

УДК 528.9 + 528. 74 : 622.1.2

Н.М. Москаль

Національний університет “Львівська політехніка”

ТРЕТІЙ ВИМІР В ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ: ПЕРЕДУМОВИ ТА ШЛЯХИ РЕАЛІЗАЦІЇ

© Москаль Н., 2001

Освещены проблемы и методы проектирования трехмерных геоинформационных систем. Особое внимание уделено геометрической модели и адаптивным структурам данных, а также сформулированы требования к подготовке и актуализации геоданных.

The development of traditional planimetric-oriented GIS into spatial GIS becomes very important for large amount of occupational branches of science. It causes a demand for spatial data models for calculations, analysis and virtualisation. Realisation of multifunctional spatial GIS is a complicated technical and conceptual problem, which demands a lot of money for establishment. Preparation of new spatial-structured data requires especially big financial and time expenses. This article outlines problems and methods of projecting 3D GIS, in particular geometric model of data.

Вступ

Геодезисти і картографи для відображення земної поверхні традиційно використовували і продовжують застосовувати різноманітні плоскі моделі на матеріальних носіях: плани, карти, схеми тощо. В цих моделях часто беруть до уваги лише планіметрію (наприклад на кадастрових планах) або лише альтиметрію (мережа висотних опорних пунктів, перерізи). Проте світ, в якому ми рухаємося і діємо, є тривимірним. Ми самі є тривимірними сутностями і наші просторові уявлення описуються геометрією тривимірних об'єктів. В плоских планіметричних моделях можливе розпізнання деякої висотної інформації, для чого застосовуються спеціальні прийоми – горизонталей, висотних відміток. Але для розв'язання багатьох задач необхідними є наочні аналогові моделі, прикладом яких є випуклий рельєф земної поверхні, мистецьки виготовлений з фольги чи пластику термічним формуванням. Такі моделі ще подекуди застосовуються при плануванні територій і ландшафтів, в будівництві, архітектурі, проектуванні інженерних споруд, військовій справі. Проте їх виготовлення досить складне, а архівація створює проблеми для використання.

Інформаційні засоби і технології звільнили моделювання геоінформації від необхідності застосування матеріальних носіїв. Стало можливим збереження та застосування *цифрових метричних зображень* реальності (електронних карт, планів, аеро- і космічних знімків), котрі в міру потреби можуть бути відображені в ортогональній проекції або в будь-якій перспективній чи іншій віртуальній реальності. Сьогодні розвиток традиційних планіметрично-орієнтованих інструментальних геоінформаційних систем скеровується в напрямку тривимірності. В багатьох фахових галузях, де застосування геоінформаційних систем вже стало звичною справою, появляється масовий попит на тривимірні моделі для візуалізації, розрахунків і аналізу. Потреби в 3D-моделях даних, які з необхідною точністю

враховують планове положення і висоту, та проблеми реалізації універсальної структури геометричної моделі рельєфу і об'єктів земної поверхні активно обговорюються на професійних форумах останніх років* та на сторінках фахових видань. Аналіз публікацій показує, що для всіх країн світу, незалежно від рівня впровадження геоінформаційних технологій, прослідковується спільна тенденція – реалізація повноцінних тривимірних ГІС є в основі комплексною, концептуально та технічно складною, організаційно та фінансово важкою для впровадження проблемою. Спробуємо окреслити найважливіші на сьогоднішній день складові цієї проблеми та можливі шляхи її вирішення.

1. Технічні вимоги та концептуальні засади

Загальновідомо, що функціонування будь-якої геоінформаційної системи залежить від збалансування всіх її компонент: інформаційного, програмно-математичного, технічного та організаційного забезпечення. Очікуваний розвиток ГІС-технологій в напрямку інформаційних систем з просторовою тривимірною системою орієнтації, а в перспективі і з просторово-часовими відношеннями, ставить перед проектувальниками і користувачами високі технічні та організаційні вимоги, які з деяких причин сьогодні можуть бути лише частково виконані.

Першу і найістотнішу вимогу висуває геометрична модель даних. Оскільки сучасне програмне забезпечення інструментальних та фахових ГІС працює з векторними та растровими 2D-моделями відомої структури (наперед заданої для середовища конкретної інструментальної ГІС), то виникає питання: чи необхідність введення третього виміру буде означати необхідність розробки такої ж уніфікованої, жорсткої для всіх видів об'єктів моделі, де третій вимір стане обов'язковою і постійною компонентою, чи виявиться доцільним інший шлях?

Підготовка та підтримка (збереження і актуалізація) даних для будь-якої геоінформаційної системи є основною складовою затрат. Для порівняння, вартість технічних та програмних засобів для обробки інформації на порядок або і декілька порядків нижча від вартості цифрових геоданих. Створення та впровадження для тривимірних геоінформаційних систем концепції єдиної 3D-моделі з уніфікованою жорсткою структурою для всіх типів і видів об'єктів могло б спричинити не завжди виправдане збільшення витрат на придбання даних. Тому джерела та методи підготовки і супроводу даних, вимоги до точності метричної частини моделі, логічна і фізична структура геометричної моделі в кожному конкретному ГІС-проекті повинні бути оптимально відповідні до мети, яку поставлено перед фаховою геоінформаційною системою. Ця концепція видається оптимальною на даному етапі розвитку ГІС-технологій.

Другою очевидною вимогою є необхідність ефективного використання фонду двовимірних даних, що вже нагромаджені і доступні в рамках існуючих 2D-вимірних систем. Це теж стане запорукою поступового і економічно прийняттого розвитку нових ГІС-технологій.

Існуючі моделі даних необхідно узгоджувати з новими, оскільки підготовка чи придбання 3D-структур даних тривалий в часі процес, що вимагає чималих фінансових витрат. З цією метою слід вже зараз сформулювати критерії узгодженості для розробки

* 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.

відповідних конверторів та емуляторів даних, які повинні увійти в склад програмної реалізації тривимірних інструментальних ГІС.

Окрім того, ефективність інтеграції даних залежить також від можливостей обміну, аналізу та модернізації інформації, наявної в різних системах, незалежно від місцевих, регіональних і національних кордонів. Сучасному етапу розвитку ГІС-технологій характерна міжнародна кооперація з метою підготовки та використання дорогих геоданих в галузях наукових досліджень, господарського використання природних ресурсів, моніторингу за станом оточуючого середовища. З 1991 року європейська група стандартизації CEN/TC 287 розробляє орієнтовані на майбутнє стандарти геоінформації. В 1994 році розпочато міжнародну координацію в рамках проекту ISO/NC211 в галузі “Географічна інформація/геоматика” за напрямками концептуальна мова схем (CSL), просторова схема, обробка зображень, декодування [1]. Отже, Європа з її традиційно ведучою позицією в геодезичних науках, найближчим часом запровадить єдині стандарти і формати даних.

Третім важливим аспектом проектування 3D геоінформаційних систем залишається проблема реалізації інтелектуальної візуалізації.

В інформаційних системах для відображення цифрових даних на екрані монітора спеціальні модулі програмного забезпечення комбінуючи різні типи даних генерують візуалізаційні моделі. Такий процес дає можливість відтворювати 3D-синтетичні пейзажі та мультиплікацію (введення четвертого виміру – часу) тобто створювати віртуальний світ. Здавалося б ця проблема технічно вирішена, що можна спостерігати в різного роду комп’ютерних іграх. Проте для використання віртуального світу в ГІС необхідно в кожному конкретному випадку реалізації забезпечувати відповідну точність візуалізаційної моделі. Тому йдеться про реалізацію методів інтегрованої тривимірної комп’ютерної інтерпретації векторних і растрових топографічних карт, цифрових моделей рельєфу (ЦМР) та реконструкції логічних даних із метричних фотознімків методами обробки зображень.

На сьогоднішній день важко назвати відомий комерційний інструментальний геоінформаційний пакет програм, який би в повному об’ємі поєднував зазначені методи. З огляду на це видається важливим проектувати технологічні схеми, які би поєднували різні види доступного спеціалізованого програмного забезпечення з метою інтелектуальної візуалізації. Прикладом розробки теоретичних засад та практичної реалізації таких методів можуть служити спеціалізовані пакети програм KAMU та RaVis[2 – 6]. Але ці пакети працюють лише з окремими структурами ЦМР та форматами цифрових растрових зображень.

Четверта вимога – забезпечення можливості створення і підтримки інтегрованих баз геоданих.

Впроваджені в практику інформаційні моделі базуються на реляційній концепції даних як способі фізичного представлення в пам’яті векторної геометричної моделі. Однак потужний розвиток методів обробки зображень, які вже здатні забезпечувати автоматичне розпізнаванн всіх типів об’єктів з прийнятною точністю, зумовлює те, що ключову роль в геоінформації найближчого майбутнього відіграватимуть растрові дані та 3D-об’єкти. Фахові геоінформаційні системи вже націлені на придбання і обробку цих типів даних, а в інструментальних ГІС простежується реалізація концепцій і технологій для інтегрованого управління ними.

Тому надзвичайно актуальним і важливим предметом досліджень стає напрямок розвитку моделей даних і технологій баз даних, що підтримують ефективне керування складними та великими за об'ємом необхідної пам'яті та складними просторовими об'єктами. Наприклад, високої роздільної здатності цифровими аеро- і космічними знімками та растровими мозаїками, складними структурами просторових 3D об'єктів-тіл. Тут необхідне поєднання фахових знань та навиків спеціалістів різних галузей з підготовки і опрацювання цифрових растрових даних (фотограмметрія), просторового моделювання (ГІС, фотограмметрія), управління та збереження даних (СУБД), просторового опрацювання і аналізу (ГІС, обчислювальна геометрія та просторовий аналіз). Для успішної реалізації та швидкого впровадження ГІС-проектів в практику необхідно вже сьогодні висвітлювати та викладати ці аспекти ГІС-технологій студентам відповідних фахових напрямків.

Підсумовуючи вищесказане, бачимо, що розвиток геоінформаційних технологій в напрямку тривимірності вимагає вирішення двох основних проблем:

- проектування оптимальної структури геометричної моделі даних для геоінформаційної системи
- розробки та програмної реалізації методів підготовки нових 3D-даних і технологій для сумісного використання із існуючим фондом 2D-даних.

Розглянемо можливості та особливості реалізації цих проблем, детальніше зупиняючись на задачі побудови моделі даних.

2. Геометричні і тематичні моделі в тривимірних геоінформаційних системах

Реалізовані в сучасних інструментальних геоінформаційних системах та впроваджені в практику інформаційні моделі базуються на реляційній концепції даних і складаються з геометричної моделі та атрибутивної (описової) компоненти бази даних.

Геометрична модель, котра враховує метричні і топологічні характеристики об'єктів земної поверхні, має заздалегідь визначену структуру (наприклад, векторно-топологічна лінійно-вузлова так звана *arc-node-model* даних в ArcInfo) і не може бути модифікована в рамках інструментарію, що використовується для створення моделі.

Сучасні двовимірні інструментальні ГІС поділяють базові геометричні елементи картографічного зображення на точки, лінії та площини і, залежно від функціональної повноти та гнучкості САД-модуля, дають змогу застосовувати різні типи ліній (прямі, криві, згладжені криві) або види площ (суцільна замкнена область, площа з отворами або розділена на ділянки). Отже, розширення в третій вимір можна реалізувати через суто геометричні сутності, для чого слід “лише” до основних базових елементів (точок, ліній і полігонів) додати нові елементи – тіла (рис. 1).

Тематична частина реляційної моделі (описові дані) не є прямо пов'язана з кількістю вимірів в геометричній моделі. Отже, вона може структуруватися та модифікуватися як послідовність значної кількості різноманітних атрибутів, кожний з яких представляється полем у фізичній моделі реляційної бази даних проекту (рис.1). Наприклад, для лінійного елемента карти “дорога” атрибутами можуть бути: вид, тип покриття, ширина, номер в атласі доріг тощо.

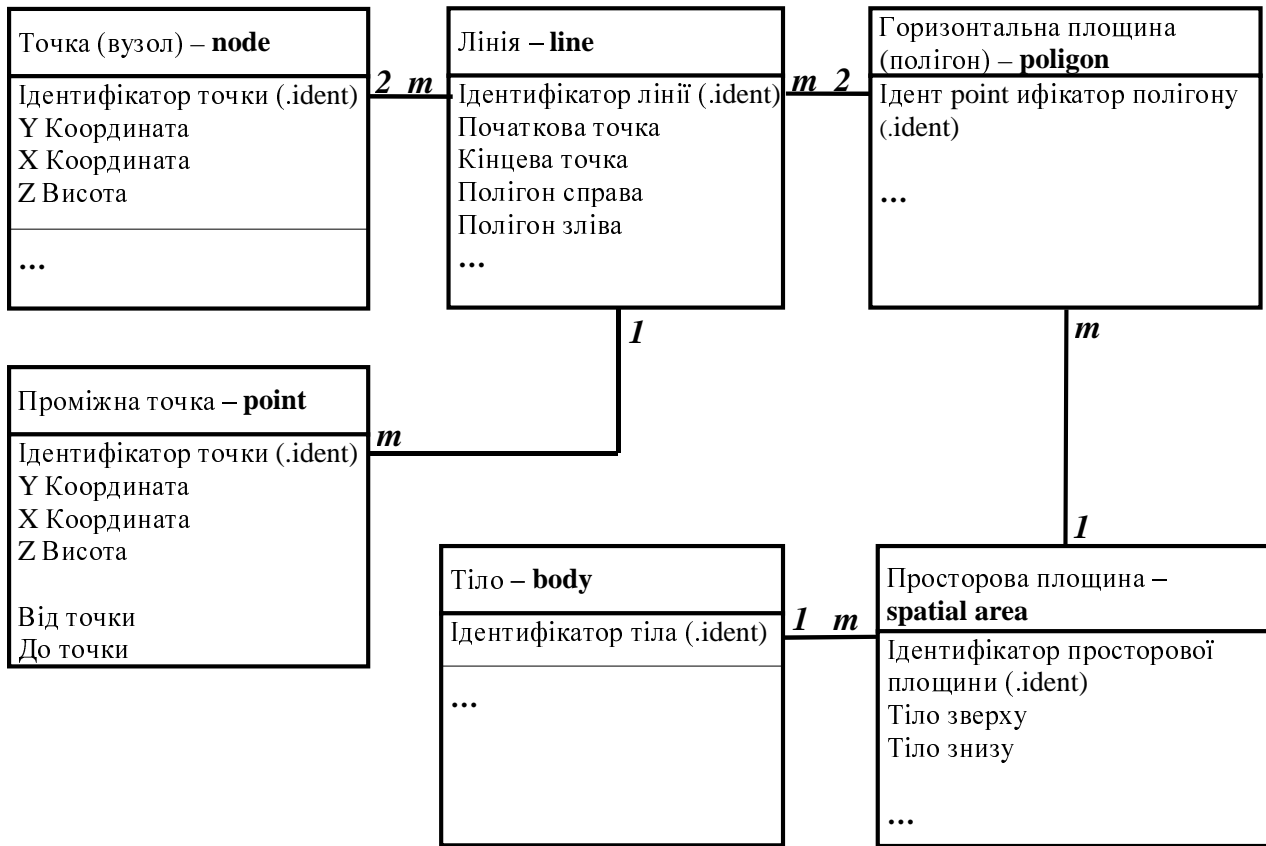


Рис. 1. Геометрична модель для тривимірної ГІС

(Зв'язок **1_m** відображає відношення “один до багатьох”; (...) – показують, що кожний із елементів геометричної моделі може мати тематичну складову – описові дані; **.ident** (унікальний ідентифікатор) – поле, яке створюється для всіх базових елементів моделі даних і використовується для встановлення зв'язків між атрибутивними таблицями геометричної та описової компонент моделі)

Проблема моделювання тривимірної геоінформації не обмежується лише виробленням концептуальних засад 3D-геометричного моделювання. Задаючись питаннями типу: “Яким є геометричний вимір адміністративного району в плані і за висотою?”, “Що таке кадастрова ділянка в тривимірному просторі?”, – тут же усвідомлюємо, що не всі елементи реальності в нашому сприйнятті є точно розмежовані за висотою (глибиною). А це означає, що геометричне розширення ГІС-технологій в третій вимір доцільне і можливе тільки для тих об'єктів, які можна однозначно визначити просторово. Ефективне і економічно вигідне вирішення проблеми управління тривимірними моделями для таких об'єктів можна досягнути, використовуючи адаптивні структури даних.

3. Адаптивні структури даних

Такі структури базуються на 2D основі і тільки в міру необхідності враховують висотну і об'ємну інформацію – 3D-тіла.

Двовимірні компоненти геометричної моделі можуть і надалі представлятись та використовуватись так, як у традиційних планіметричних ГІС, а висоти земної поверхні подаються у вигляді цифрової висотної моделі рельєфу (ЦМР) з регулярним або нерегулярним кроком. В цьому випадку появляється можливість розраховувати висоту для будь-якої точки 2D-геометричної моделі з використанням спеціальних алгоритмів опрацювання ЦМР.

Двовимірні компоненти представляються у відповідних структурах і форматах, а 3D об'єкти-тіла, які мають наперед визначену форму можуть описуватись так:

- а) повноцінною тривимірною моделлю (повноцінні вузли, сторони, грані і моделі-тіла);
- б) бути збудовані з CAD-елементів (наприклад із DXF-файлів рисунків);
- в) бути орієнтовані на потреби віртуальної реальності (спроектовані засобами мови VRML).

Структура 3D-об'єктів може бути дуже простою (призматична модель) або допускати будь-яку форму тіла (рис. 2). В разі потреби можна реалізувати їх комбінацію, оптимально застосовуючи при цьому різні системи координат для компонент моделі і продовжуючи використання методів та інструментів, які цього часу застосовувалися геоінформаційній системі.



Рис. 2. Тривимірні адаптивні моделі з необхідною градацією деталізації

Умовою використання адаптивних структур даних є підтримка сумісності між дво- і тривимірною інформацією. Наприклад, креслення (2D-план) фундаменту будинку повинно бути базовим кресленням в 3D-тілі будинку і тому генералізацію окремих елементів моделі слід проводити, не вносячи розбіжностей. Це може викликати деякі незручності під час спільної роботи різних груп користувачів ГІС і тому вимагатиме розробки процедур, що забезпечують розмежування та регламентацію доступу до даних для роботи в режимі реального часу.

Адаптивні структури даних повинні сприяти поступовому переходу від існуючих двовимірних ГІС до нових повноцінних тривимірних моделей. На певному етапі існуюче програмне забезпечення для ГІС і для цифрових моделей поверхні (ЦМП) може використовуватися і надалі, але функції управління і операції в 3D-аналізі вимагають розробки нових програмних компонентів.

4. Вимоги до точності

Адаптивне моделювання тривимірних об'єктів має велике значення, особливо, коли вимоги до точності геометричної інформації є різними в плані і за висотою.

Інколи висотна компонента може бути визначена зі значно нижчою точністю, ніж горизонтальне положення. Наприклад, визначення місцеположення зелених насаджень в горизонтальній площині проводиться з сантиметровою точністю і їх положення мало змінюється упродовж десятиліть, а висота ж дерев, зрозуміло, є змінною. Висота дерева варіює до метра, тому в цьому випадку допустима метрова точність. Конкретні вимоги до точності ставлять відповідні вимоги до моделювання. В нашому прикладі для плану важливим буде близьке до реального окреслення об'єктів, а для вертикального відображення достатньою може бути адаптивна призматична модель.

Вимоги до точності геометрії, зумовлені вимогами до її метричної компоненти, базуються, як правило, на відомих класичних методах геодезії. Вони достатньо досліджені для різних практичних задач і описані в літературі. Але питання про те, як можна сфор-

мулювати вимоги до точності іншої ГІС-інформації – топології та тематики, залишається відкритим. Навіть регламентація вимог до точності цифрової моделі поверхні наштовхується на відсутність загальноновизнаних універсальних критеріїв для дискретизації вимог щодо точності даних. І це при наявності широкого кола дослідників і досліджень проблематики, пов'язаної з цифровим моделюванням рельєфу.

Невирішеною залишається також проблема поширення помилок під час застосування і аналізу геоінформації, а також визначення критеріїв для регламентування показників точності на кожному етапі обробки даних. Ці питання повинні стати предметом сьогоднішніх досліджень.

5. Підготовка та актуалізація даних

В кожній геоінформаційній системі необхідні інвестиції для збору і підготовки даних для найважливіших компонент. Перехід від загальноновідомих двовимірних геометричних моделей до тривимірних або частково тривимірних об'єктів (як в адаптивних моделях) пов'язаний з ускладненням моделі і значним збільшенням коштів. В цій ситуації дуже важливо і вигідно значну частину необхідної інформації взяти з існуючих фондів даних. Цього можна досягнути різними способами.

В класичних задачах, в яких планіметрія стоїть на першому місці, часто нехтують висотою, аби здешевити вартість вимірювальних робіт. І все-таки можна знайти або витлумачити достатню кількість висотної інформації, використовуючи планіметричне кодування (умовні позначення на картах, планах) та досвід.

Наприклад, із застосуванням відомих алгоритмів можуть бути реконструйовані 3D-форми земної поверхні з горизонталей і відміток на карті. Із двовимірної геоінформації, використовуючи умовні позначення на карті, також можна здобути дані про висоти, оскільки з досвіду більш-менш точно відомо, якими є тривимірні характеристики багатьох географічних елементів. Наприклад, якщо відомий планіметричний хід лижного підйомника, то відомо також, що канатна дорога повинна проходити не більше як 10 метрів над землею. Відображення будинку на карті або в 2D-ГІС означає для галузі цивільного будівництва, що висота будівлі найімовірніше може бути від 5 до 20м.

Збір даних з висотною інформацією здійснюється також і поза галуззю топографічного знімання: описи місць з відомою висотою над рівнем моря, статистика будівель про кількість поверхів, служби повітряного сполучення мають відомості про висоту антен і мачт тощо.

Отже, якщо для розв'язання задач важливою є 3D-візуалізація і достатньою може бути наближена оцінка, то не потрібно виконувати спеціальний збір метричних висотних даних про об'єкти. Тлумачення або припущення з використанням вже існуючої інформації робить використання третього виміру в геоінформаційній системі доступним із прийнятною вартістю. Це стосується і актуалізації даних, оскільки підтримка належить до основних факторів витрат.

6. Використання даних тривимірних ГІС

Перехід від дво- до тривимірного ГІС-моделювання відкриває можливості, які мають велике господарське значення. Візуалізація як у крупних (спеціальне топографічне знімання), так і в дрібних масштабах (1:20000, 1:500000) широко застосовується в територіальному плануванні, військовій підготовці (тренажери), туристичній справі, де вже зараз знаходимо багато прикладів наочно відображених тривимірних геоданих.

Картографія найближчого майбутнього під час виготовлення буде повністю цифровою. А це дасть можливість використання цифрових продуктів з тенденцією орієнтації на

мультимедія та віртуальну реальність і інструмент для різноманітних досліджень, які з певних причин неможливо проводити в реальних умовах.

Тривимірні геоінформація пропонує також нові перспективи в просторовому аналізі. Запити про об'єми існуючої забудови в регіоні, масу виїмки копалин, кількість витікаючої води і шляхи витоку вод під час грози та повені, видимість і тінь є лише окремими прикладами аналізу, який вже частково застосовується в просторовому плануванні, землекористуванні, будівництві, аналізі екстремальних ситуацій і багатьох інших сферах.

Висновки

Тривимірні ГІС відкривають широкі можливості у використанні метричної графічної інформації. Для їх реалізації необхідно виконання двох умов: тривимірні геометричні моделі даних повинні бути розвинені як концепція, а програмні ГІС-інструменти функціонально розширені в напрямку інтегрованої комп'ютерної тривимірної інтерпретації векторних і растрових топографічних карт, цифрових моделей рельєфу та 3D-об'єктів тіл.

Підготовка та пошук геоданих для розширення в 3D-область вимагає значних інвестицій. Ефективне використання фонду даних, що вже нагромаджені в рамках існуючих систем, та застосування адаптивних моделей для тривимірних об'єктів, які базуються на двовимірній основі, сприятиме поступовому і оптимальному, з фінансового погляду, переходу до нових геометричних моделей даних в ГІС.

Використання тривимірної інформації і поєднання 3D-геометрії із значною кількістю тематичних компонент буде найближчим часом користуватись великим попитом в різних сферах, де інструментом досліджень та прийняття рішень є просторовий аналіз. Тому першочерговими дослідженнями для ГІС індустрії слід вважати: формулювання нових критеріїв точності метричної та тематичної компонент геометричної моделі; регламентація вимог до точності представлення цифрової моделі поверхні; вирішення проблеми поширення помилок та встановлення вимог до показників точності на кожному етапі обробки даних, особливо для забезпечення якості функцій просторового аналізу.

Для двовимірних ГІС-технологій необхідним був певний час, щоб вони сформувалися як незамінний інструмент в багатьох галузях. Через декілька років ми будемо розглядати як звичайне явище застосування тривимірних геоінформаційних систем.

1. *International Standardisation of Geographic Information Exchange* H.R. Gnagi, M. Plazibat, Prof. Dr. F. Golay, EPFL, J. Dorfschmid, Adasys AG, F. Grin, GS, Dr. E. Gubler, L+T, Dr. R. Humbel, BfS, S. Keller, V+D, H. Thalmann, a/m/t. Research Report 1998. WG 01.46. Swiss Federal Institute of Technology, Zurich. 2. *Department of Geodetic Sciences. Research Report 1998. WG 01.51 Raster-GIS – Integration of Raster Images and 3D-Objects into Geodatabases* Report no. 2 Heads: Prof. Dr. A. Carosio, Prof. Dr. A. Gruen, Prof. Dr. H. J. Schek (D-INF). 3. *Department of Geodetic Sciences. Research Report 1998. WG 01.44. Quality Restoration of Cartographic Symbology* Report no. 6 Head: Prof. Dr. A. Carosio Member: St. Frischknecht, M. Pfund. ETHZ, Zurich. 4. Frischknecht S., Kanani E., Carosio A., 1998: *A Raster-Based Approach for the Automatic Interpretation of Topographic Maps. ISPRS Commission III Symposium: Object Recognition and Scene Classification from Multispectral and Multisensor Pixels. Columbus/Ohio, 6.-10.7.1998. IAPRS Vol. 32, Part 3/2 "Object Recognition and Scene Classification from Multispectral and Multisensor Pixels". Columbus/Ohio, 6.-10.7.1998.* 5. Gruen, A.: *Generierung und Visualisierung von 3-D Stadtmodellen. IAPR TC-7 Workshop (Remote Sensing Applications), Gray (Osterreich), 2.-3. September 1996.* 6. *Rasterbasierte Erneuerung der Kartenschrift digitaler topographischer Karten. Publications reports 1998.. IGP-Bericht Nr. 275, Februar 1998.*