

Міністерство освіти і науки України
Національний університет “Львівська політехніка”

Мороз Іван Володимирович



УДК 004.932, 004.04

**МЕТОДИ ТА КОМП'ЮТЕРНІ ЗАСОБИ ОПРАЦЮВАННЯ
РАСТРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ ТРИВИМІРНИХ ОБ'ЄКТІВ**

Спеціальність 05.13.05 – Комп'ютерні системи та компоненти

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів – 2013

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано у Національному університеті “Львівська політехніка” Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Мельник Анатолій Олексійович,
Національний університет “Львівська політехніка”,
завідувач кафедри електронних обчислювальних машин.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Романюк Олександр Никифорович,
Вінницький національний технічний університет,
перший проректор з науково-педагогічної роботи по
організації навчального процесу та його науково-
методичного забезпечення;

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
Варіченко Леонід Вікторович,
Державне науково-дослідне підприємство «КОНЕКС»,
(м. Львів),
директор.

Захист відбудеться ” 22 ” *червня* 2013 року о 10³⁰ год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.08 у Національному університеті “Львівська політехніка” за адресою: 79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 12, ауд. 226 головного корпусу.

Із дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного університету “Львівська політехніка” за адресою: 79013, м. Львів, вул. Професорська, 1.

Автореферат розіслано ” 22 ” *травня* 2013 року.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради, д.т.н., проф.



Луцик Я. Т.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Тривимірне моделювання дедалі глибше проникає в усі сфери людської діяльності. З ростом обчислювальних потужностей комп'ютерів, пропускної здатності локальних і глобальних інформаційних мереж тривимірні моделі є все більш затребуваними. 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 побудови багатьох моделей використовують спеціальні системи автоматизованого тривимірного проектування, але в деяких випадках необхідно отримати аналітичний опис тих об'єктів, що уже існують. Зокрема, це стосується відтворення тривимірних моделей будівель міст та віддалених територій. Отримані моделі дозволяють розв'язати низку задач, серед них: планування міської архітектури та контроль забудови населених пунктів, дослідження мікроклімату, розміщення джерел телекомунікації тощо.

Відтворення тривимірних моделей будівель можна виконувати за авіазнімками, але останнім часом для вирішення цієї задачі широко використовуються активні лазерні висотоміри. Використання даних лазерної висотометрії забезпечує вищу достовірність виявлення та точність опису об'єктів порівняно з оптичними давачами. Активне лазерне сканування може проводитися і за відсутності сонячного освітлення, тоді як відсутність сонця унеможливорює коректне визначення висоти об'єктів з використанням оптичних давачів. Результатом сканування лазерним далекоміром території є растрове зображення карти висот об'єктів, на якій значення пікселу відповідає висоті цієї точки на сканованій сцені.

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. При цьому, опрацювання растрових зображень вимагає значних обчислювальних затрат. Незважаючи на значний прогрес у розвитку універсальної обчислювальної техніки (підвищення продуктивності, збільшення обсягів оперативної пам'яті, та ін.), наявні комп'ютерні системи не завжди забезпечують розв'язок поставлених задач за заданий час. Також, досить 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.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась згідно з науковим напрямом кафедри "Електронних обчислювальних машин" при виконанні держбюджетних науково-дослідних робіт "Інтелектуальні реконфігуровані нарощувані вимірювально-обчислювальні мережі екологічного моніторингу: принципи структурної самоорганізації та функціонування" (реєстраційний № 0100U000530, 2002-2003 роки) та "Конфігуровані вимірювально-обчислювальні мережі інтелектуальних автономних агентів для вирішення задач моніторингу навколишнього середовища" (реєстраційний № 0104U002284, 2004-2006 роки).

Дисертаційна робота також пов'язана з держбюджетною науково-дослідною роботою № 0112U001213: "Розроблення теорії побудови багатопортової пам'яті

комп'ютера на принципах паралельного доступу до даних”, виконаною в 2012 році в рамках пріоритетного тематичного напрямку Національного університету «Львівська політехніка» «Нові інтелектуальні, комп'ютерні, радіоелектронні, інфокомунікаційні вимірні технології, системи, пристрої та бортові системи космічних апаратів».

Мета й задачі дослідження. Метою дисертаційних досліджень є підвищення продуктивності методів і комп'ютерних засобів сегментації та опису тривимірних об'єктів з растрових зображень за рахунок їх удосконалення.

Основними задачами дослідження є:

- провести аналіз існуючих методів сегментації об'єктів на растрових зображеннях та їх тривимірного опису;
- розробити цілісний метод сегментації та тривимірного опису об'єктів типу будівлі за растровими даними висот;
- вдосконалити метод завадостійкого виділення країв об'єктів на двовимірних растрових зображеннях та адаптувати його до опрацювання відображень будівель;
- розробити метод замикання контурів об'єктів на растрових зображеннях для однозначного визначення їх меж;
- розробити метод опису контурів об'єктів і зв'язків між ними за бінарними растровими зображеннями;
- програмно реалізувати розроблені методи для тривимірного опису об'єктів за растровими зображеннями, отриманих від лазерного далекоміру, встановленого на літаючій платформі;
- розробити апаратні засоби для підвищення продуктивності процесів опрацювання зображень для реалізації розроблених методів.

Об'єкт дослідження – процеси опрацювання растрових зображень тривимірних об'єктів.

Предмет дослідження – методи та засоби сегментації та опису тривимірних об'єктів за растровими даними висот.

Методи дослідження. У процесі дослідження застосовувалися: методи аналітичної геометрії та обчислювальної математики, що дозволило синтезувати алгоритми обчислення геометричних функцій у тривимірному просторі, та методи проектування комп'ютерних програм, що дозволило синтезувати програмне забезпечення на основі розроблених у роботі методів. Для розроблення апаратних засобів опрацювання зображень використано теорію проектування спеціалізованих комп'ютерних систем та теорію проектування надвеликих інтегральних схем, моделювання алгоритмів та апаратних засобів комп'ютера. Для перевірки працездатності отриманих моделей та програм, а також обґрунтування отриманих результатів використано експериментальні дані і методи математичного та імітаційного моделювання.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Вперше розроблено метод сегментації тривимірних об'єктів з растрових зображень, що складається зі взаємозв'язаних етапів: виділення краю об'єкту; формування контуру об'єкту; аналітичного опису та оптимізації контуру; розділення множин точок об'єкту, що належать різним поверхням; аналітичний опис поверхонь 1-го та 2-го порядку, який, на відміну від існуючих методів, не використовує

ніякої додаткової інформації про положення об'єктів на сцені, що дозволило розширити сфери його застосування.

2. Вперше розроблено метод та алгоритм замикання розривів лінії краю об'єкту, що базується на властивостях фази градієнту, обчисленого за растровим зображенням. Його застосування дозволяє розділити об'єкти сцени, що значно зменшує складність виконання наступних етапів класифікації та опису об'єктів.

3. Вперше розроблено метод та алгоритм формування контурів об'єктів, що базується на скануванні растрового зображення тільки в одному напрямку та дозволяє впродовж одного сканування зображення описати контури усіх об'єктів сцени, що забезпечує його ефективне застосовування для потокового опрацювання зображень.

4. Вперше розроблено методику застосування паралельної пам'яті з впорядкованим доступом для задач повертання зображення на заданий кут, виділення частини зображення, масштабування зображення, буферизації та реорганізації даних на зображенні, фільтрації зображення, що дозволило підвищити продуктивність спеціалізованих комп'ютерних систем опрацювання зображень.

5. Подальший розвиток дістали дослідження та вдосконалення швидких алгоритмів ортогональних тригонометричних перетворень, що забезпечило підвищення ефективності реалізації як програмного так і апаратного забезпечення комп'ютерних систем опрацювання зображень.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що на основі проведених теоретичних досліджень:

- розроблено алгоритми сегментації та опису тривимірних об'єктів за растровими альтиметричними даними, що дозволило отримати тривимірне представлення будівель для використання в різних задачах (планування міст і територій, моделювання мікроклімату, візуалізації забудови, пошук відмінностей між планом і реальною забудовою, архітектурної реконструкції тощо);

- розроблено програмне забезпечення для відтворення тривимірних об'єктів за растровими альтиметричними даними, яке може використовуватися в комплексах геоінформаційних систем і порталів для формування тривимірного опису та відображення інформації про забудову регіонів.

Достовірність теоретичних досліджень, наукових положень і висновків, викладених у дисертаційній роботі, підтверджується результатами моделювання та експериментальних досліджень і практичного застосування.

Наукові результати, отримані під час виконання дисертаційної роботи, впроваджено: у розробці системи відтворення тривимірних об'єктів за растровими альтиметричними даними, що виконана на науково-виробничому підприємстві "Ін-трон", м. Львів, у 2000-2002 роках (м. Львів, Акт від 17.01.2013 р.); теоретичні результати та рекомендації впроваджено у навчальному процесі на кафедрі електронних обчислювальних машин Національного університету "Львівська політехніка" (м. Львів, Акт від 7.02.2013 р.).

Особистий внесок здобувача. З опублікованих у фахових наукових виданнях праць у співавторстві, здобувачу належать: [1 - 3] – синтез, реалізація та дослідження алгоритму; [4] – моделювання та дослідження пристрою; [5] – аналіз алгоритмів, розроблення рекомендацій з підвищення ефективності реалізації на спеціалізованих процесорах; [7, 9] – розроблення, реалізація та дослідження алгоритму;

[10] – розроблення методу, реалізація та дослідження алгоритмів сегментації об’єктів; [11] – розроблення методу, реалізація та дослідження алгоритмів відокремлення об’єктів; [12] – аналіз операцій з опрацювання зображень та розроблення рекомендації щодо застосування пам’яті з впорядкованим доступом; [13] – розроблення методу опису контурів об’єктів за бінарними зображеннями та реалізація алгоритму.

Усі дослідження, результати яких використано у дисертаційній роботі, проводилися у Національному університеті “Львівська політехніка”.

Апробація результатів дисертації. Основні теоретичні положення й найвагоміші практичні результати виконаного дослідження було обговорено на: Другій Всеукраїнській міжнародній конференції «Обробка сигналів і зображень та розпізнавання образів», «УкрОБРАЗ’94», Київ (1994); The Third International Conference «Pattern recognition and information processing», «PRIP '95», Minsk, (1995); Другій Українській конференції з автоматичного керування, «Автоматика-95». Львів, (1995); Конференції «Комп’ютерні технології друкарства: алгоритми, сигнали, системи», «ДрукоТехн-96», Львів, (1996); Міжнародній науково-технічній конференції “Інформаційні системи та технології”, м. Львів, (1999); International Conference on Modern Problems of Telecommunications, Computer Science and Engineers Training (TCSET’2000), Lviv-Slavsko, (2000); VII-th International Conference CADSM 2003, Lviv-Slavsko, (2003); The 3-rd International conference «Advanced computer systems and networks», ACSN-2007, Lviv, (2007), а також на науковому семінарі кафедри ЕОМ «Комп’ютерні системи та мережі» (2010-2012 pp.).

Публікації. За результатами виконаних досліджень опубліковано 24 наукові праці, з яких 13 статей у фахових наукових виданнях, 8 статей у збірниках матеріалів міжнародних і всеукраїнських конференцій.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, п’яти розділів, висновків, списку використаних джерел, що містить 113 найменувань, 3 додатків. Загальний обсяг роботи становить 185 сторінок, з яких основний зміст викладено на 154 сторінках друкованого тексту (на 12 сторінках розміщено рисунки, які повністю займають площу сторінки). Робота містить 52 рисунки та 1 таблицю.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми досліджень, сформульовано мету й задачі дисертаційної роботи, визначені об’єкт, предмет і методи дослідження, охарактеризовано наукову новизну та практичну цінність одержаних результатів, наведено відомості про їхню реалізацію та апробацію.

У **першому розділі** наведено аналіз методів і засобів аналітичного опису тривимірних об’єктів за растровими зображеннями висот. Розглянуто основні етапи методів опрацювання растрових зображень, направлених на виділення, відокремлення, розпізнавання та опис об’єктів, зображених на сценах. Розглянуто особливості та проблеми виділення країв об’єктів та їх розмітки. Проаналізовано основні способи підвищення якості відтворення контурної лінії за рахунок скелетизації, знищення хибних відгалужень, замикання відкритих гілок тощо.

Розглянуто основні методи відслідковування та опису контурів об’єктів на растрових зображеннях. Проаналізовано основні задачі, які виникають при викорис-

танні традиційних методів формування контурів, пов'язані з потребою значних об'ємів пам'яті комп'ютера та його недостатньою продуктивністю.

Охарактеризовано вимоги до швидких алгоритмів у задачах опрацювання зображень. Особливу увагу приділено швидкості виконання алгоритмів, ефективності їх кодування та технічним рішенням при створенні систем опрацювання зображень. Актуальність задачі підвищення продуктивності комп'ютерних засобів опрацювання зображень зростає, коли вони використовуються в системах реального часу. Зважаючи на значні обсяги даних і складність процедур опрацювання, використання швидких алгоритмів є безальтернативним.

Визначено проблемні питання, що виникають при розробленні комп'ютерних систем аналітичного опису тривимірних об'єктів з растрових зображень та яким необхідно приділили особливу увагу в процесі впорядкування етапів опрацювання та визначенню змісту та доцільності операцій, що виконуються на кожному з цих етапів.

На основі проведеного аналізу сформульовано мету й задачі досліджень.

У **другому розділі** дисертаційної роботи розроблено цілісний метод аналітичного опису тривимірних об'єктів за растровими даними та деталізовано методи виділення країв та аналітичного опису контурів об'єктів.

Визначено, що основними, функціонально завершеними, етапами аналітичного опису тривимірних об'єктів слід вважати: виділення країв та маркування контурів об'єктів; формування та параметричного опису 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 наведено на рис. 1.

Основна задача першого етапу полягає у формуванні замкнутих контурів об'єктів. Замкнутість контурів необхідна для того, щоб надійно відокремити об'єкти один від одного, що дасть змогу опрацьовувати їх окремо на подальших етапах, і, тим самим, знизити загальні обчислювальні затрати. В процесі формування контурів розв'язуються такі задачі: детектування країв об'єктів; розмітка контурів; замикання розривів контурів; знищення хибних відгалужень контуру. Диференціювання зображення найбільш доцільно виконувати оператором градієнту, так як він є інваріантним до обертання та симетричним, що дозволяє підвищити ефективність його обчислення. Розмітка краю полягає у відшукуванні максимуму модулю градієнту. Для цього доцільно використати алгоритм немаксимального придушення, щоб знаходити локальні максимуми за напрямком вектора градієнту. Для замикання лінії краю використовується властивість градієнту. Відкрита гілка краю подовжується у напрямку, перпендикулярному до напрямку градієнту, доки не замкнеться на край іншого об'єкту, або модуль градієнту не стане меншим заданого порогу.

Другим етапом розробленого методу є параметричний опис контурів об'єктів з метою їх відокремлення один від одного для подальшого застосування відтворення тривимірної структури цих об'єктів. Цей етап складається з: співставлення об'єктів з ланцюжками точок, що належать їх контурам; класифікації та відбраковування об'єктів; аналітичного опису контурів об'єктів відрізками прямих із заданим допуском; покращення аналітичного опису, шляхом врахування геометрії об'єктів, па-

ралельності та перпендикулярності їх сторін.

Розроблено метод аналітичного опису поверхонь даху, що складається з двох етапів. На першому етапі визначаються межі площин об'єкту та формуються множини графічних примітивів, що належать кожній з виділених площин. На другому етапі визначаються параметри поверхонь, що належать тривимірним об'єктам, і відокремлені на попередньому етапі. Для знаходження параметрів геометричних примітивів даху будівлі (площини, дуги еліпсів) використовується метод найменших квадратів. Ці методи дозволяють аналітично описати поверхні, які відносяться до об'єктів, та знайти лінії їх перетину.

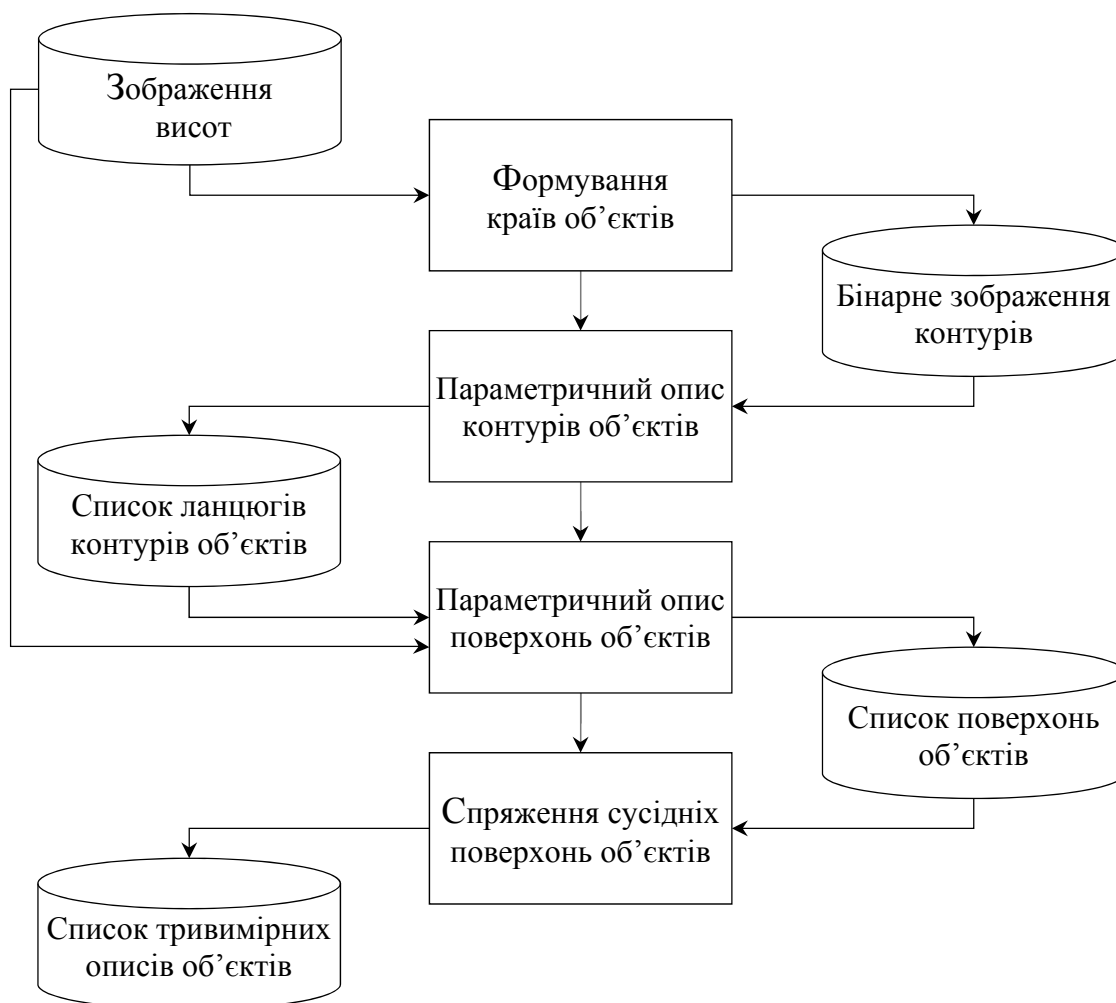


Рис. 1. Схема параметричного опису тривимірних об'єктів за растровими даними висот

Обґрунтовано вибір диференціального оператора для детектування країв об'єктів і визначено функцію виходу $\psi(x)$ детектора краю, що описується виразом $\max_x \psi(x)$:

$$\psi(x) = c |\text{grad}[\Phi(x)]|, \quad \Phi(x) = \frac{1}{2\pi\alpha^2} \int_D \phi(\xi_1, \xi_2) \exp\left(-\frac{|x-\xi|^2}{2\alpha^2}\right) d\xi_1 d\xi_2, \quad (1)$$

$$\frac{1}{2\pi\alpha^2} \exp\left(-\frac{|x-\xi|^2}{2\alpha^2}\right) \xrightarrow{\alpha \rightarrow 0} \delta(x), \quad c = \frac{\alpha\sqrt{2\pi}}{2},$$

де c - константа, яка забезпечує рівність порядку величин $\Phi(x)$ і $\psi(x)$, D - ділянка зображення, ϕ - яскравість, $\delta(\cdot)$ - дельта-функція.

Розмір апертури згладжувального фільтру α (1) і значення порогів детектування країв типу стрибка h_j і типу перегину h_c запропоновано розраховувати виходячи з: s_r – розрізнення зображення у горизонтальній площині, h_r – розрізнення за висотою, s_m , h_m , β_m – просторових розмірів мінімальних об'єктів, які повинні бути виявлені, та мінімального кута нахилу площини об'єкту до горизонтальної площини, за виразами

$$\alpha = \frac{1}{3} \frac{s_m}{s_r}, \quad h_j = \frac{h_m}{h_r} \frac{c}{\alpha\sqrt{2\pi}}, \quad h_c = \frac{s_r}{h_r} \psi_c(2\alpha), \quad (2)$$

де $\psi_c(x) = k \frac{c}{2} \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{x}{\alpha\sqrt{2}} \right) \right]$, $k = \tan(\beta_m)$, $\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$.

Краї об'єктів пропонується маркувати за методом немаксимального придушення, який ґрунтується на знаходженні локальних максимумів модуля градієнту. Для спрощення алгоритму пошуку локального максимуму та зниження обчислювальних затрат пропонується проводити аналіз сусідніх пікселів, спочатку в рядку, а потім у стовпці. Точка маркується як край, якщо хоча б за одним з напрямків у ній виявлений локальний максимум, більший за значення порогу.

Показано, що в процесі маркування складних країв (Т, Y, X – з'єднань) можуть утворюватися розриви контурної лінії, тому необхідно вжити додаткових заходів щодо замикання контуру. Метод замикання відкритих кінців краю ґрунтується на властивостях градієнту. У випадку Т, Y, X – з'єднань поведінка градієнту домінуючого краю подавляє локальні максимуми іншого, що приєднується до нього. Так як напрямок градієнту вказує на зростання його модуля та є локально перпендикулярним до краю, то за ним можна прогнозувати локальну поведінку краю. Тому відкриту лінію краю, який приєднується до домінуючого, можна продовжити у напрямку, перпендикулярному до градієнту. Лінія краю продовжується до її замикання на інший край, або доки модуль градієнту не стане меншим значення порогу.

Вибір початкового напрямку руху для продовження лінії краю ілюструється на Рис. 2. Для цього розраховується кут між перпендикуляром до інтегрального напрямку градієнту в локальному околі 3×3 , і лінії, яка утворюється в результаті

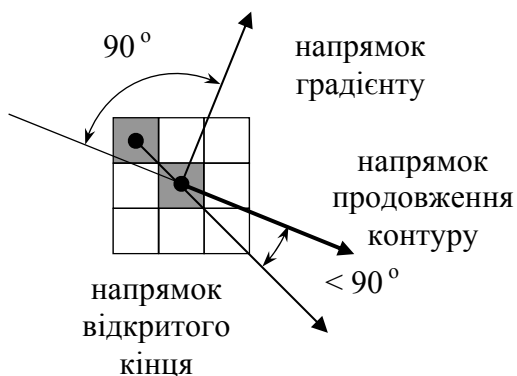


Рис. 2. Вибір напрямку продовження контуру за напрямком градієнту

сполучення попередньої та кінцевої точок контуру. За початковий вибирається такий перпендикулярний до градієнту напрямок, що утворює гострий кут з напрямком продовження лінії краю.

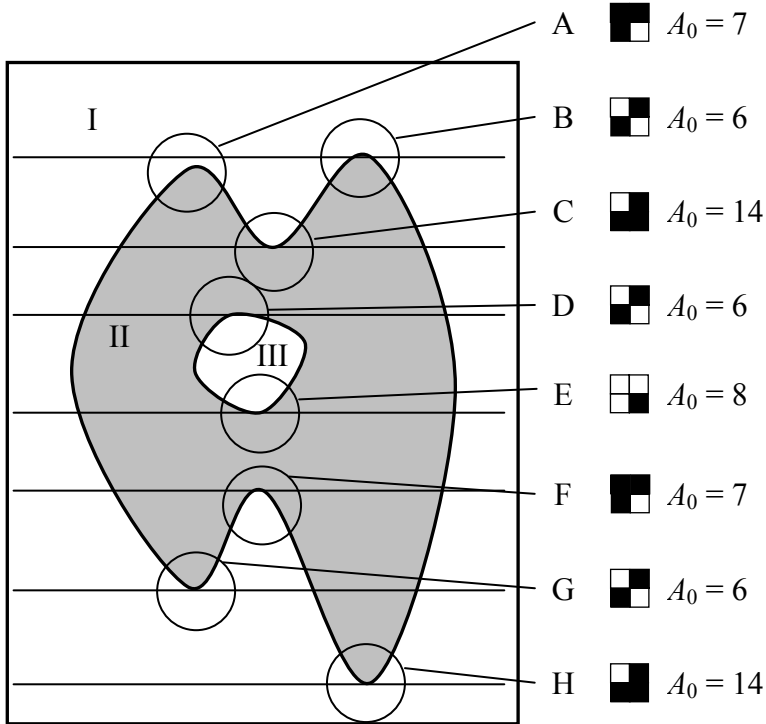
В основу розробленого методу аналітичного опису контуру покладено принцип перевірки на парність, що застосовується в процедурах заповнення областей. Він ґрунтується на тому, що пряма перетинає довільну замкнуту криву (типу контуру деякої ділянки) парну кількість разів.

Суть однопрохідного методу побудови контуру об'єкту ілюструється на рис. 3. На ньому є три об'єкти, що позначені римськими цифрами. Об'єкт I обмежений зовні габаритною рамкою. Його внутрішньою границею є зовнішній контур об'єкту II. Об'єкт III є вкладеним в об'єкт II.

Суть однопрохідного методу побудови контуру об'єкту ілюструється на рис. 3. На ньому є три об'єкти, що позначені римськими цифрами. Об'єкт I обмежений зовні габаритною рамкою. Його внутрішньою границею є зовнішній контур об'єкту II. Об'єкт III є вкладеним в об'єкт II.

Таким чином, об'єкти I та II є двозв'язними та сусідніми ділянками зображення, а об'єкт III є однозв'язною ділянкою. Області, що розглядаються, є попарно сусідніми і мають відповідні спільні контури.

Зображення сканується зліва-направо зверху-вниз апертурою певного розміру 2×2 . При досягненні межі об'єкту (точка B) породжуються дві дуги контуру. Ці дуги заносяться у список контурів відповідних об'єктів як незамкнуті послідовності точок. Координати (x, y) точки B заносяться у списки точок цих дуг. У наступно-



му рядку при перетині меж об'єктів координати точок перетину добавляються у списки точок найближчих дуг контурів. Оскільки піксели тіла об'єкту є чотиризв'язними, а контуру – восьмизв'язними, то відстань між сусідніми контурними точками буде рівна одиниці. Опіраючись на принцип парності точок перетину деякої прямої лінії та замкнутого контуру, до списків дуг контурів буде добавлено однакову кількість точок. При подальшому скануванні зображення у точці A буде породжено нові дуги контурів і добавлено до відповідних об'єктів. У точці C дуги AC і BC об'єднуються в єдиний сегмент контуру. Продовжуючи опрацю-

Рис. 3. Характерні ділянки контурів об'єктів та відповідні їм локальні чисельні характеристики

вання зображення за цим методом нові дуги контурних ланцюгів будуть створені у точках D і F, а у точках E, G і H відповідні дуги будуть об'єднані в ланцюжки та утворять замкнуті контури ділянок. За результатами сканування зображення, наведеного на рис. 3, зовнішнім контуром об'єкту I буде рамка зображення, а внутрішнім – ланцюжок, що складається з дуг AG, GF, FH, HB, BC, і CA. Внутрішній контурний ланцюг об'єкту I буде відповідно зовнішнім контуром об'єкту II. А внутрішній контур об'єкту II – DE, ED – зовнішнім контуром ділянки III. Слід наголосити, що контури всіх ділянок зображення отримано за один прохід сканування зображення, а локальний окіл кожного пікселу аналізується тільки один раз. Чисельна характеристика локального околу A_0 , визначається за виразом $A_0 = \sum_{k=0}^3 s_k 2^{3-k}$, де s_k – значення пікселу околу 2×2 , $k \in \{0,1,2,3\}$ та відповідає пікселам з індексами $\{(i, j), (i, j - 1), (i - 1, j), (i - 1, j - 1)\}$.

Таким чином, точки контуру, однозначно об'єднуються в ланцюжки та утворюють замкнуті контурні лінії. Одночасно з описом контурів формується інформація про суміжність об'єктів, що є необхідною для роботи багатьох алгоритмів, зокрема – нарощення ділянок при сегментації, класифікації.

Завершальним етапом опису контурів є апроксимація їх відрізками прямих. Контури, що подаються прямими лініями, при відтворенні тривимірної моделі бу-

дуть трансформовані у вертикальні площини, що обмежуватимуть отримані об'єкти. Додатково виконується покращення аналітичного опису контурів, що ґрунтується на геометричних властивостях будівель, паралельності та перпендикулярності їх сторін, що зменшує число графічних примітивів, покращує апроксимацію, забезпечує коректніший опис об'єктів і підвищує продуктивність опрацювання на наступних етапах.

Сформовано рекомендації щодо проектування комп'ютерних засобів для створення систем багатоканального, паралельного опрацювання зображень.

У **третьому розділі** дисертаційної роботи розроблено методи відтворення тривимірної структури об'єктів та їх опис поверхнями 1-го та 2-го порядку.

Запропоновано метод сегментації поверхні об'єкту, обмеженого контурною лінією, який ґрунтується на скануванні цієї поверхні та описі відрізками прямих, групуванні отриманих відрізків за подібними характеристиками та віднесення їх до виявлених поверхонь, класифікації на поверхні 1-го та 2-го порядків і параметричного їх опису, визначення ліній та точок перетину поверхонь, віднесених до одного об'єкту.

Показано, що для забезпечення коректного розмежування та класифікації поверхонь об'єкт необхідно сканувати у взаємоперпендикулярних напрямках. Для спрощення процедури сканування проводиться за рядками та стовпцями зображення. Приймаючи до уваги те, що на зображенні висот наявні шуми, для визначення параметрів прямих пропонується завадостійкий метод, у якому параметри a і b , прямої $y = ax + b$, визначаються за виразами

$$a = \frac{\sum_{i=1}^{N/2} (Y_{2i} - Y_{2i-1})}{\sum_{i=1}^{N/2} (X_{2i} - X_{2i-1})}, \quad b = \frac{\sum_{i=1}^{N/2} (X_{2i} Y_{2i-1} - X_{2i-1} Y_{2i})}{\sum_{i=1}^{N/2} (X_{2i} - X_{2i-1})}.$$

Параметри площин, поверхонь 1-го порядку, що утворюють об'єкт, визначаються за накопиченими даними про перерізи на основі методу найменших квадратів. Параметри нормального рівняння площини (n, d) , визначаються шляхом мінімізації помилки вимірювання

$$E = \sum_{i=1}^N (\mathbf{n}^T \mathbf{M}_i + d)^2,$$

де $\mathbf{M}_i(x_i, x_i, z_i)$ - точки регіону, за якими апроксимується площина, N - число точок, \mathbf{n} - одиничний вектор нормалі площини, а d - відстань від початку координат до площини. Рішення для площини полягає в знаходженні вектора нормалі \mathbf{n}_{min} , який є власним вектором коваріаційної матриці та пов'язаний з найменшим власним числом λ , яке також є мінімальною похибкою.

Дослідження показали, що цей метод обчислення параметрів площини працює стабільно, але центр координат множини точок, за якими відновлюється площина, повинен розташуватися на шуканій площині. Вирішення цієї задачі може бути досягнуто шляхом обчислення нового центру координат, як середньозваженого значення суми координат точок (x_i, x_i, z_i) за формулою:

$$x_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i, \quad y_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i, \quad z_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N z_i,$$

де (x_0, x_0, z_0) – координати нового центру, відносно якого розраховуватимуться параметри площини, N – кількість точок, що використовуються для визначення параметрів площини.

Поверхні 2-го порядку запропоновано відтворювати за параметрами еліптичних кривих, які утворюються при перетині цієї поверхні вертикальними площинами. Параметри еліпсу, що утворюється при перетині, неявно описуються поліномом другого порядку $F(x, y) = ax^2 + bxy + cy^2 + dx + ey + f = 0$, зі специфічними для еліпсу обмеженнями $b^2 - 4ac < 0$, де a, b, c, d, e, f - коефіцієнти еліпсу і (x, y) - координати точок, що лежать на ньому. Многочлен $F(x, y)$ є алгебраїчною відстанню точки (x, y) до кривої 2-го порядку.

Наближення загальної кривої 2-го порядку за множиною точок (x_i, y_i) , $i = 1 \dots N$ можна знайти шляхом мінімізації суми квадратів відстаней алгебраїчних точок до кривої 2-го порядку, яка задана коефіцієнтами $a = [a; b; c; d; e; f]^T$: $\min_a \sum_{i=1}^N F(x_i, y_i)^2$. Ця задача може бути вирішена безпосередньо за стандартним методом найменших квадратів. Параметри канонічного рівняння еліпсу із параметрів загального рівняння отримуємо за виразами: $x_0 = \frac{be-2dc}{4ac-b^2}$, $x_0 = \frac{be-2ea}{4ac-b^2}$ - координати центру симетрії; $\varphi = \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{b}{a-c}$ – кут нахилу великої осі до горизонтальної площини; $n = \sqrt{\frac{2r}{a+c-\sqrt{(a-c)^2+b^2}}}$, $m = \sqrt{\frac{2r}{a+c+\sqrt{(a-c)^2+b^2}}}$, $r = ax_0^2 + bx_0y_0 + cy_0^2 - f$ – мала та велика півосі.

Результати моделювання показали, що похибка між точками заданої множини та відтвореною дугою еліпса (за обчисленими канонічними параметрами) лежить у діапазоні допустимого розрізнення, що визначається рівнем внесеного шуму.

Розроблено метод опису тривимірних поверхонь, що складається з таких етапів: 1) приведення тривимірних координат об'єкту до локальної шкали; 2) формування вертикальних зрізів паралельно осям координат OX і OY ; 3) побудова топологічного графу поверхонь об'єкту, де вершини відповідають виявленим поверхням, а дуги - зв'язкам між ними; 4) аналітичного опису вертикальних перерізів об'єктів у взаємоперпендикулярних напрямках, класифікації та групуванні відрізків, отриманих у цих перерізах; 5) перевірка послідовних відрізків зрізу на криву 2-го порядку; 6) визначення параметрів поверхонь 1-го чи 2-го порядків.

При побудові топологічного графу поверхонь об'єкту розв'язуються такі задачі: 1) групування графічних примітивів, отриманих у перпендикулярних сканах за подібними параметрами та проекціями на горизонтальну площину (проекції повинні перетинатися); 2) модифікація структури топологічного графу при об'єднанні розділенні поверхонь; 3) вилучення з нього поверхонь, що за геометричними розмірами не повинні розрізнятися.

Запропонований метод відтворення поверхні 2-го порядку полягає в такому: 1) за еліптичними перерізами в перпендикулярних напрямках знаходиться вісь симетрії циліндру; 2) циліндрична поверхня додатково сканується у напрямку, перпендикулярному до осі симетрії; 3) за сканами визначаються усереднені значення параметрів еліптичних кривих; 4) обчислюються додаткові параметри циліндричної поверхні, вісь симетрії, довжина, розмір сегменту еліптичного січення.

Опис поверхонь завершується визначенням ліній та точок перетину поверхонь об'єкту. Точки перетину визначаються з топологічного графу шляхом пошуку простих циклів на ньому. Тривимірна ламана, сформована послідовним сполученням цих точок для однієї поверхні, визначатиме багатокутник, що обмежує конструктивний фрагмент об'єкту.

Дано інженерні рекомендації по реалізації розроблених методів у комп'ютерних засобах опрацювання зображень.

Четвертий розділ дисертаційної роботи присвячено реалізації комп'ютерних засобів відтворення тривимірних об'єктів за растровими даними висот.

На основі запропонованих методів розроблено програмний комплекс, що реалізує метод опису тривимірних об'єктів за растровими даними висот, який організовано за модульним принципом. При розбитті на модулі визначальними були функціональна завершеність етапів і мінімізація обсягів даних, що передаються між ними. У результаті розбиття виділено такі незалежні модулі:

- виявлення краю та аналітичного опису контурів об'єктів (*EdgeDescribe*);
- виявлення та аналітичний опис поверхонь об'єктів (*Image_3D*).

Кожен з модулів реалізовано як окрему програму (виконуваний модуль). Такий підхід дозволяє розробляти та вносити зміни в модулі незалежно один від одного та контролювати результати їх роботи за проміжними даними, що передаються між ними.

Програмне забезпечення виконано на мові програмування C. Вибір мови продиктований тим, що її мовні конструкції та засоби організації обчислювального процесу найбільш враховують особливості апаратного забезпечення. Також, важливим є те, що завдяки міжнародній стандартизації для неї створено ефективні компілятори під різні операційні системи та архітектури процесорів, як універсальні так і спеціалізовані. Тому, створене програмне забезпечення може, з незначними затратами на перекомпіляцію, переноситися на різні обчислювальні платформи. Варто зазначити, що для підвищення продуктивності обчислень, створюються апаратні прискорювачі різного призначення, мовою програмування яких також часто є мова C. Отже, вибір мови дозволяє забезпечити реалізованому програмному забезпеченню широке застосування.

З метою побудови ефективного програмного забезпечення приведено основні характеристики, за якими порівнюються реалізації засобів цифрового опрацювання сигналів (ЦОС) для універсальних і спеціалізованих процесорів. Запропоновано основні методики для підвищення ефективності реалізації алгоритмів ЦОС для універсальних і спеціалізованих обчислювальних систем. Комплексне використання методик підвищення ефективності реалізації алгоритмів (швидке обчислення індексів, введення таблиць фазових множників, розгортання циклів, збільшення кількості видів базових операцій, лінійна реалізація малоточкових перетворень тощо) дозволяє значно підвищити ефективність програм. Як засвідчили експерименти, це дає можливість багаторазового скорочення часових затрат на реалізацію алгоритмів і, як наслідок, суттєво (на десятки відсотків) прискорити час виконання.

Для підвищення ефективності процесорів опрацювання зображень з метою розвантаження центрального процесора та підвищення його продуктивності запропоновано використовувати спеціалізовані типи пам'яті, що перебирають на себе значну частину задач, характерних для опрацювання зображень.

Одним з типів такої пам'яті є пам'ять з впорядкованим доступом (ПВД). Основною перевагою цього типу пам'яті є забезпечення доступу до даних у програмно встановленому порядку. Формування індексів комірок пам'яті, в одному випадку, може виконуватися за наперед визначеними правилами, а в іншому індекси можуть приходити одночасно з даними, що робить таку пам'ять надзвичайно гнучкою для різноманітних схем доступу до даних.

Показано ефективність використання цього виду пам'яті в задачах буферизації та реорганізація даних зображення. На рис. 4, показано типову схему, за якою виконується один з класів перетворень. На ній ПВД використовується для транспонування двовимірної матриці. Спочатку - для підготовки до повторного застосування одновимірного тригонометричного перетворення, а вдруге - для відновлення природного порядку слідування коефіцієнтів двовимірного перетворення.

Операції опрацювання зображення передбачають виконання математичних перетворень над елементами матриці, яка подає зображення з метою фільтрування, згортання, розпізнавання елементів зображення тощо. Для опрацювання зображень застосовуються ефективні процесори потокової структури, які складаються з послідовних процесорних елементів, що виконують етапи алгоритмів опрацювання. При цьому, для забезпечення потрібної продуктивності ці процесори є багатоканальними.

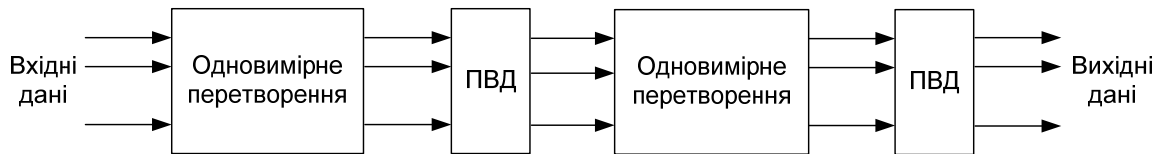


Рис. 4. Використання ПВД як буферної пам'яті під час виконання алгоритмів двовимірних ортогональних тригонометричних перетворень

Потрібно відзначити, що описані функції не може забезпечити жоден з існуючих типів пам'яті, крім паралельної ПВД. При цьому, не вдаючись до розрахунків, видно, що ПВД забезпечує підняття продуктивності розв'язання названих задач.

Запропоновано реалізацію процесора (рис. 5) для виконання аналітичного опису контурів за бінарними зображеннями за однопрохідним алгоритмом, який забезпечує сканування зображення тільки в одному напрямку, що суттєво для організації поточкових обчислень. Визначено вимоги та склад апаратних засобів для реалізації розробленого алгоритму. На основі аналізу особливостей запропонованого однопрохідного алгоритму аналітичного опису контурів об'єктів і тенденцій проектування швидкодіючих реконфігурованих процесорів обробки зображень визначено такий основний склад процесора опису контурів: пам'ять зображення, пам'ять ознак, пам'ять об'єктів, пам'ять контурів, пристрій керування та операційний пристрій.

До складу пристрою керування входять такі основні вузли: генератор і розподільувач імпульсів, лічильники бітів, пікселів, рядків, набір регістрів, лічильники адреси, формувачі сигналів керування. Особливість реалізації пристрою полягає в його орієнтації на просторово-часове виконання алгоритмів цифрового опрацювання зображень з врахування структурної організації та властивостей пам'яті з впорядкованим доступом.

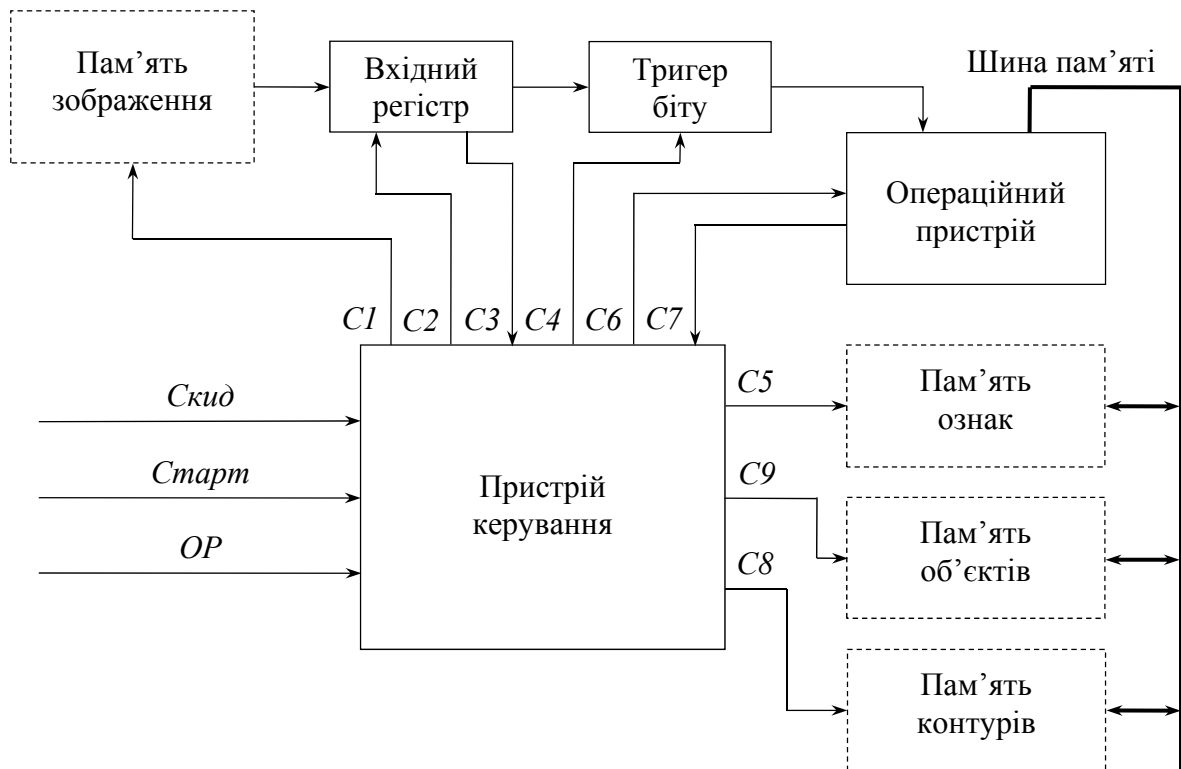


Рис. 5. Структурна схема процесора опису контурів об'єктів

Пристрій керування, операційний пристрій, вхідний реєстр і тригер біта реалізовані на базі ПЛІС сімейства Virtex 6 фірми Xilinx. Результати експериментальних досліджень підтвердили ефективність запропонованих рішень.

У **п'ятому розділі** дисертаційної роботи розглянуто результати експериментального дослідження методів відтворення тривимірних об'єктів за растровими даними та їх комп'ютерної реалізації.

Розроблене програмне забезпечення, що реалізує метод аналітичного опису тривимірних об'єктів на растрових зображеннях висот, тестувалося та досліджувалося на реальних зображеннях, отриманих від лазерного далекоміру на літаючій платформі. Одне з цих зображень зображено на рис. 6.а). На ньому міститься будівля зі складними контурами та поверхнею, яка складається з декількох площин і містить значний імпульсний шум посередині. Це зображення є типовим для загальних сцен за своїми формами та оточенням.

Тестовими зображеннями, за якими проводились експериментальні дослідження, охоплено усі задачі, які можуть виникнути при тривимірному аналітичному описі будівель. Тому, можна вважати набір тестів повним і таким, що дозволить перевірити функціональність розроблених методів і програм у повному обсязі.

Методи та програмне забезпечення виділення країв об'єктів, які реалізовано в модулі *EdgeDescribed*, досліджувалися на предмет реалізації функціональних вимог щодо: якості детектування краю; поліпшення краю з метою отримання ниткоподібної лінії; замикання відкритих кінців контуру.

Як видно на рис. 6,б), краї об'єктів виділені досить чітко, так як вихідне зображення містить автономні будівлі, які не оточені деревами та кущами, котрі вважаються природнім шумом в термінах вирішення задачі опису будівель.

Наступним етапом процесу визначення контурів об'єктів є їх уточнення та покращення, що має на меті отримати тонку та замкнуту лінію краю. Як видно з

рис. 6,в), лінії контуру тонкі та замкнуті.

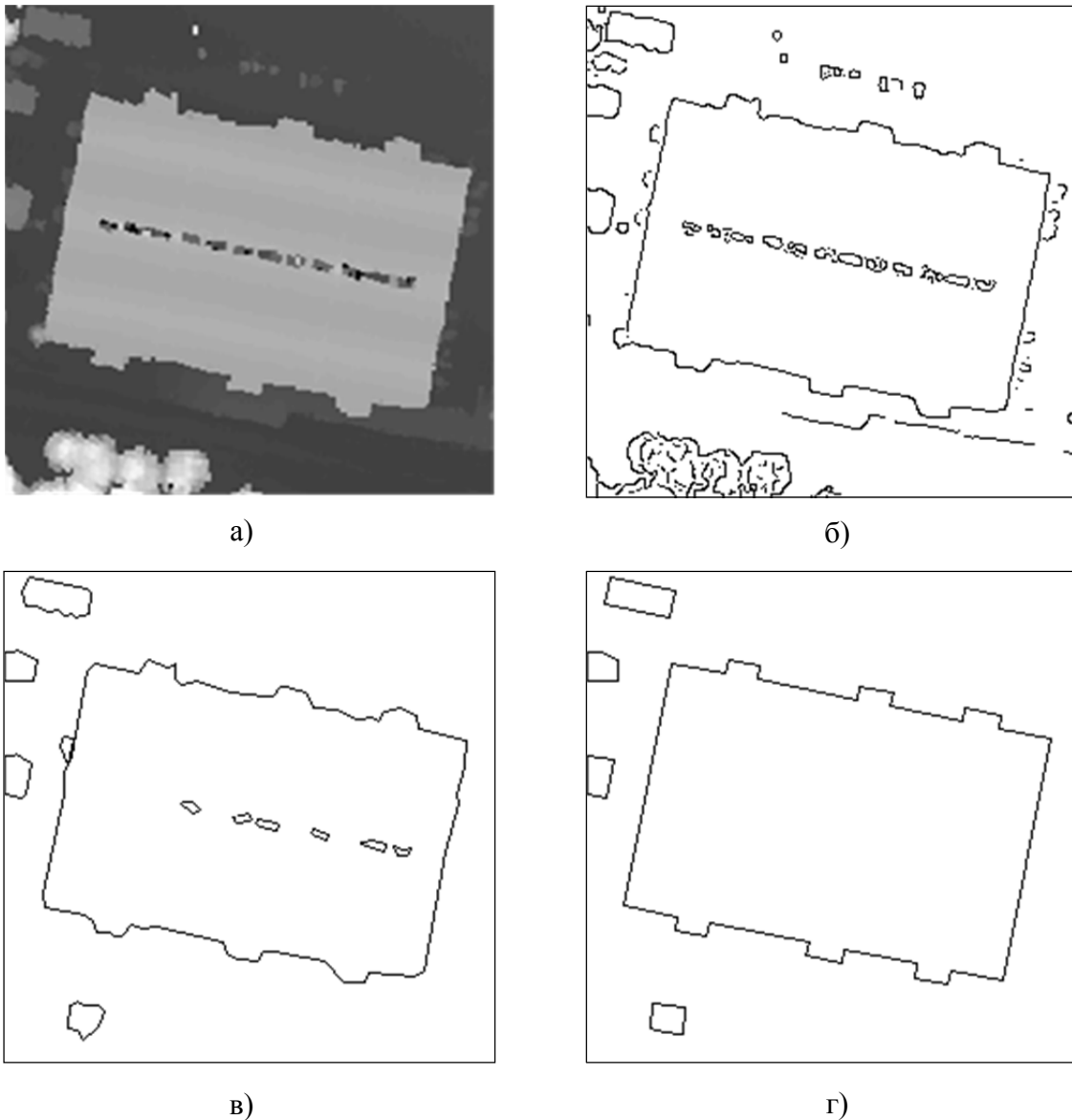


Рис. 6. Растрове зображення будівлі а) та результати виділення її краю б), опису в) і оптимізації г) контурів

Задачі визначення основних напрямків ліній та видалення хибних точок вирішуються на стадії групування відрізків контуру з метою отримання точної контурної лінії об'єкта. Ця лінія використовуватиметься як вихідний описуючий багатокутник для реконструкції поверхонь будівель. Для уточнення параметричного опису лінії контуру враховуються геометричні особливості будівель, а саме паралельність і перпендикулярність їх сторін. Візуальне порівняння рис. 6,в) і рис. 6,г) показує, що контури будівель спрямлено, забрано низку дрібних деталей (відрізків), а самі контурні лінії мають чітко виражені ознаки паралельності та перпендикулярності, навіть у дрібних деталях.

Методи та програмне забезпечення виділення країв об'єктів, які реалізовано в модулі *Image_3D*, досліджувалися на предмет реалізації функціональних вимог щодо сегментації об'єктів на окремі фрагменти, їх опису поверхнями 1-го чи 2-го

порядку, визначення ліній перетину поверхонь і формування тривимірних багатокутників, що їх обмежують.

На рис. 7, показано остаточні результати просторової реконструкції об'єктів. На рис. 7.а) і б) показано відтворені тривимірні моделі об'єктів, що описані поверхнями першого та другого порядку відповідно. Як видно з поданих зображень, розроблене програмне забезпечення, з достатньою для практики точністю, відновлює геометрію аналізованих об'єктів.

Зображення тривимірних об'єктів, поданих на рис. 7, отримані за допомогою спеціально розробленої програми "Vision". Вона забезпечує огляд об'єктів у просторі з різних ракурсів.

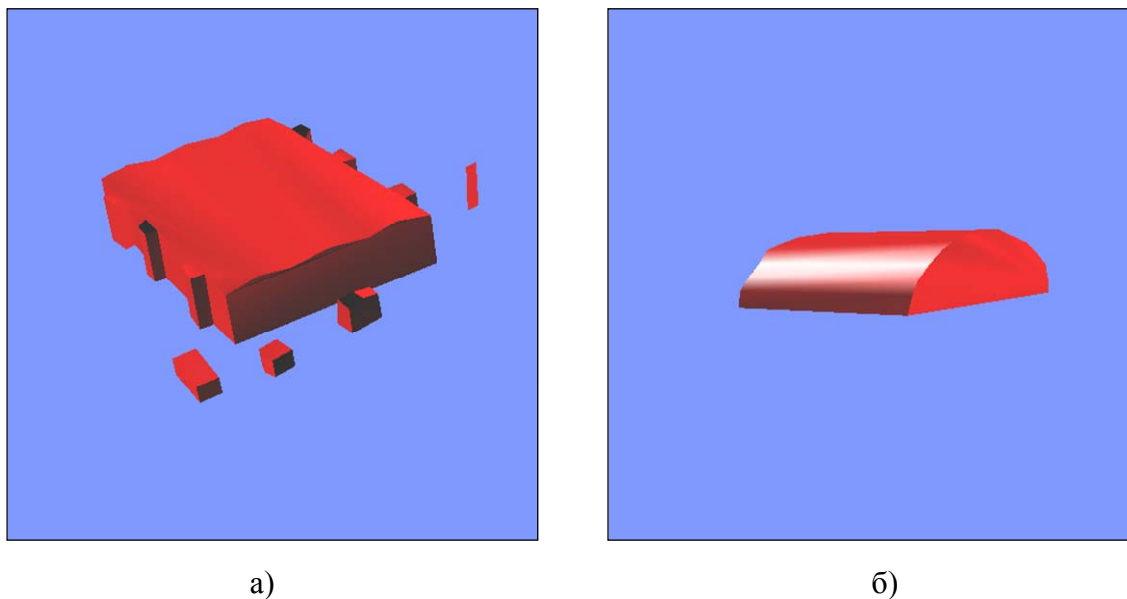


Рис. 7. Результати просторової реконструкції об'єктів поверхнями першого а) та другого б) порядків.

У **додатках** наведено тексти основних програмних модулів, документи про впровадження результатів наукових досліджень та інші матеріали.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язано наукову задачу розроблення методів і комп'ютерних засобів аналітичного опису тривимірних об'єктів за растровими даними висот.

1. Проведено огляд та аналіз існуючих методів сегментації об'єктів та їх опису, що використовуються в процесі вирішення задач аналітичного опису тривимірних об'єктів з растрових зображень та виділено особливості підходів до їх розв'язання. Розглянуто основні етапи, що виконуються в процесі відтворення тривимірної структури об'єктів з растрових зображень, які є картами висот сцени та отримані за допомогою лазерного далекоміру на літаючій платформі.

2. 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 різним поверхням та їх апрокси-

мацію поверхнями першого та другого порядку; визначення та спряження контурів сусідніх поверхонь.

3. Розроблено методику завадостійкого виявлення краю об'єктів на растрових зображеннях висот, яка полягає в: розрахунку порогу детектування на основі загальних характеристик об'єктів, які необхідно виявити; уточненні лінії краю шляхом відкидання хибних гілок краю; замиканні країв для чіткого відокремлення об'єктів.

4. Розроблено метод формування контурів об'єктів. Аналітичний опис контуру виконується за один прохід бінарним зображенням з розміченим краєм, що суттєво зменшує затрати на переміщення даних в пам'яті. Апроксимація аналітичного опису контурів відрізками прямих з врахуванням їх паралельності та перпендикулярності дозволяє зменшити обсяги пам'яті для їх збереження та спростити наступні етапи тривимірного опису.

5. Розроблено методи розбиття множини точок об'єкту на підмножини, що належать до різних його поверхонь. Вона передбачає сканування об'єкту у двох взаємоперпендикулярних напрямках і виявлення точок перегину, на основі яких приймається рішення про розділення множин точок та про тип поверхні: 1-го чи 2-го порядку.

6. Розроблено методики та адаптовано алгоритми апроксимації множин точок поверхнями 1-го та 2-го порядків для задач просторового відтворення будівель за растровими даними висот. Апроксимація виконується за методами регуляризації найменшого середньоквадратичного відхилення.

7. Розроблено програмне забезпечення для реалізації методу опису тривимірних об'єктів за растровими даними висот. Програмний комплекс організовано за модульним принципом. При розбитті на модулі визначальними були функціональна завершеність етапів методу та мінімізація обсягів даних, що передаються між ними. Розроблення підпрограм здійснювалося на основі рекомендацій щодо забезпечення високої продуктивності, що висуваються для систем ЦОС.

8. Розглянуто особливості використання пам'яті з впорядкованим доступом для підвищення продуктивності обчислень. Запропоновано схеми використання цієї пам'яті для підвищення ефективної реалізації спеціалізованих процесорів опрацювання зображень, для здійснення паралельної вибірки та запису даних як під час опрацювання зображень, так і під час взаємодії з зовнішніми пристроями.

9. Розглянуто особливості алгоритму аналітичного опису контурів об'єктів і розроблено структурну схему спеціалізованого процесора на ПЛІС сімейства Virtex 6 фірми Xilinx, що базується на тенденціях проектування швидкодіючих реконфігурованих прискорювачів.

Отримані характеристики та параметри розроблених програмних і апаратних засобів підтверджують коректність наукових положень та адекватність запропонованих методів.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Мороз І. Швидкий алгоритм усунення рядкових шумів з космічних зображень / Мороз І. та Єлманов С. // Вісник Державного університету «Львівська політехніка» «Комп'ютерна інженерія та інформаційні технології», № 351, - Львів, 1998. – С. 144-149.

2. Мороз І. Синтез швидких алгоритмів одно - і двовимірних косинусних та синусних перетворень / Яцимірський М. М., Мороз І.В. та Хамарші К. Д. // “Теорія обчислень”: Зб. наук. праць. НАН України, Ін-т кібернетики ім. В.М.Глушкова, Наук. рада НАН України з проблеми “Кібернетика”; Редкол.: І.В.Сергієнко (відп. ред.) та ін. – Київ, 1999. – С. 396-400.

3. Мороз І. Синтез швидких алгоритмів двосторонньо зсунутих одно - і двовимірних косинусних та синусних перетворень / Яцимірський М. М., Мороз І.В. та Хамарші К. Д. // Вісник Державного університету “Львівська політехніка” “Комп’ютерна інженерія та інформаційні технології”, № 380, - Львів, 1999. – С. 130-136.

4. Мороз І. Конвеєрні пристрої швидкого перетворення Фур’є за методом Рейдера-Бреннера / Ерметов Ю. та Мороз І. // Вісник Державного університету “Львівська політехніка” “Комп’ютерна інженерія та інформаційні технології”, № 386, - Львів, 1999. – С. 11-18.

5. Мороз І. Підвищення ефективності реалізації швидких алгоритмів обробки сигналів в універсальних та спеціалізованих процесорах / Мархивка В. С., Мороз І.В. та Опир Ю. М. // Вісник Харківського державного політехнічного університету “Системний аналіз, керування та інформаційні технології”, Вип. 97, - Харків, 2000. – С. 63-69.

6. Мороз І. Методи та алгоритми фільтрації космічних зображень / Мороз І. // Зб. наук. праць Інституту проблем моделювання в енергетиці, Вип. 10, – Київ, 2000. – С. 203-208.

7. Мороз І. Реалізація швидких одно- та двовимірних алгоритмів ортогональних тригонометричних перетворень на процесорах цифрової обробки сигналів серії TMS320 / Мороз І., Хамарші К. та Яцимірський М. // Вісник Державного університету “Львівська політехніка” “Радіоелектроніка та телекомунікації”, № 387, - Львів, 2000. – С. 292-297.

8. Мороз І. Програмний комплекс декодування та фільтрації космічних знімків / Мороз І. // “Моделювання та інформаційні технології”: Зб. наук. праць Інституту проблем моделювання в енергетиці, Вип. 17, – Київ, 2001. – С. 147-154.

9. Мороз І. Алгоритм відокремлення країв на растрових зображеннях трьох-вимірних об’єктів / Ємець В. та Мороз І. // Вісник Національного університету «Львівська політехніка» «Комп’ютерні системи та мережі». – 2003. - № 492.

10. Мороз І. Методика обчислення відхилення між триангуляційними сітками для виконання контролю спрощення / Акимишин О. та Мороз І. // Моделювання в енергетиці. Національна академія наук України. Збірник наукових праць. Випуск 39. м. Київ, 2007. – С. 103-110.

11. Мороз І. Виділення та опис об’єктів за воксельними даними комп’ютерної томографії / Мельник А., Ємець В., Мархивка В., Мороз І. та Акимишин О. // Вісник Національного університету «Львівська політехніка» «Комп’ютерні науки та інформаційні технології». - № 604. – 2007. – С. 3-9.

12. Мороз І. Використання пам’яті з впорядкованим доступом в процесорах опрацювання зображень / А. О. Мельник, В. А. Мельник, І. В. Мороз та Я. С. Парамуд // Вісник Національного університету «Львівська політехніка» «Комп’ютерні системи та мережі». – 2012. - № 745. – С. 124-130.

13. Мороз І. Алгоритм опису контурів об'єктів за бінарними зображеннями та його реалізація / Мельник А. О., Мороз І. В. та Ваврук Є. Я. // Науковий вісник Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича. Серія: «Комп'ютерні системи та компоненти». – Том 3, випуск 3. – Чернівці: ЧНУ, 2012. – С. 102-108.

14. Мороз І. Комплект великих інтегральних схем для побудови високопродуктивних процесорів цифрової обробки сигналів / Дикун А., Захарко Ю., Кушнір Б., Мороз І. Паньків Р., Цмоць І. та Яцимирський М. // Обробка сигналів і зображень та розпізнавання образів, «УкрОБРАЗ'94». Друга Всеукраїнська міжнародна конференція, - Київ, 1994. – С. 248-250.

15. Мороз І. Реалізація алгоритмів быстрого преобразования Хартли на цифровых процессорах обработки сигналов серии TMS320 / Калачник В., Мороз І. и Яцимирский М. // Pattern recognition and information processing, «PRIP '95». The Third International Conference, - Minsk, 1995. V.2. – С. 77-81.

16. Мороз І. Реалізація швидких алгоритмів дискретних тригонометричних перетворень на мікропроцесорах серії TMS320 / Калачник В., Мороз І. та Яцимирський М. // «Автоматика-95». Друга Українська конференція з автоматичного керування, - Львів, 1995. Т.4. – С. 35-36.

17. Мороз І. Сортування даних в алгоритмах швидкого перетворення Фур'є-Хартлі / Вишнепольська І., Мороз І. та Яцимирський М. // Комп'ютерні технології друкарства: алгоритми, сигнали, системи, «ДрукоТехн-96». Наукові праці конференції, - Львів, 1996. – С. 48-49.

18. Мороз І. Синтез швидких алгоритмів двосторонньо зсунутих одно - і двовимірних косинусних та синусних перетворень / Яцимирський М. М., Мороз І.В. та Хамарші К. Д. // Міжнародна науково-технічна конференція “Інформаційні системи та технології”, 21-23 жовтня 1999, Львів, Україна. – С. 27-30.

19. Moroz I. The Implementation of the Fast One/Two-Dimensional Orthogonal Trigonometric Transform Algorithms with the TMS320 Family Digital Signal Processor / Hamarsheh Q., Moroz I. and Yatsymirskyy M. // Proceedings of International Conference on Modern Problems of Telecommunications, Computer Science and Engineers Training (TCSET'2000) – February 14-19, 2000, Lviv-Slavsko, Ukraine. – p. 116-117.

20. Мороз І. Швидкі побічні алгоритми двовимірних двосторонньо-зсунутих косинусного та синусного перетворень / Мороз І. // “Комп'ютерні технології друкарства”: Зб. наук. праць. Української академії друкарства, № 5, – Львів, 2000.

21. Moroz I. Reconstruction of 3-D objects from raster altimeter data // Melnyk A., Emets V., Moroz I. and Marchyvka V. // Proceedings of the VIIth International Conference CADSM 2003 – February 18-22, 2003, Lviv-Slavsko, Ukraine.

22. Moroz I. Algorytm generowania modeli obiektów 3d na obrazach rastrowych / Jemec W., Moroz I. // Zeszyty naukowe WSHE w Łodzi, seria III, z. 5 (47), 2004, s. 77-88.

23. Мороз І. Система автоматизованого пошуку дефектів в суцільних середовищах та конструкційних матеріалах за воксельними даними комп'ютерної томографії / Мельник А., Ємець В., Мархивка В., Мороз І. та Акимішин О. // Науково-соціальний часопис “Технічні вісті”. – 2007, №1 (25), 2(26). – С. 46-48.

24. Moroz I. Flaw detection according to computed tomography volume data / Melnyk A., Emets V., Markhyvka V., Moroz I. and Akymyshyn O. // Advanced computer systems and networks. ACSN-2007: Proceedings of the 3-rd International conference. – Lviv, 20-22 Sept. 2007. – С. 170-171.

АНОТАЦІЯ

Мороз І. В. **Методи та комп'ютерні засоби опрацювання растрових зображень тривимірних об'єктів.** – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – Комп'ютерні системи та компоненти. – Національний університет “Львівська політехніка” Міністерства освіти та науки України, Львів, 2013.

У дисертаційній роботі розв'язано наукову задачу аналітичного опису та побудови тривимірних моделей об'єктів за растровими зображеннями висот, отриманими лазерним далекоміром на літаючій платформі. Для вирішення поставленої задачі розроблено метод формування тонких, замкнутих контурів об'єктів, що базується на властивостях фази градієнту. Розроблено метод аналітичного опису контурної лінії ланцюжками точок, що на відміну від існуючих, вимагає сканування бінарного зображення тільки в одному напрямку. Запропоновано оптимізувати аналітичний опис контурів об'єктів з врахуванням геометричних властивостей будівель, паралельності та перпендикулярності їх сторін. Розроблено методи розділення множин точок об'єкту, що належать різним поверхням та їх аналітичного опису поверхнями 1-го та 2-го порядку. Запропоновано варіанти застосування паралельної пам'яті з впорядкованим доступом для задач опрацювання зображень, показано основні сфери застосування цього типу пам'яті, що дозволяє підвищити продуктивність реалізації операцій в спеціалізованих системах опрацювання зображень. Подальший розвиток дістали дослідження та вдосконалення швидких алгоритмів ортогональних тригонометричних перетворень, що забезпечило підвищення ефективності реалізації як програмного, так і апаратного забезпечення систем опрацювання зображень. На основі отриманих результатів розроблено комплекс програм відтворення тривимірних моделей будівель за растровими даними висот, отриманих від лазерного далекоміру, встановленого на літаючій платформі.

Ключові слова: растрові зображення, виділення краю, опис контурів, тривимірне моделювання, цифрове опрацювання зображень, відтворення тривимірних поверхонь, комп'ютерні засоби опрацювання зображень.

АННОТАЦИЯ

Мороз И. В. **Методы и компьютерные средства обработки растровых изображений трехмерных объектов.** – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 - Компьютерные системы и компоненты. – Национальный университет “Львовская политехника” Министерства образования и науки Украины, Львов, 2013.

В диссертационной работе решена научная задача аналитического описания и построения трехмерных моделей объектов по растровыми изображениями высот, полученными лазерным дальномером на летающей платформе.

Рассмотрены и проанализированы основные этапы методов обработки растровых изображений, направленных на выделение, разделение, распознавание и описание объектов, изображенных на сценах. Определены проблемные вопросы, возникающие при разработке компьютерных систем аналитического описания трехмерных объектов из растровых изображений и которым необходимо уделить особое внимание в процессе упорядочения этапов обработки, определения содержания и целесообразности операций, выполняемых на каждом из этих этапов. На основе проведенного анализа сформулированы цель и задачи исследований.

Для решения поставленной задачи определены основными, функционально законченными, этапами аналитического описания трехмерных объектов следует считать: выделения краев и маркировка контуров объектов, формирование и параметрическое описание контуров объектов, формирование и разделение множеств точек объектов принадлежащих различным поверхностям и их аппроксимация поверхностями первого и второго порядка, определение и сопряжения соседних поверхностей объектов. Разработан метод формирования тонких замкнутых контуров объектов, основанный на свойствах фазы градиента. Разработан метод аналитического описания контурной линии цепочками точек, который, в отличие от существующих, требует сканирования бинарного изображения только в одном направлении. Предложено оптимизировать аналитическое описание контуров объектов с учетом геометрических свойств зданий и сооружений, параллельности и перпендикулярности их сторон. Сформировано рекомендации по проектированию компьютерных средств по созданию систем многоканальной, параллельной обработки изображений.

Разработаны методы разделения множеств точек объекта, принадлежащих разным поверхностям и их аналитического описания поверхностями 1-го и 2-го порядка. Показано, что для обеспечения корректного разграничения и классификации поверхностей объект необходимо сканировать во взаимно-перпендикулярных направлениях. Для упрощения процедуры, сканирование производится по строкам и столбцам изображения. Рассмотрен и исследован метод определения параметров плоскостей по множеству точек с шумами. Разработан и исследован метод определения параметров цилиндрической поверхности с параметрами по ее эллиптическим сечениям перпендикулярным оси симметрии. Предложен способ построения топологического графа, который отражает структуру поверхностей объекта, и метод определения их линий пересечения для формирования трехмерной ломаной, определяющей многоугольник, который ограничивает конструктивный фрагмент объекта. Даны инженерные рекомендации по реализации разработанных методов в компьютерных средствах обработки изображений.

Предложены варианты применения параллельной памяти с упорядоченным доступом для задач обработки изображений, показаны основные области применения этого типа памяти, что позволяет повысить производительность реализации операций в специализированных системах обработки изображений. Показана эффективность использования этого вида памяти в задачах поворота изображения на заданный угол, выделение части изображения, масштабирование изображения, буферизации и реорганизации данных на изображении, фильтрации изображения, что позволило повысить производительность специализированных компьютерных систем обработки изображений. Дальнейшее развитие получили исследования и со-

вершенствования быстрых алгоритмов ортогональных тригонометрических преобразований. Предложены основные методы для повышения эффективности реализации алгоритмов цифровой обработки сигналов для универсальной и специализированных вычислительных систем. Показано, что их комплексное применение позволяет значительно повысить эффективность программ обработки изображений.

На основе полученных результатов разработан комплекс программ воспроизведения трехмерных моделей зданий по растровыми данными высот, полученных от лазерного дальномера, установленного на летающей платформе. Методы и разработанные компьютерные средства исследованы на реальных висотометричных данных. Экспериментальные исследования и практическое применение, показали, что предложенные методы и созданные средства соответствуют теоретическим положениям, научным положением и выводам, изложенным в диссертационной работе.

Ключевые слова: растровые изображения, выделение края, описание контуров, трехмерное моделирование, цифровая обработка изображений, воспроизведение трехмерных поверхностей, компьютерные средства обработки изображений.

ABSTRACT

Moroz I. V. **Methods and computer tools of raster images of three-dimensional objects processing.** – In manuscript.

Dissertation for philosophy doctor degree by specialty 05.13.05 - Computer Systems and Components. – Lviv Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2013.

This thesis solves scientific problem of analytical description and creation three-dimensional models of objects from raster images heights obtained by laser range finder on a flying platform. To solve this problem a method for forming thin closed contours of objects based on the properties of the phase gradient. A method for analytical description of the contour line pixels chains which, unlike existing binary image requires scanning in one direction only. Proposed to optimize an analytical description of the contours of objects with the geometric properties of structures, parallel and perpendicular to their sides. The methods of separation of object points sets the belonging to different surfaces and their analytical description of the surfaces of the 1st and 2nd order. Proposed applications of parallel memory orderly access to image processing tasks, shows the main areas of application of this type of memory, which improves the performance of the operations in specialized image processing systems. Developed further research and improvement of fast algorithms that ensure efficiency of the implementation of both software and hardware image processing systems. Based on the results of a set of programs designed play three-dimensional models of buildings on the heights of raster data obtained from a laser range finder mounted on a flying platform.

Keywords: bitmaps, edge, description contours, three-dimensional modeling, digital image processing, rendering three-dimensional surfaces, computer image processing.