесу враховують особливості архітектури процесорів. Також важливим є те, що завдяки міжнародній стандартизації, для неї створені ефективні компілятори під різні операційні системи та архітектури процесорів, як універсальні, так і спеціалізовані (ЦОС). Тому створені програмні засоби можуть з незначними затратами на перекомпіляцію переноситись на різні обчислювальні платформи. Варто зазначити, що для підвищення продуктивності обчислень створюються різні апаратні прискорювачі, мовою програмування яких також часто є мова Сі. Отже, вибір мови дає змогу забезпечити реалізованим програмним засобам універсальне застосування.

Мета експериментальних досліджень – перевірити працездатність розроблених методів і комп'ютерних засобів та коректність розв'язання окреслених задач як на окремих етапах, так і методу загалом [2, 8]. Після дослідження використовуються методи візуального контролю результатів виконання окремих етапів і методу загалом та оцінки помилок апроксимації відтворених моделей будівель.

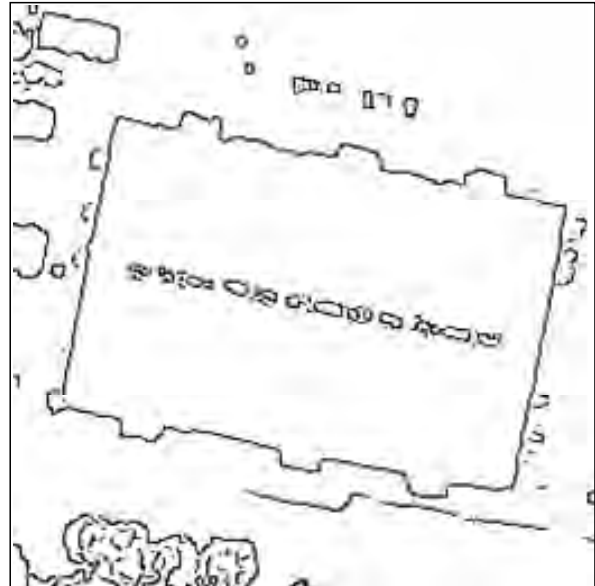
Результати досліджень працездатності розроблених методів і комп'ютерних засобів показані на рис. 6. Для ілюстрації результатів вибрано зображення відокремленої будівлі зі складними контурами та поверхнею, що складається з кількох площин і зі значним імпульсним шумом (рис. 6, а).

На рис. 6, б зображено лінії країв об'єктів, що виявлені на сцені. Як зрозуміло із зображення, краї деяких об'єктів не є замкненими, а прямолінійні контури складаються зі значної кількості деталей (відрізків). На рис. 6, в показано покращене зображення контурів будівель з врахуванням паралельності

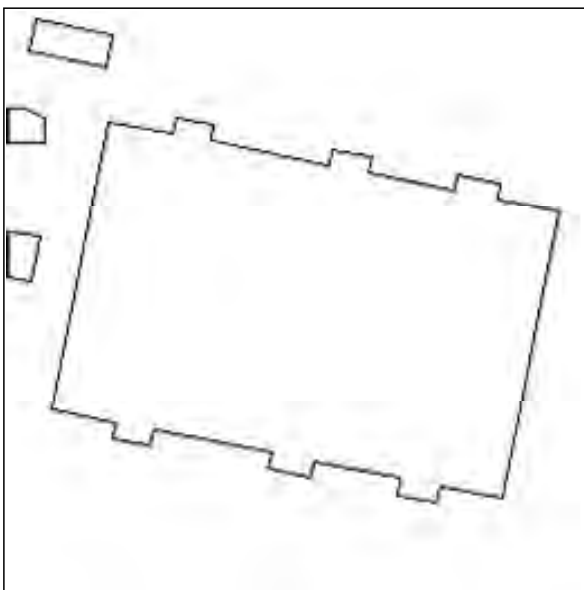
та перпендикулярності їх сторін. Як бачимо, більшість відрізків, з яких склалися контури будівель, замінено генералізованими, з заданою точністю. Це зменшує обсяги даних, необхідних для опису сцени, та спрощує подальшу обробку. На рис. 6, з зображено відтворені тривимірні моделі будівель. На ньому бачимо, що усі істотні деталі будівель відтворені коректно. Отже, можна зробити висновок, що запропонований метод та розроблене програмне забезпечення виконують завдання аналітичного опису тривимірних об'єктів за растровими даними висот.



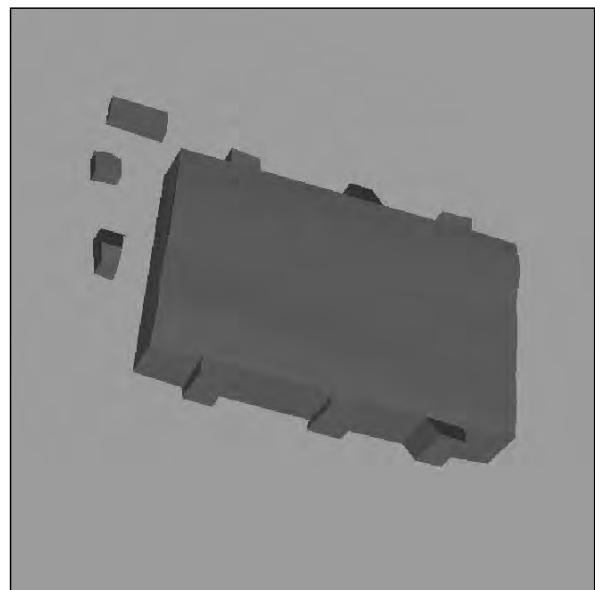
а



б



в



г

Рис. 6. Ілюстрація результатів відтворення тривимірних моделей будівель за растровими даними висот

Висновки

Розроблено метод аналітичного опису тривимірних об'єктів будівель з растрових даних карти висот, який складається з таких етапів: виявлення та уточнення країв об'єктів; аналітичного опису та оптимізації контурів об'єктів; формування та розділення множин точок об'єктів, що належать до різних поверхонь, та їх апроксимація поверхнями 1-го та 2-го порядку; визначення та спряження контурів сусідніх поверхонь. Розроблений метод досліджено на реальних зображеннях, отриманих

від лазерного далекоміра на літаючій платформі. Розглянутими тестовими зображеннями охоплено усі аспекти та проблеми, які можуть виникнути під час тривимірного аналітичного опису будівель за растровими даними висот. Тому можна вважати цей набір тестів повним і таким, що дасть змогу перевірити функціональність розроблених методів та комп'ютерних засобів у повному обсязі. Як показали дослідження, запропонований метод та розроблене програмне забезпечення повністю та коректно виконує завдання тривимірного аналітичного опису будівель за растровими даними висот.

1. Русин Б. П. Системи синтезу, обробки та розпізнавання складноструктурованих зображень / Б. П. Русин. – Львів: Вертикаль, 1997. – 264 с. 2. Stilla U. Automatic reconstruction of roofs from maps and elevation data / U. Stilla and K. Jurkiewicz // *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing; Valladolid, Spain, Pt. 7-4-3 W6. – 3-4 June 1999. – Vol. 32. – P. 139–144.* 3. Melnyk A. Reconstruction of 3-D objects from raster altimeter data / [A. Melnyk, V. Emets, I. Moroz and V. Marchywnka] // *The experience of designing and application of CAD systems in microelectronics : proceedings of the VII International conference. CADSM'2003. – 18–22 February 2003. – P. 280–283.* 4. Demir N. Automated modeling of 3d building roofs using image and LIDAR data / N. Demir and E. Baltasvias // *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Melbourne, Australia. – 25 August – 01 September 2012. – Vol. 14. – P. 35–40.* 5. Canny J. F. Finding Edges and Lines in Images / J. F. Canny // *Technical report no. 720, Massachusetts Institute of Technology. – 1983.* 6. Torre V. On Edge Detection / V. Torre and T. Poggio // *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – Mar 1986. – Vol. 8(2). – P. 147–163.* 7. Бертеро М. Некорректные задачи в предварительной обработке визуальной информации / М. Бертеро и А. Т. Т. А. Поджо // *ТИИЭР. – 1988. – Т. 76, № 8. – С. 17–39.* 8. Ємець В. Алгоритм відокремлення країв на растрових зображеннях тривимірних об'єктів / В. Ємець та І. Мороз // *Вісник Національного університету “Львівська політехніка” “Комп'ютерні системи та мережі”. – 2003. – № 492. – С. 75–80.* 9. Lowe D. G. Three-dimensional object recognition from single two-dimensional images / D. G. Lowe // *Artificial Intelligence. – 1987. – Vol. 31. – P. 366–395.* 10. Fisher R. B. Recognition Of Complex 3-D Objects From Range Data / [R. B. Fisher, A. Fitzgibbon, M. Waite, E. Trucco and M. L. Orr] // *In Proc. CIAP93. – 1993. – P. 509–606.*