

ДК 528.9+528.74:622.1.2

Москаль Н.

Національний університет "Львівська політехніка" (м. Львів, Україна)

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ СТВОРЕННЯ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ 3D МОДЕЛІ МІСЦЕВОСТІ

© Москаль Н, 2003

В статье рассматривается технология создания и визуализации трехмерной модели местности с использованием автоматизированных фотограмметрических методов сбора данных и специализированного программного обеспечения. Для цифрового моделирования местности предлагается адаптивная модель данных.

The article is devoted to the technology of creating and visualization of 3D-terrain model using digital photogrammetry methods and specialized software. The adaptive model of data is offered for digital modeling of terrain.

Застосування геоінформаційних систем в різних сферах діяльності, особливо в галузях планування територій та дослідження оточуючого середовища спричиняє попит на тривимірні моделі для візуалізації, розрахунків і аналізу, які з необхідною точністю враховують не тільки планове положення, але і висоту. Проблеми розробки і впровадження універсальної структури тривимірної геометричної моделі просторово-координованих даних та задачі візуалізації рельєфу і об'єктів земної поверхні - постійна тема на професійних форумах останніх років¹ та на сторінках фахових видань [1, 5-16]. Однак, доки концепцію уніфікованої геометричної моделі не буде зреалізовано в нових універсальних інструментальних ГІС, величезні фонди геоданих не буде перетворено згідно вимог цієї моделі, актуальною залишається задача проектування і дослідження різних методик тривимірного моделювання і візуалізації місцевості.

В даній статті запропоновано одну з можливих технологічних схем створення та візуалізації тривимірної моделі місцевості з використанням спеціалізованого програмного забезпечення та автоматизованих фотограмметричних методів збору даних. Як базову, вибрано адаптивну тривимірну модель місцевості, що представляється сукупністю цифрових карти або ортофото, регулярної висотної моделі рельєфу та параметричних моделей об'єктів місцевості.

1. Технологічна схема створення та візуалізації тривимірної цифрової моделі місцевості за матеріалами фотограмметричного знімання

Візуалізація реалістичного метричного зображення місцевості виконується методом синтезу тривимірних зображень цифрових моделей рельєфу, ситуації та об'єктів на земній поверхні. Новий геоінформаційний інструментарій, використовуючи методи обробки зображень, все більше націлений на використання растрових просторово-прив'язаних даних та моделей. Цьому сприяє швидке впровадження технологій цифрової фотограмметрії. Її основний продукт – ортофотозображення – створює цифрову геометричну основу для вимірювання, а в ідеалі для автоматичного розпізнавання всіх типів об'єктів з прийнятною точністю. Однак на сьогоднішній день важко назвати пакет програм, який в повному об'ємі поєднував би можливості для інтелектуальної візуалізації та нові методики підготовки даних. Програмне забезпечення цифрової фотограмметричної станції (ЦФС) при візуалізації результатів опрацювання знімків не передбачає тривимірного моделювання та відтворення об'єктів, що знаходяться на земній поверхні. Інструментальні ГІС все ще не забезпечують високоточного автоматичного розпізнавання об'єктів за растром,

¹ XVIIIth Congress International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Vienna, Austria, 1996.

International Conference on Multimedia in Geoinformation "Visual Reality", Bonn, Germany, 1998.

ISPRS Commission IV Symposium "Mapping and Geographic Information Systems", Stuttgart, Germany, 1998.

XIXth Congress of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS) "Geoinformation for all", Amsterdam, The Netherlands, 2000

Photogrammetric Computer Vision 2002, ISPRS-Commission III, September 9-13, Graz, Austria

особливо це стосується міських забудованих територій. Оскільки всі процеси - від етапу збору даних про місцевість до представлення в тривимірному відображенні на екрані монітора - проблематично виконати в одному програмному середовищі, виникає необхідність використання різних інструментів.

На рис.1 представлено технологічну схему, яка дозволяє формувати компоненти 3D моделі місцевості з використанням програмного забезпечення цифрової фотограмметричної станції, а візуалізацію проводити в середовищі спеціалізованого пакету програм.

Створення цифрової моделі місцевості базується на застосуванні так званої адаптивної (частково тривимірної) моделі об'єктів земної поверхні, концепцію та доцільність застосування якої на етапі переходу від 2D до 3D ГІС обґрунтована нами в [3]. Слід відзначити, що це найоперативніший і оптимальний за витратами шлях моделювання тривимірної віртуальної реальності для тих задач, в не вимагають вимірювання і візуалізації всіх деталей об'єктів земної поверхні. Наприклад, дерево певної породи має типову форму стовбура і крони, яку можна відтворити у вигляді тривимірного тіла. Заготувавши бібліотеку 3D-тіл (подібно до плоских умовних знаків для карт) можна забезпечити тривимірне відображення об'єктів, форма яких заздалегідь відома або залежить від певних параметрів. Для останніх формуються параметричні моделі, форма яких може частково коректуватися в процесі візуалізації шляхом введення значень деяких параметрів. Наприклад, істинної (вимірної) висоти конкретного об'єкту.

Концепція адаптивної структури цифрової моделі місцевості реалізована в багатьох сучасних програмах тривимірної візуалізації. Проте при використанні віртуального представлення місцевості для задач просторового аналізу необхідно забезпечувати відповідну точність візуалізаційної моделі. Тому геометричною базою для моделювання та відображення місцевості в геоінформаційних системах служать цифрові карти, плани і цифрові висотні моделі рельєфу з регулярним або нерегулярним кроком. Таким вимогам відповідають і нові продукти цифрової фотограмметрії - ортофотомозаїки, які, при порівняно невисоких затратах на виробництво, служать високоточною метричною основою.

Технологічною схемою (рис.1) передбачено такі процеси :

- 1 Підготовка матеріалів знімання та опрацювання їх на цифровій фотограмметричній станції з метою створення цифрового ортофото та цифрової регулярної моделі рельєфу;
- 2 Вимірювання на ЦФС положення об'єктів земної поверхні за стереомоделлю місцевості;
- 3 Конвертування файлів регулярної ЦМР та файлів вимірів до формату внутрішнього представлення в програмному середовищі Ravis;
- 4 Візуалізація віртуальної тривимірної моделі місцевості за допомогою Ravis.

До апаратно - програмного комплексу, що забезпечує технологічні процеси входять: програмне забезпечення ЦФС "Дельта"; пакет програм САПР "Автокад-2000"; програми-конвертори форматів, розроблені автором статті; програма візуалізації RAVIS - некомерційна розробка Цюрихського технічного університету (Швейцарія) [16], доступ до якої можна отримати через глобальну мережу Internet.

Програмний комплекс RAVIS вибрано нами для досліджень з таких міркувань:

1. Програма надає можливість просторової прив'язки цифрового метричного зображення(растрової карти, ортофото), підтримує широкий спектр растрових графічних форматів;
2. Файл регулярної цифрової моделі рельєфу може зберігатися в текстовому ASCII, тому його специфікацію було нескладно описати; для нас це відкрило можливість для створення програми конвертації файлів ;
3. Файли вимірювань координат об'єктів також мають текстовий формат та добре документовану і зрозумілу структуру, яка піддається коректуванню за допомогою найпростішого редактора ;
4. Для тривимірної візуалізації об'єктів використовуються параметричні моделі, що мають цифровий запис у виді DXF файлів.

Розглянемо детальніше окремі технологічні процеси.

2. Підготовка даних та створення цифрової 3D моделі місцевості

Запропонована технологічна схема досліджувалася на матеріалах аерофотознімання околиць одного із населених пунктів Львівської області. Знімання виконувалося за допомогою АФА Т-70 з фокусною відстанню $f = 70.53\text{мм}$, масштаб знімання 1:7000, використано 5 знімків, що складають один маршрут. Всі ілюстрації реалізації технологічної схеми є результатами досліджень на цьому матеріалі.

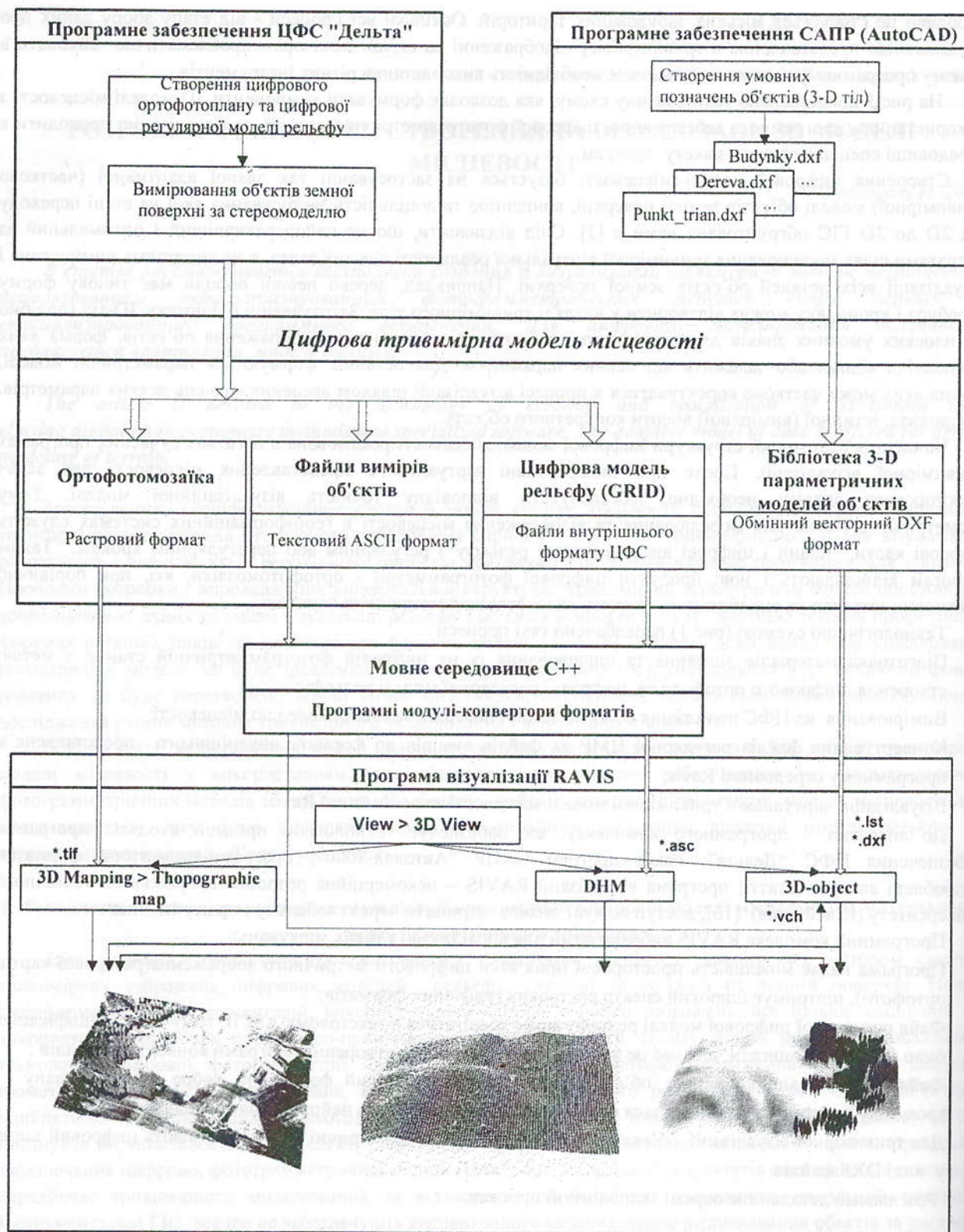


Рис. 1. Технологічна схема процесу створення та візуалізації 3D моделі місцевості.

Для створення цифрової місцевості виконувалися такі роботи:

1. З використанням програмного забезпечення ЦФС "Дельта" створювався цифровий ортофотоплан в М 1:2000 і регулярна висотна модель рельєфу з кроком 5м, проводилося вимірювання координат об'єктів на земній поверхні;
2. Проводилося проектування параметричних моделей деяких об'єктів в середовищі САПР Автокад.

2.1. Створення цифрового ортофотоплану та цифрової моделі рельєфу

Цифровий ортофотоплан(ортофотокарта)- растрове зображення, побудоване в масштабі топографічної карти, вільне від спотворення за кути нахилу знімка та з мінімальними (допустимими) спотвореннями за рельєф місцевості [2]. Вихідним матеріалом для його створення служать растрові зображення, отримані скануванням наземних, аерофото- та космічних знімків, або в результаті знімання цифровими камерами.

Детально технологію створення ортофотоплану не розглядатимемо, вона описана в відповідних інструкціях [4]. Відмітимо тільки основні процеси до яких належать:

- побудова стереоскопічної моделі місцевості за знімками, що належать одному чи декільком маршрутам,
- створення цифрової моделі рельєфу у вигляді регулярної сітки з відомими координатами (XYZ) вузлів,
- аналітичне попиксельне трансформування матриці зображення,
- корекція зображення цифрового ортофото.

Ці процеси виконуються з використанням відповідних модулів (*models.txe*, *triada.exe*, *ged.exe*), що входять в склад програмного забезпечення ЦФС "Дельта".

Побудова стереоскопічної моделі виконується з мінімальною участю оператора для виконання вимірювальних робіт, супроводжується діагностичними повідомленнями про точність побудови та формуванням таблиці оцінки точності.

Для виконання автоматичного трансформування необхідно мати регулярну сітку з відомими координатами (XYZ) у вузлових точках. Для побудови регулярної цифрової моделі рельєфу необхідно на першому етапі провести "рисовку" рельєфу, яка полягає в проведенні горизонталей, або виконати вимірювання точок в характерних місцях рельєфу. В першому випадку використовується програма *Digital*s для Windows 95/98/NT v. 5.0 (запуск якої здійснюється з модуля *GED.EXE*):

1. висота горизонталі вводиться в відповідному діалоговому вікні або виставляється ножним штурвалом
2. спостерігаючи стереоскопічно, ведуть вимірювальну марку по поверхні стереоскопічної моделі.

В другому випадку вимірювання точок виконується в режимі СБОР модуля *GED.EXE*, який запроєктований для ручної векторизації цифрового знімка.

На другому етапі ведеться побудова регулярної сітки в автоматичному режимі. При цьому програмі слід вказати метод інтерполяції, крок сітки та відмітити об'єкти (точки, горизонталі, інші об'єкти, які вимірювалися в режимі збору), які будуть використовуватися при будові регулярної сітки висотних відміток.

Для проведення досліджень використовувалися діапозитиви знімків вказаного маршруту, які сканувалися сканером HP ScanJet 6001C з роздільною здатністю 1200 dpi. На рис.2. наведено зображення: фрагменту ортофотоплану ділянки місцевості та вигляд регулярної сітки при опрацюванні одного із знімків маршруту.

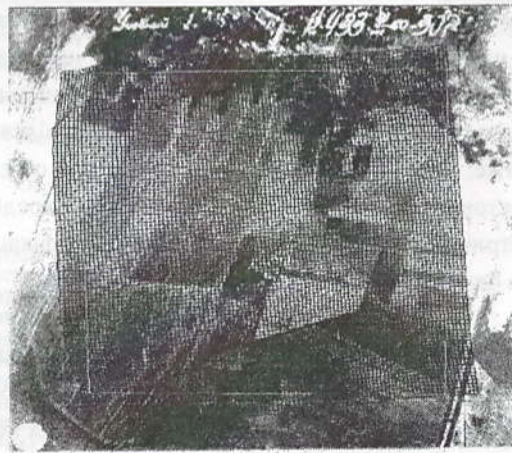


Рис.2. Зображення: а) фрагменту цифрового ортофотоплану ділянки місцевості, б) регулярної сітки при опрацюванні одного із знімків маршруту.

2.2. Вимірювання об'єктів

Програмний модуль **GED.EXE** дозволяє виконувати збір векторної інформації за растровим зображенням, при цьому можлива робота як в стереорежимі так і в моно (використання одного знімка).

Нами проводилися вимірювання всіх будівель по фундаментах та дерев. Для кожного виду об'єкту створювався окремий файл. Об'єкт в файлі вимірів отримує порядковий номер, виміряні точки одного фізичного об'єкта (будинку) мають той самий порядковий номер.

Реєстрація точок об'єкта проводиться наступним чином:

- Реєстрація першої точки об'єкта. Для цього підводять марку до зображення і натискають ліву клавішу миші;
- Далі марка підводиться до наступної точки. Якщо наведення невіддале, то видалення останньої точки можливе за допомогою кнопки **<F8>**;
- Для завершення вимірювань об'єкту натискається кнопка **<F5>**. Якщо поточний об'єкт точковий, то реєстрація однієї точки означає завершення збору об'єкта.

Результатом роботи є текстові файли з розширенням **.dmf*.

2.3 Формування бібліотеки параметричних моделей об'єктів

Метою геометричного моделювання об'єктів земної поверхні є опис форми об'єкта. Форма об'єктів, що мають наперед визначену форму, визначається через моделі границь, площин або тіл. Для конструювання цих форм застосовують метод каркасного моделювання (Wire Frame). 3D-каркасна модель – найпростіший вид моделі, що складається з двовимірних елементів: ліній, границь, областей, які позиціонуються в тривимірному просторі так, що описують границі гіпотетичних поверхонь (рис.3.6).

Адаптивна модель - різновид каркасної моделі, особливість якої полягає в тому, що просторові компоненти опису об'єкта представляються в структурах і форматах традиційних двовимірних ГІС (точка, лінія, площина), а значення висоти присвоюється з деяких міркувань і потім використовується при візуалізації на екрані монітора 3D символів – умовних позначень об'єктів. Застосування такої моделі дозволяє здешевити і прискорити вимірювальні роботи для широкого класу задач, для яких висотна компонента може бути представлена у вертикальному відображенні з точністю нижчою ніж представлення геометрії об'єкта в плані.

Для пояснення цієї тези наведемо такий приклад. Положення дерева мінімально змінюється в просторі протягом тривалого часу, тому в горизонтальній площині відображається з точністю відповідною до масштабу плоскої моделі (карти, ортофото). Висота ж змінюється до метра протягом одного року, тому для візуалізації тривимірного зображення дерева на моделі поверхні, можна використовувати значення висоти середньостатистичне для даного виду і віку дерев. Це значення відоме з досвіду або з використавши планіметричного кодування (умовного позначення на карті). Якщо значення висоти необхідно встановити точно, наприклад в задачах таксації лісів, необхідно для кожного конкретного об'єкта (дерева) проводити спеціальні вимірювання. Врахування значення цього параметра при побудові геометричної моделі проводиться програмою візуалізації в процесі відтворення зображення на екрані монітора.

Отже, при конструюванні 3D-символів об'єктів, що мають заздалегідь визначену форму, доцільно використовувати адаптивну модель, яка передбачає параметризацію основних форм символів. Така параметрична модель надає можливість модифікації висоти та деяких елементів форми стандартної моделі об'єкта безпосередньо в процесі візуалізації.

З метою створення універсальної бібліотеки елементарних символів нами пропонується використовувати САД- системи (Autocad, MicroStation) як такі, що

1. мають значну кількість функцій для створення та редагування базових форм та тривимірних тіл (коло, сфера, циліндр, призма, площина), з яких не складно проектувати елементарні 3D-символи
2. підтримують об'ємний векторний DXF формат, який використовується програмою візуалізації.

Для експериментальних досліджень в середовищі Autocad-2000 нами створено DXF-бібліотеку 3D-символів, що представляють параметричні моделі деяких об'єктів (рис.3). Саме для цих видів об'єктів проводилися вимірювання на ЦФС. В рамках цієї роботи вважаємо недоцільним наводити алгоритми роботи для проектування файлів-рисуноків символів.



Рис.3. Відображення призматичних моделей об'єктів: а) призматичної моделі для будинків, б) листяного дерева, в) хвойного дерева, г) пункту триангуляції.

3. Візуалізація 3D моделі місцевості в пакеті програми RAVIS

Пакет програм **RAVIS** призначений візуалізації віртуальної реальності шляхом інтегрування різних типів даних: растрових карт або цифрових ортофотопланів, регулярної ЦМР та тривимірних параметричних моделей об'єктів земної поверхні.

Є також можливість для 2D дигіталізації на векторних та растрових цифрових картах (ортофотокартах). Тому коли точність відображення висоти об'єктів не відіграє істотної ролі при візуалізації, вимірювання планового положення об'єктів земної поверхні можна вимірювати в середовищі RAVIS. В цьому випадку візуалізація буде виконуватися із висотою, заздалегідь встановленою при проектуванні моделей об'єктів.

Всі файли (окрім растрових зображень), що є компонентами цифрової моделі місцевості (рис.1) зберігаються у внутрішньому, характерному тільки для цього пакету, форматі. Але можливе також збереження в текстовому ASCII виді і це дозволило нам виявити структуру та формат представлення полів в фізичних записках файлів. Зміст головного файлу бібліотеки моделей об'єктів та структура файла вимірів наведено в таблиці 1 і на рисунку 4.

Таблиця 1

Файл списку об'єктів *symcod.lst*

Код моделі об'єкта	Назва об'єкта	Висота знака
1002	дерево шпилькової породи	
1001	дерево листяної породи	
.....		
5006	призматична модель для будинків	
.....		
5999	церква	
.....		
6000	пункт триангуляції	

Derevo.sym

Code	X	Y	Z	H
1001	10000001	00019720.86	00071113.80	6
1001	10000002	00019725.49	00071109.56	6
1001	10000003	00019716.82	00071102.43	6
1001	10000004	00019707.43	00071097.49	6
1001	10000005	00019698.01	00071088.42	6
1001	10000006	00019699.16	00071083.23	6
1001	10000007	00019694.57	00071074.03	6
1001	10000008	00019685.16	00071073.07	6
1001	10000009	00019677.11	00071070.13	6
1001	10000010	00019666.92	00071060.74	6
1001	10000011	00019663.77	00071056.22	6
1001	10000012	00019658.68	00071052.58	6
1001	10000013	00019650.08	00071054.17	6
1001	10000014	00019650.71	00071060.91	6
1001	10000015	00019649.78	00071067.08	6

Рис.4. Структура файлу вимірів для точкового об'єкта.

Специфікація файлу регулярної моделі рельєфу близька до типової структури GRID-файлів спеціалізованих пакетів, таких як Surfer (різниця тільки в структурі заголовку та довжині фізичного запису) і тому її нескладно описати. Файли вимірювань координат об'єктів також мають зрозумілу структуру, яка піддається коректуванню за допомогою найпростішого редактора, або шляхом написання простої програми.

Склавши специфікації для файлів регулярної ЦМР, файлів вимірювань для всіх типів об'єктів та службових файлів модуля візуалізації (**3D View**), ми розробили програму - конвертор для перетворення форматів файлів ЦФС. Програма оформлена у виді виконавчого модуля, для програмування вихідного коду використано мову C++.

Тривимірна візуалізація за допомогою RAVIS дозволяє будувати комбінацію різних зображень і виконується в такій послідовності: відтворення гладкої поверхні за цифровою регулярною ЦМР, синтез цифрового ортофото та моделі поверхні, відображення об'єктів (всіх чи вибірково за типом) на моделі поверхні або синтезованому зображенні тривимірної карти (ортофотокарти).

Алгоритм роботи для синтезування тривимірного зображення місцевості.

1. Запустити програму - конвертор для файлів ЦМР та файлів вимірів, отриманих під час опрацювання знімків на ЦФС.
2. Додати DXF файли параметричних моделей об'єктів в каталог бібліотеки умовних позначень системи RAVIS та скоректувати текстовий файл списку (*symcod.lst*).
3. Запустити пакет програм RAVIS та виконати такі дії:
 - 3.1 Для візуалізації ландшафту земної поверхні вибрати командне меню **View>3D View>DTM**; при цьому появляється діалогове меню в якому задається: назва dhm-файлу (регулярна ЦМР) і крок з яким буде побудована візуалізаційна модель, кут зору, висоту точки спостереження, метод згладжування та деякі інші параметри. Після цього отримуємо перспективне зображення земної поверхні (рис.1). З метою рельєфності відображення поверхні масштаб моделі вздовж осі Z можна змінювати.
 - 3.2 Накладання растрового зображення (ортофотоплану) на ЦМР виконується через меню **View>3D View>Raster Map**. В діалоговому вікні задається назву заздалегідь зорієнтованого(просторово прив'язаного) растру. В результаті отримаємо синтез зображення ортофотоплану на цифрову модель поверхні.
 - 3.3 Для відображення об'єктів використовуємо команду візуалізації шляхом 'видавлювання' моделей 3D-тіл, що виконується через меню **View>3D View>3D object**. В діалоговому вікні задаються: файл, що містить список 3D умовних знаків - *symcod.lst*; та імена файлів (файлу), що містять результати вимірювань- *budynky.vch* (*dereva.vch*). Результатом роботи є оверлей 3D-зображень, який показано на рис.4. Це зображення можна розвертати та оглядати з різної висоти, точки спостереження та під різним кутом.

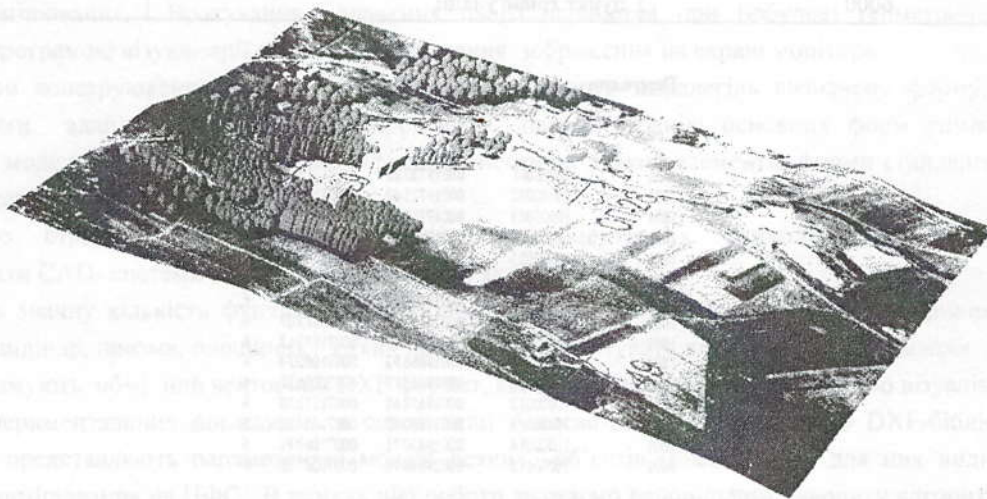


Рис.5. Тривимірна візуалізація досліджуваної ділянки місцевості.

Висновки

Розвиток геоінформаційних систем в напрямку тривимірності вимагає вирішення проблеми розробки і впровадження універсальної геометричної моделі даних про місцевість. Це тривалий процес і він вимагає значних інвестицій в розробку нового інструментарію та виробництва нових геоданих. Тому структура геометричної моделі даних, вимоги до точності її метричної компоненти в ГІС -проектах повинні бути оптимально узгодженими з задачами, які розв'язуються на моделі.

Для задач, які вимагають високої точності відтворення висотної компоненти при візуалізації (наприклад при планування територій та забудови), прийнятним є застосування адаптивних моделей об'єктів земної поверхні. Такий підхід дозволяє здешевити і прискорити процес підготовки даних, дає можливість ефективно використовувати фонд геоданих, нагромаджений в двовимірних ГІС.

Якщо висотна компонента відіграє істотну роль і при візуалізації достатньо використовувати заздалегідь відомі форми об'єктів, доцільно використовувати адаптивну параметричну модель. В цьому випадку вимірювання слід виконувати на ЦФС за стереомоделлю місцевості.

Література

1. Глухов О.О. Проблеми і принципи проектування геоінформаційних систем. // Геоінформатика. №1, 2002, с.89-94.
2. Дорожинський О.Л. Аналітична та цифрова фотограмметрія: Навч. Посібник.- Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2002.-164с.
3. Москаль Н.М. Третій вимір в геоінформаційних системах: передумови та шляхи реалізації. // Геодезія, картографія і аерофотознімання. Міжвідомчий наук.-техн.збірник. Вип. 61, Львів, 2001, с.152-159.
4. Программное обеспечение цифровой фотограмметрической станции "Дельта". Руководство оператора. Винница, 1997
5. Raster-GIS – Integration of Raster Images and 3D-Objects into Geodatabases.// Department of Geodetic Sciences. Research. Report 1998. WG 01.51, ETHZ, Zurich.
6. Baltsavias E. DTM and Orthoimage Generation-A Thorough Analysis and Comparison of Four Digital Photogrammetric systems, ISPRS Com.IV Symposium, Stuttgart, 1998
7. Baltsavias E.P., Gulch E., Stallman D., Tempfli K., Welch R. 3D reconstruction and Modelling of Topographic Objects. Proceeding of the Joint ISPRS Com. III/IV. Stuttgart, 17-19 September 1997, IAPRS, Vol.32, Part 3-4W2
8. Bartelme N. Geoinformatic – Modelle, Strukturen, Funktionen. Berlin(etc.): Springer. 1995
9. Brunet P. 3-D Structures for the Encoding of Geometry and Internal Properties. In: Three-Dimensional Modeling with Geostifientefic Information Systems. Dordrecht(etc.): Kluwer Academic Publishers.1992
10. Dubayan R.O., Dozier J. Orthographic Terrain Views using Data Derived from Digital Elevation Models. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol.52, Heft Nr. 4
11. Ebner H., Hossler R. Integration von Digitalen Gelaendemodellen in Geoinformationssysteme-Konzept und Realisierung. NaKaVerm, Reihe 1, Heft Nr.105
12. Hurni I. Visualisierung von Geodaten in Multimedia-Anwendungen: Von 2D- zu 3D Anwendungen, Vortrag am Geodatischen Kolloquium. Uni Hannover, 28.April 1998.
13. Fritsch D. Three-Dimensional Geographic Information Systems –Status and Prospects. IAPRS, Vol. XXXI, Part B3.
14. Th. Glatthard, B. Kunzler, M.Tschannen, H. Zimmermann Geo-Informationssysteme und Raumplanung //Vermessung Photogrammetrie Kulturtechnik . Nr.4/2000, s.178-183.
15. Gruen A. Generierung und Visualisierung von 3-D Stadtmodellen. IAPR TC-7 Workshop(Remote Sensing Applications), Graz(Osterreich), 2.-3.September 1996.
16. Zanini M., Carosio A. 3D-Landscape-Modelling and-Visualisation Based on Digital Topographic Maps. In: Proceeding of the 17th International Cartographic Conference(ICC), Barcelona, 3.-9.September 1995