

УКРАЇНА

UKRAINE



ПАТЕНТ

НА ВИНАХІД

№ 86804

**СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ ПРОСТОРОВОЇ РОЗРІЗНЕННОСТІ  
НАЗЕМНИХ ГЕОФІЗИЧНИХ ДАНИХ**

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на винаходи  
25.05.2009.

Голова Державного департаменту  
інтелектуальної власності

М.В. Паладій



(19) UA

(51) МПК (2009)  
G06F 19/00  
G01V 11/00  
G01V 8/00  
G01V 3/38

(21) Номер заявки: а 2006 11997

(22) Дата подання заявки: 14.11.2006

(24) Дата, з якої є чинними  
права на винахід: 25.05.2009(41) Дата публікації відомостей  
про заявку та номер  
бюлетеня: 26.05.2008,  
Бюл.№ 10(46) Дата публікації відомостей  
про видачу патенту та  
номер бюлетеня: 25.05.2009,  
Бюл. № 10

(72) Винахідники:

Попов Михайло Олексійович  
(UA),  
Станкевич Сергій  
Арсенійович (UA),  
Седлерова Ольга  
Володимирівна (UA)

(73) Власник:

ДЕРЖАВНА УСТАНОВА  
НАУКОВИЙ ЦЕНТР  
АЕРОКОСМІЧНИХ  
ДОСЛІДЖЕНЬ ЗЕМЛІ  
ІНСТИТУТ ГЕОЛОГІЧНИХ  
НАУК НАН УКРАЇНИ

(54) Назва винаходу:

СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ ПРОСТОРОВОЇ РОЗРІЗНЕННОСТІ НАЗЕМНИХ ГЕОФІЗИЧНИХ ДАНИХ

(57) Формула винаходу:

Спосіб підвищення просторової розрізненності наземних геофізичних даних, за яким одержують геофізичні дані для геологічного регіону, що досліджується, геофізичні дані інтерполують, наносять на регулярну просторову сітку, одержують додаткові наземні геофізичні дані для розширеного геологічного регіону, встановлюють аналітичну або статистичну залежність між геофізичними даними геологічного регіону, що досліджується, та розширеного геологічного регіону, за цієї залежністю обчислюють значення геофізичних даних у проміжних точках регулярної сітки в межах геологічного регіону, що досліджується, який відрізняється тим, що додатково одержують багатоспектральні дистанційні дані більш високої, ніж наземні геофізичні дані, просторової розрізненності, які просторово узгоджують з наземними геофізичними даними та шляхом десемплінгу перетворюють на багатоспектральні дистанційні дані низької просторової розрізненності, за допомогою математичних методів обробки встановлюють аналітичну або статистичну залежність між багатоспектральними дистанційними даними та наземними геофізичними даними та відновлюють додаткові геофізичні дані, які разом із наземними геофізичними даними утворюють геофізичні дані підвищеної просторової розрізненності.

G01V 038  
G01V 010  
G01V 130  
G01V 190  
G01V 200

Пронумеровано, прошито металевими люверсами та скріплено печаткою 2 арк.  
25.05.2009

Уповноважена особа



(підпис)

наземних геофізичних даних, одержання яких навіть для невеликих регіонів земної поверхні є складною та витратною задачею, тому кількість відліків  $i$ , відповідно, просторова розрізненість геофізичного знімання завжди обмежується, а її підвищення є дуже бажаним. Зазвичай пошукові геологічні об'єкти мають розмір одиниць кілометрів, що висуває підвищені вимоги до просторової розрізненості геофізичних даних, які використовуються для прогнозу структур (нафтогазових, рудноносних) по площі [7].

Для підвищення просторової розрізненості наземних геофізичних даних запропоновано багато способів. До них відносяться сумісне оброблення даних від декількох вимірювачів [8] (по аналогії з інтерферометричними вимірюваннями в радіотехніці та оптиці), аналіз поляризації геофізичних сигналів [9] (по аналогії з поляризаційними вимірюваннями в радіотехніці та оптиці), тощо.

Недоліками таких способів є необхідність вимірювання додаткових характеристик геофізичних даних, що потребує додаткового вимірювального обладнання та істотно ускладнює систему геофізичного знімання. Крім того, застосування таких способів неможливо до вже існуючих масивів геофізичних даних.

Часто для підвищення просторової розрізненості геофізичних даних використовуються різноманітні математичні методи - інтерполяція сплайнами або іншими аналітичними функціями, апроксимація методом обернено-зважених відстаней або йому подібними, статистичний кригінг, тощо [10].

Недоліками таких способів є неадекватність фізичним характеристикам земних утворень, принципова неможливість виявлення об'єктів, менших за просторову розрізненість вхідного масиву даних. Власне, способи аналітичної інтерполяції неможливо вважати такими, що підвищують просторову розрізненість, скоріше це способи формального узгодження наборів просторових даних.

Відомий спосіб побудови та уточнення анізотропних моделей для візуалізації глибинних сейсмічних даних (аналог - United States Patent No 6 864 890, 2005), за яким одержуються результати сейсмічних вимірювань для різних географічних місць геологічного регіону, що досліджується, визначається початкова нееліптична геосейсмічна модель геологічного регіону, що досліджується, в кожній точці вимірювань обчислюються нев'язки між результатами вимірювань та даними, що надає модель, за цими нев'язками уточнюється просторовий розподіл нееліптичних параметрів геосейсмічної моделі, процес уточнення параметрів моделі ітераційно повторюється до досягнення заданого припустимого максимуму нев'язок, по завершенні ітераційного процесу одержується анізотропна геосейсмічна модель геологічного регіону, що досліджується [11]. Тепер за допомогою прикінцевої моделі стає можливим визначити глибинні сейсмічні дані в довільній точці геологічного регіону, що досліджується, тобто підвищується просторова розрізненість геосейсмічних даних.

Недоліками вказаного способу є пристосованість виключно для геосейсмічних вимірювань,

необхідність наявності складної та правдоподібної початкової геосейсмічної моделі геологічного регіону, що досліджується, негарантованість збіжності ітераційного процесу уточнення параметрів моделі, дуже великі обчислювальні витрати.

Найбільш близьким до способу, що пропонується (прототип - United States Patent No 7 043 366, 2006), є спосіб підвищення просторової розрізненості одно- та двовимірних потенціальних поверхонь, одержаних на основі скалярних геофізичних даних, за яким відповідними методами одержуються скалярні геофізичні дані для різних географічних місць геологічного регіону, що досліджується, ці геофізичні дані інтерполюються, наносяться на регулярну просторову сітку і таким чином описують одно- чи двовимірну потенціальну поверхню, визначається додатковий розширений геологічний регіон, який повністю містить у собі геологічний регіон, що досліджується, та перевищує останній в декілька разів, відповідними методами одержуються такі ж скалярні геофізичні дані для різних географічних місць розширеного геологічного регіону, ці геофізичні дані інтерполюються, наносяться на регулярну просторову сітку і таким чином описують розширення одно- чи двовимірної потенціальної поверхні, за допомогою відомих математичних методів будується аналітична або статистична залежність між геофізичними даними в межах геологічного регіону, що досліджується, та всередині розширеного геологічного регіону, на основі цієї залежності обчислюються значення одно- чи двовимірної потенціальної поверхні в проміжних точках регулярної сітки в межах геологічного регіону, що досліджується та тим самим підвищується просторова розрізненість цієї одно- чи двовимірної потенціальної поверхні, причому ступінь підвищення просторової розрізненості залежить від співвідношення геометричних розмірів розширеного геологічного регіону та геологічного регіону, що досліджується [12].

Недоліком вказаного способу є можливі неточності, обумовлені розбіжностями геологічної будови всередині геологічного регіону, що досліджується, та за його межами. Така обставина дозволяє застосовувати цей спосіб для підвищення просторової розрізненості гравіметричних даних, як й наведено в описі винаходу, тому що гравітаційне поле підкоряється принципу суперпозиції, і може привести до великих помилок, якщо мова ведеться про інші геофізичні дані. Другим недоліком способу, який обрано за прототип, є потреба у великому обсязі додаткових відліків геофізичних даних, кількість яких в кілька разів перевищує кількість відліків в межах геологічного регіону, що досліджується. Оскільки на практиці саме одержання первинних відліків даних є найбільш складною та витратною процедурою геофізичного знімання, то більш доцільним здається його проведення саме в межах геологічного регіону, що досліджується. Це дозволить при однакових витратах підвищити просторову розрізненість шляхом прямих вимірювань.

Дистанційне знімання є більш дешевим і безпечним більш високу просторову розрізненість, ніж наземне геофізичне знімання. Залучення да-

них багатоспектрального дистанційного знімання надає опосередковану додаткову інформацію порівняно високої просторової розрізненості про геофізичні особливості геологічного регіону, що досліджується [13]. Багатоспектральні дистанційні дані можна використовувати для підвищення просторової розрізненості наземних геофізичних даних, при цьому обидва недоліки способу, який обрано за прототип, скасовуються.

Нехай є двовимірний просторово регуляризований масив  $G(i, j)$  скалярних геофізичних даних низької просторової розрізненості  $dg$  для геологічного регіону, що досліджується, та дискретне багатоспектральне дистанційне зображення  $X(k, r, \lambda)$  високої просторової розрізненості  $dx$  того ж самого регіону. Якщо  $dx \ll dg$ , можливо узгодити просторові розрізненості обох наборів даних шляхом десемплінгу (проріджування) багатоспектрального зображення  $X(r, k, \lambda)$  високої просторової розрізненості до багатоспектрального зображення  $Z(i, j, \lambda)$  низької просторової розрізненості,  $dz = dg$  в точках набору геофізичних даних. Після просторового узгодження наборів геофізичних та дистанційних даних стає можливим побудувати за допомогою відомих математичних методів аналітичну або статистичну залежність  $f(G)$  між ними:

$$f: G(i, j) \rightarrow Z(i, j, \lambda), \forall i, j. \quad (1)$$

До таких математичних методів відносяться лінійна або нелінійна регресія [14], багато різновидів інтерполяції, різноманітні способи ортогоналізації та факторизації [15], теоретико-множинні перетворення [16] тощо. Для способу, що пропонується, вибір конкретного методу встановлення залежності (1) не є принциповим.

Теоретичним обґрунтуванням існування вказаної залежності є визнаний факт [17] глибинної (тектонічної) обумовленості сучасної морфології земної поверхні, елементів ландшафту та геодинамічних процесів, що фіксуються на багатоспектральному зображенні. В більшості випадків формування морфології ландшафтних елементів та ерозійних форм, розвиток течій, формування полів фітопланктону і таке інше підпорядковане неотектонічним рухам, а форми, структура і текстура об'єктів є результатом їх прояву.

Знайдену аналітичну або статистичну залежність  $f(G)$  можна використати для відновлення геофізичних даних за дистанційними в тих точках багатоспектрального зображення високої розрізненості, що не відповідають точкам вхідного набору геофізичних даних:

$$H(r, k) = f^{-1}[X(r, k, \lambda)], r, k \neq i, j \quad (2)$$

де  $H(r, k)$  - набір відновлених геофізичних даних.

Вхідний  $G(i, j)$  та відновлений  $H(r, k)$  набори геофізичних даних разом складають двовимірний масив  $G(i, j) \cup H(r, k)$  скалярних геофізичних даних підвищеної просторової розрізненості, причому ця просторова розрізненість дорівнює просторовій розрізненості  $dx$  дискретного багатоспектрального дистанційного зображення. Ступінь підвищення просторової розрізненості  $n$  визначається співвідношенням просторової розрізненості багатоспектральних дистанційних даних  $dx$  та наземних геофізичних даних  $dg$  як

$$n = \frac{dx}{dg} \quad (3)$$

Запропонований спосіб концептуально схожий з відомими способами підвищення просторової розрізненості багатоспектральних дистанційних зображень шляхом сумісного їх оброблення з панхроматичним зображенням високої розрізненості однієї і тієї ж сцени - різними варіантами *raresharpening* - на основі перетворень в кольоровому просторі, *вейвлет-перетворень*, максимуму апостеріорної інформації, перетворення Грама-Шмідта, тощо [18, 19], але являє собою їх інвертування.

Таким чином, пропонується новий спосіб підвищення просторової розрізненості наземних геофізичних даних на основі сумісного їх оброблення з багатоспектральними дистанційними даними високої просторової розрізненості. Необхідну послідовність операцій способу показано на Фіг.1.

Одержуються скалярні геофізичні дані низької просторової розрізненості (1) для різних географічних місць геологічного регіону, що досліджується. Ці геофізичні дані просторово регуляризуються (2). Регуляризовані геофізичні дані (3) просторово узгоджуються (4) з одержаними багатоспектральними дистанційними даними високої просторової розрізненості (5), які шляхом десемплінгу (прорідження) (6) перетворюються на багатоспектральні дистанційні дані низької просторової розрізненості (7). Далі за допомогою відомих математичних методів згідно формули (1) встановлюється (8) аналітична або статистична залежність (9) між десемпльованими багатоспектральними дистанційними даними (7) та регуляризованими геофізичними даними (3). Користуючись цією залежністю (9), за формулою (2) відновлюються (10) додаткові скалярні геофізичні дані, які разом із регуляризованими геофізичними даними (3) та багатоспектральними дистанційними даними високої просторової розрізненості (5) складають скалярні геофізичні дані підвищеної просторової розрізненості (11), причому їх просторова розрізненість дорівнює просторовій розрізненості багатоспектральних дистанційних даних.

Таким чином, в запропонованому способі викладено послідовність операцій для підвищення просторової розрізненості наземних геофізичних даних низької просторової розрізненості з використанням багатоспектральних дистанційних даних високої просторової розрізненості, який дозволяє врахувати фізичні характеристики геологічного регіону, що досліджується, і тим самим покращити якість їх наступного аналізу, а також значно скоротити витрати на підвищення просторової розрізненості наземних геофізичних даних.

#### Література

1. Кири П., Брукс М. Введение в геофизическую разведку: Пер. с англ. - М.: Мир, 1988. - 382с.
2. Sandjiv L. Method for determining a spatial quality index of regionalized data / United States Patent No 6,807,513. - October 19, 2004. - 9p.
3. Stark T.J. System for information extraction from geologic time volumes / United States Patent No 6,853,922. - February 8, 2005. - 35p.

4. Chavarria J.A., Routh P.S., Kisabeth J.L., Jorgensen G.J. Modeling gravity and tensor gravity data using Poisson's equation for airborne, surface and borehole applications / United States Patent 6,993,433. - January 31, 2006. - 19p.

5. Drummond B.L., Rahman T.F. Method and apparatus for performing image process of seismic data / United States Patent No 6,885,946. - April 26, 2005. - 30p.

6. Foody G.M. Sub-pixel methods in remote sensing // Remote sensing image analysis: including the spatial domain / de Jong S.M., van der Meer F.D. (eds.). - Dordrecht: Kluwer, 2004. - P.37-49.

7. Островский Э.Я., Урсул А.А., Конторович Р.С. Целевой прогноз как принцип рационального комплексирования результатов геоизмерений // Советская геология, 1984. - №11. - С.33-40.

8. Tang X., Zhang T. Method for enhancing resolution of earth formation elastic-wave velocities by isolating a wave event and matching it for all receiver combinations on an acoustic-array logging tool / United States Patent No 6,477,112. - November 5, 2002. - 9p.

9. Winterstein D.F. Method of layer stripping to predict subsurface stress regimes / United States Patent No 5,060,203. - October 22, 1991. - 19p.

10. Гаркуша И.Н., Бусыгин Б.С. Пространственная интерполяция на основе методов обратновзвешенных расстояний и радиальных базовых функций // Науковий вісник національного гірничого університету, 2006. - №3. - С.44-52.

11. Meek R.A., Anno P.D. Method of building and updating an anisotropic velocity model for depth imaging of seismic data / United States Patent No 6,864,890. - March 8, 2005. - 9p.

12. McDermott A.M. Method for enhancing depth and spatial resolution of one and two dimensional

residual surfaces derived from scalar potential data / United States Patent No 7,043,366. - May 9, 2006. - 12p.

13. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування / За ред. В.І. Лялька і М.О. Попова. - Київ: Наукова думка, 2006. - 360с.

14. Бабаянц П.С., Блох Ю.И., Трусов А.А. Методология интерпретации потенциальных полей при изучении кристаллического основания платформ // Материалы Международного семинара "Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей". - Ч.1. - М: ОИФЗ РАН, 2003. - С. 16-17.

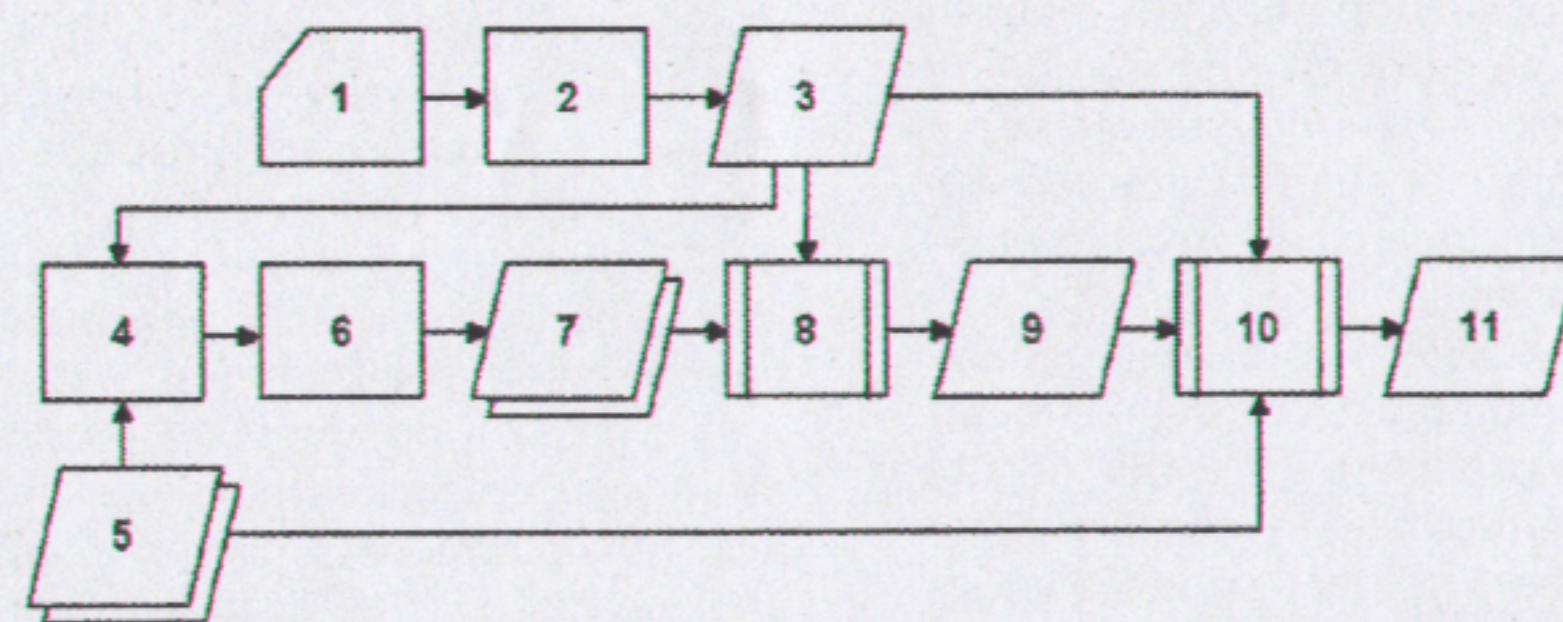
15. Страхов В.К., Тетерин Д.Е. Линейные трансформации гравитационных и магнитных аномалий в случае многоэлементных съемок при произвольных сетях наблюдения // Доклады АН СССР, 1991. - Т.318. - №3. - С.572-576.

16. Sundareshan M.K., Bhattacharjee S. Hybrid Bayesian and convex set projections algorithms for restoration and resolution enhancement of digital images // Applied Optics, 2002. - Vol. 41. - P.7464-7474.

17. Космическая информация в геологии / Под ред В.Г.Трифоновой. - М.: Наука, 1983. - 534с.

18. Yuen P.W. Enhancing the resolution of multispectral image data with panchromatic image data using super resolution pan-sharpening / United States Patent No 5,949,914. - September 7, 1999. - 15p.

19. Laben CA., Brower B.V. Process for enhancing the spatial resolution of multispectral imagery using pan-sharpening / United States Patent No 6,011,875. - January 4, 2000. - 8p.



Фиг.1

Комп'ютерна верстка М. Ломалова

Підписне

Тираж 28 прим.

Міністерство освіти і науки України

Державний департамент інтелектуальної власності, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ - 42, 01601



УКРАЇНА

(19) UA (11) 86804 (13) C2

(51) МПК (2009)

G06F 19/00

G01V 11/00

G01V 8/00

G01V 3/38

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

(54) СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ ПРОСТОРОВОЇ РОЗРІЗНЕННОСТІ НАЗЕМНИХ ГЕОФІЗИЧНИХ ДАНИХ

1

2

(21) а200611997

(22) 14.11.2006

(24) 25.05.2009

(46) 25.05.2009, Бюл.№ 10, 2009 р.

(72) ПОПОВ МИХАЙЛО ОЛЕКСІЙОВИЧ, UA, СТАНКЕВИЧ СЕРГІЙ АРСЕНІЙОВИЧ, UA, СЕДЛЕРОВА ОЛЬГА ВОЛОДИМИРІВНА, UA

(73) ДЕРЖАВНА УСТАНОВА НАУКОВИЙ ЦЕНТР АЕРОКОСМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗЕМЛІ ІНСТИТУТ ГЕОЛОГІЧНИХ НАУК НАН УКРАЇНИ, UA

(56) UA 63073, 15.01.2004

SU 1790771, 23.01.1993

RU 2064240, 27.07.1996

US 7043366, 23.12.2004

US 6995946, 26.04.2005

US 6853922, 30.01.2003

US 6807513, 28.08.2003

EP 0254325, 27.01.1988

WO 9705558, 13.02.1997

(57) Спосіб підвищення просторової розрізненості наземних геофізичних даних, за яким одержують геофізичні дані для геологічного регіону, що досліджується, геофізичні дані інтерполують, наносять

на регулярну просторову сітку, одержують додаткові наземні геофізичні дані для розширеного геологічного регіону, встановлюють аналітичну або статистичну залежність між геофізичними даними геологічного регіону, що досліджується, та розширеного геологічного регіону, за цією залежністю обчислюють значення геофізичних даних у проміжних точках регулярної сітки в межах геологічного регіону, що досліджується, який відрізняється тим, що додатково одержують багатоспектральні дистанційні дані більш високої, ніж наземні геофізичні дані, просторової розрізненості, які просторово узгоджують з наземними геофізичними даними та шляхом десемплінгу перетворюють на багатоспектральні дистанційні дані низької просторової розрізненості, за допомогою математичних методів обробки встановлюють аналітичну або статистичну залежність між багатоспектральними дистанційними даними та наземними геофізичними даними та відновлюють додаткові геофізичні дані, які разом із наземними геофізичними даними утворюють геофізичні дані підвищеної просторової розрізненості.

Винахід відноситься до напрямку попереднього автоматизованого оброблення двовимірних масивів геофізичних даних, що отримують шляхом наземних вимірювань в різних географічних точках земної поверхні.

Наземні геофізичні дані є основним джерелом інформації при вирішенні багатьох наукових і природоресурсних задач [1]. Способам автоматизації оброблення великих масивів просторових геофізичних даних присвячено багато наукових досліджень та винаходів [2, 3]. Основною вимогою сумісної обробки різних масивів геофізичних даних є їх просторова когерентність, тобто регуляризація на спільній сітці постійної просторової розрізненості [4]. Цього ж потребує й візуалізація геофізичних даних. Взагалі, просторова когерентність дозволяє

розглядати двовимірний масив геофізичних даних як своєрідне зображення та застосовувати до нього всі відомі методи і алгоритми обробки і аналізу дискретних зображень [5].

Вимога просторової когерентності передбачає явне чи приховане керування просторовою розрізненістю, при цьому зазвичай вважається, що максимально можлива просторова розрізненість дорівнює найгіршій в масиві. Але це не завжди є вірним, наприклад, для багатоспектральних цифрових дистанційних зображень існують методи досягнення субпіксельної розрізненості [6].

Крім того, просторова розрізненість сама собою є вкрай важливою характеристикою просторових даних, від якої безпосередньо залежить якість їх аналізу. Особливо це стосується якраз