

Винахід належить до галузі супутників і супутникових систем з можливістю зйомки за допомогою радіолокатора з синтезованою апертурою.

Рівень техніки

Система радіолокатора із синтезованою апертурою (SAR - англ. Synthetic Aperture Radar) може забезпечити роздільну здатність за дальністю завдяки своїй формі імпульсного сигналу. Роздільна здатність за азимутом (вздовж траєкторії) будується шляхом перегляду наземної ділянки або цільової області на Землі під різними кутами. Зазвичай SAR має вищу роздільну здатність за азимутом, ніж роздільну здатність за дальністю (поперечну). Ця вища роздільна здатність усереднюється для отримання пікселя з тим самим розміром, що й роздільна здатність за дальністю, але з кращим співвідношенням сигнал/шум. Це називається багаторакурсністю.

Оператори систем SAR постійно прагнуть підвищити точність і розширити спектр інформації, яку можуть надати зображення, отримані за допомогою супутника.

Деякі варіанти здійснення винаходу, описані нижче, вирішують деякі з цих проблем. Однак винахід не обмежується вирішенням цих проблем, і деякі варіанти здійснення винаходу вирішують інші проблеми.

Суть винаходу

Ця суть винаходу надається для того, щоб у спрощеній формі представити деякі ідеї, які далі описані в детальному описі. Ця суть винаходу не призначена для визначення ключових ознак або суттєвих ознак заявленого об'єкта винаходу, а також не призначена для визначення обсягу заявленого об'єкта винаходу.

У деяких варіантах здійснення винаходу запропоновано супутник, наземну станцію, супутникову систему або спосіб обробки необроблених даних SAR, в яких для отримання необроблених даних використовуються подовжені періоди часу перебування над ціллю. У випадку супутника подовжений час перебування над ціллю може бути досягнутий механічним керуванням супутником.

У першому аспекті запропоновано супутник для роботи на орбіті навколо Землі який містить: рушійну установку, систему визначення та управління просторовою орієнтацією (ADCS - англ. attitude determination and control system), одну або більше радіолокаційних антен або антенних решіток, радіолокатор із синтезованою апертурою (SAR) для отримання зображень та систему зв'язку, виконану з можливістю передачі та прийому сигналів від однієї або більше наземних станцій на Землі, причому ADCS виконано з можливістю механічного керування супутником в азимутальному напрямку для подовження часу перебування над ціллю, протягом якого обрану ціль видно із супутника, коли супутник обертається на орбіті над ціллю.

ADCS може забезпечити більший діапазон кутів огляду, ніж це можливо, наприклад, електронним керуванням променем. Цю можливість можна покращити, застосовуючи невеликий маневровий супутник, як описано нижче. У деяких варіантах здійснення цей діапазон кутів становить від -0,75 градусів до +0,75 градусів, необов'язково від -10 градусів до +10 градусів, необов'язково від -23 градусів до +23 градусів, необов'язково від -30 градусів до +30 градусів, необов'язково від -40 градусів до +40 градусів.

У деяких варіантах здійснення ADCS виконано з можливістю повороту супутника в азимутальному напрямку зі швидкістю до 1 градуса за секунду за допомогою механічного керування.

В іншому аспекті запропоновано наступну наземну станцію для приймання даних SAR із супутника на орбіті навколо Землі та обробки даних для формування одного або більше зображень цілі на Землі, яка містить принаймні один процесор, виконаний із можливістю: приймання необроблених даних SAR із супутника, причому необроблені дані містять записи імпульсів, отриманих в результаті відбиття імпульсів радіоенергії, переданих із супутника, від цілі на Землі; причому імпульси радіоенергії відповідають діапазону кутів в азимутальному напрямку, забезпеченому керуванням супутником в азимутальному напрямку для подовження часу перебування над ціллю.

Процесор на наземній станції може бути виконано з можливістю обробки необроблених даних SAR з будь-якого з описаних в цьому документі супутників. Необроблені дані SAR можуть бути оброблені різними способами для отримання інформації про зображення, включаючи, зокрема, формування багаторакурсних зображень, компіляцію відеопослідовностей і кодування зображень за допомогою кольору, описані нижче.

В іншому аспекті запропоновано спосіб обробки необроблених даних SAR, наприклад, отриманих з будь-якого з описаних в цьому документі супутників, який може бути виконано на наземній станції. Таким чином, обчислювальне обладнання на наземній станції може бути виконано з можливістю здійснення будь-якого з описаних в цьому документі способів.

У варіантах здійснення винаходу також запропоновано машинозчитуваний носій, який містить команди, наприклад, у вигляді алгоритму, які, будучи реалізованими в обчислювальній системі, що є частиною супутникової операційної системи, забезпечують виконання системою будь-якого з описаних в цьому документі способів.

Ознаки різних аспектів і варіантів здійснення винаходу можуть комбінуватися належним чином, як це буде очевидно для фахівця в даній галузі техніки, і можуть комбінуватися з будь-яким з аспектів винаходу.

Короткий опис графічних матеріалів

Варіанти здійснення винаходу будуть описані лише в якості прикладу та з посиланням на наступні графічні матеріали, в яких:

на Фіг. 1 наведено схематичне зображення компонентів супутника згідно з деякими варіантами здійснення винаходу;

на Фіг. 2, 3 і 4 показані різні вигляди у перспективі супутника згідно з деякими варіантами здійснення цього винаходу;

на Фіг. 5 схематично показано супутник, що працює в режимі підсвічування;

на Фіг. 6 проілюстровано блок-схему, яка ілюструє можливі конфігурації наземної станції згідно з деякими варіантами здійснення винаходу;

на Фіг. 7 показано приклад багаторакурсного зображення, отриманого згідно з деякими варіантами здійснення винаходу;

на Фіг. 8(a) і 8(b) показано приклади патч-зображень з одним і кількома ракурсами з часом перебування над ціллю 2 с і 14 с відповідно;

на Фіг. 9(a) і 9(b) показано приклади патч-зображень з декількома ракурсами з часом перебування над ціллю 25 с;

на Фіг. 10 наведено ще один приклад багаторакурсного зображення, отриманого в результаті багаторакурсної зйомки за азимутом для зменшення спеклів;

на Фіг. 11 схематично показано генерування багаторакурсних зображень, що перекриваються, згідно з деякими варіантами здійснення винаходу;

на Фіг. 12 показано композит відеокадрів з довгим часом перебування над ціллю, отриманих згідно з деякими варіантами здійснення винаходу;

на Фіг. 13 схематично показано кодування за допомогою кольору на основі часу зображень згідно з деякими варіантами здійснення винаходу;

на Фіг. 14 показано приклад композиту зображень з кольорами відповідно до часу, отриманих згідно з деякими варіантами здійснення винаходу;

на Фіг. 15 показано анотоване кольорове зображення, отримане згідно з деякими варіантами здійснення винаходу.

Для позначення схожих елементів на фігурах використовуються загальні посилальні позиції.

Детальний опис

Варіанти здійснення цього винаходу описані нижче лише в якості прикладу. Ці приклади представляють найкращі способи здійснення винаходу на практиці, які наразі відомі заявнику, хоча вони не є єдиними способами, за допомогою яких цього можна досягти.

У варіантах здійснення винаходу запропоновано супутник і способи експлуатації супутника. Варіанти здійснення винаходу особливо застосовні до класу супутників, відомих як мікросупутники. Вони розраховані на масу від 50 кг до 250 кг.

Спочатку буде описано супутник згідно з деякими варіантами здійснення винаходу.

На Фіг. 1 наведено схематичне зображення компонентів супутника, наприклад, мікросупутника, згідно з деякими варіантами здійснення винаходу. Односпрямовані суцільні стрілки між компонентами використовуються для позначення з'єднань до джерела живлення, двоспрямовані суцільні стрілки використовуються для позначення з'єднань радіочастотного (РЧ) сигналу, а пунктирні лінії використовуються для позначення з'єднань передачі даних.

Деякі компоненти розташовані на основній частині супутника, позначеній прямокутником 120, а деякі розташовані на крилі, позначеному прямокутником 130. Супутник, показаний на Фіг. 1 містить джерело 101 живлення і систему 102 розподілу живлення. Джерело 101 живлення і система 102 розподілу живлення подають живлення на рушійну установку 190, контролер 109 рушійної установки, систему 131 визначення та управління просторовою орієнтацією (ADCS), обчислювальну систему 103, буфер 135 і систему 104 зв'язку. Буфер 135, хоча показано як окремий елемент, може бути включений в обчислювальну систему 103. Контролер 109 рушійної установки показано як окремий елемент, але на практиці він може бути частиною обчислювальної системи 103. Контролер рушійної установки може бути виконано з можливістю здійснення способів згідно з деякими варіантами здійснення винаходу, або шляхом використання керуючого програмного забезпечення, реалізованого в одному або більше процесорах, які входять до складу контролера 109 рушійної установки, або у відповідь на прийняті команди, наприклад, від обчислювальної системи. Якщо команди передаються з обчислювальної системи 103, обчислювальну систему можна вважати такою, що містить контролер рушійної установки. Однією з функцій контролера рушійної установки 109 може бути виведення керуючих сигналів на джерела іонів і джерела електронів маневрових реактивних двигунів в рушійній установці 190.

Джерело 101 живлення, система 102 розподілу живлення, обчислювальна система 103 і система 104 зв'язку в даній галузі техніки спільно називаються супутниковою "шиною". Система 104 зв'язку може містити одну або більше антен, наприклад, розташованих на основній частині супутника. Альтернативно система 104 зв'язку може надсилати та приймати сигнали через одну або більше антен на крилі 130.

Джерело 101 живлення і система 102 розподілу живлення, показані на Фіг. 1, можуть також подавати живлення до одного або більше датчиків (не показані), які можуть бути розташовані на основній частині 120. Датчики є частиною того, що в даній галузі техніки називають "корисним навантаженням" супутника. Кількість і різноманітність датчиків може змінюватися залежно від призначення супутника.

У випадку супутника для спостереження за поверхнею Землі корисне навантаження може включати одну або більше радіолокаційних антен 106 або антенних решіток, які можуть бути розташовані на одному або більше крил 130. Кожна антена 106 або антенна решітка може мати пов'язаний із нею підсилювач 107, що живиться через систему 108 розподілу живлення від джерела 101 живлення, наприклад, через систему 102 розподілу живлення. Обидві системи 102 і 108 розподілу живлення можуть містити логічні схеми керування, як відомо в даній галузі техніки.

Анени 106 разом з підсилювачами 107 і системою 108 розподілу живлення утворюють пристрій отримання зображень супутника, як відомо фахівцям в даній галузі техніки. Вони можуть виконувати інші функції, окрім збору даних про зображення.

У типовому супутнику кожна антена може містити фазовану антенну решітку. Ефективна апертюра радіолокатора залежить від площі однієї або більше антен, іншими словами, чим більша загальна площа антени, тим більша апертюра. В даній галузі техніки апертюра також називається "вікном прийому супутника".

Підсилювач 107 має двосторонній канал передачі даних з обчислювальною системою 103, в проілюстрованому прикладі через систему 108 розподілу живлення, і може бути виконаний із можливістю передачі даних до обчислювальної системи 103, як-от дані, що стосуються отриманих радіолокаційних сигналів. Дані можуть бути оброблені системою 103 зв'язку, наприклад, для генерування зображень, як описано в інших

розділах цього документу, які потім можуть бути виведені в систему 104 зв'язку для подальшої передачі. У системі, проілюстрованій на Фіг. 1, необроблені дані виводяться обчислювальною системою 103 до системи 104 зв'язку для обробки віддаленою обчислювальною системою. На Фіг. 1 процесор 133 SAR може бути розташований, наприклад, на наземній станції або в іншому місці обробки. Обчислювальна система 103 може надсилати дані до підсилювача 107, наприклад, через систему 108 розподілу живлення, як-от робочі команди, запити на дані та інші сигнали, які будуть знайомі фахівцям у даній галузі техніки.

Необроблені дані SAR зберігаються на супутнику в запам'ятовуючому пристрої, наприклад, у буфері 135. Наприклад, 30 секунд зображення можна зберігати з повною роздільною здатністю (пропускною здатністю). Більше даних можна зберігати з меншою роздільною здатністю (наприклад, 60 секунд з половинною роздільною здатністю). Наприклад, мікросупутник має низхідний канал зв'язку 150 МБ/с. При такій швидкості передачі даних завантаження 30-секундних даних зображень з повною роздільною здатністю займає близько 3 хвилин.

Під час роботи, наприклад, в режимі підсвічування, може передаватися близько 5000 імпульсів на секунду. Це означає, що 27 імпульсів можуть бути у просторі між супутником і наземною станцією в будь-який момент часу.

Система 104 зв'язку може зв'язуватися з наземними станціями або іншими супутниками за допомогою радіочастотного зв'язку, світлового, наприклад, лазерного зв'язку або будь-якої іншої форми зв'язку, відомої в даній галузі техніки.

На Фіг. 2 і 3 наведено вигляд у перспективі супутника 140, який може бути мікросупутником, який може містити компоненти Фіг. 1, показаний на Фіг. 3 як той, що обертається на космічній орбіті. Супутник на Фіг. 2 містить основну частину 110, в якій можуть бути розміщені деякі з компонентів основної частини 120, показаних на Фіг. 1, або на якій можуть бути встановлені деякі з компонентів, показаних на Фіг. 1. В даній галузі техніки основна частина 110 також називається "шиною", оскільки вона може містити або підтримувати компоненти шини. Основна частина 110 може додатково містити одну або більше акумуляторних батарей. Основна частина 110 може бути частково поміщена в корпус, наприклад, для розміщення та захисту компонентів. Основна частина може забезпечувати поверхні, на яких можуть бути встановлені компоненти. У прикладі на Фіг. 2 сонячна панель 150 встановлена на одній прямокутній поверхні основної частини 110, а додаткові сонячні панелі 155 прикріплені до панелі 150 за допомогою розпірок 115.

Супутник 140 містить загалом плоску конструкцію, яка проходить від основної частини 110 у двох протилежних напрямках для забезпечення двох "крил" 160. Показано, що конструкція, яка містить крила 160, встановлена на прямокутній поверхні основної частини 110 або розташована суміжно із нею. Як найбільш наочно показано на Фіг. 4, вона складається з секцій, які можна скласти для транспортування і розкласти під час розгортання. Основна частина 110 і крила 160 в цьому документі разом називаються "каркасом космічного апарата" і мають електричні властивості, які описані нижче.

На "крилах" супутника можна встановити одну або більше антен, як описано вище. Одна антенна решітка 180 показана знятою із супутника на Фіг. 4 з метою ілюстрації і може містити прямокутну мікросмужкову антену, відому в даній галузі техніки. Інші компоненти можуть бути встановлені на крилах, як відомо в даній галузі техніки, включаючи компоненти розподілу живлення та підсилювачі, приклади яких описані в попередній патентній заявці GB-A-2598793.

Супутник 140 забезпечений рушійною установкою 190 для маневрування супутника зі створеною тягою. Рушійну установку 190 найбільш чітко видно на Фіг. 3, і в цьому варіанті здійснення вона встановлена на основній частині 110 на поверхні, протилежній до сонячних панелей 150.

Як показано на Фіг. 3, рушійна установка 190 складається з множини маневрових реактивних двигунів 205, 210, 215, 220, які створюють тягу для маневрування супутника 140, коли це необхідно. Множина маневрових реактивних двигунів 205, 210, 215, 220, показаних на Фіг. 3, розташовані по кутах однієї сторони основної частини 110 і можуть знаходитись на однаковій відстані один від одного. Однак у деяких варіантах здійснення цього винаходу рушійна установка може мати іншу конфігурацію.

Маневрові реактивні двигуни 205, 210, 215, 220 зазвичай використовуються для утримання супутника на певній орбіті. Наприклад, маневрові реактивні двигуни можуть використовуватися для приведення в рух супутника в певному напрямку відносно поверхні Землі.

ADCS 131 зазвичай розташовується в основній частині супутника 120 і використовується для керування орієнтацією супутника. ADCS може бути реалізована кількома способами. На фігурах показано, що ADCS 131 містить набір реактивних коліс, одне з яких схематично показано на Фіг. 3. Реактивні колеса зазвичай, але не обов'язково, розташовані в основній частині 120 супутника. На Фіг. 4 показано набір з трьох реактивних коліс 41, 42, 43, розташованих в основній частині супутника 120. Реактивні колеса іноді також називають маховими колесами.

В описаному в цьому документі супутнику ADCS використовується для механічного керування супутником, щоб утримувати ціль на поверхні Землі в межах апертури радіолокатора, тобто в полі зору супутника, довше, ніж ціль була б видимою без механічного керування під час руху супутника по своїй орбіті. Цей "режим підсвічування" використовується, наприклад, для того, щоб зосередитися на конкретній цілі. Традиційно цього досягали за допомогою електронного керування променем, але тільки для набагато коротших періодів часу перебування над ціллю (наприклад, менше 10 секунд). Перебування пристрою супутникового спостереження над ціллю також називається в даній галузі техніки "стеженням".

Реактивні колеса 41, 42, 43 функціонують за допомогою електродвигуна, який обертає колесо всередині основної частини 120 космічного апарата. Завдяки збереженню кутового моменту, оскільки в космосі немає зовнішніх сил, обертання колеса в одному напрямку спричиняє обертання космічного апарату в протилежному напрямку. Використання реактивних коліс є добре відомим способом орієнтації космічних апаратів, як-от супутники.

Наприклад, всередині основної частини космічного апарату розміщено три реактивні колеса, по одному для орієнтації супутника по кожній осі. Таким чином, реактивні колеса 41, 42, 43 мають ортогональні осі.

В іншому прикладі, для кращого управління різними аспектами динаміки супутників, як-от швидкість повороту (швидкість, з якою супутник може обертатися) і управління точним позиціонуванням, особливо для супутників з високим моментом інерції, можуть використовуватися чотири або більше реактивних коліс. Цей метод може сприяти здатності зупинятися на певній точці земної поверхні, що описано далі, але це не обов'язково.

Наразі на орбіті навколо Землі перебувають різні класи супутників, які зазвичай визначаються діапазонами мас, хоча межі між класами є дещо рухомими та умовними:

Кубічні супутники: від 1 кг до 10 кг

Мікросупутники: від 50 кг до 250 кг

Невеликі супутники: 500 кг

Звичайні супутники: від 800 до 1200 кг.

Реактивні колеса оцінюються з точки зору їх "імпульсної потужності", яка вимірюється в одиницях Н·м/с (Ньютон-метр на секунду). Швидкість повороту залежить від швидкості колеса та інерції супутникової системи. Супутник з особливо малою масою має набагато менший момент інерції, ніж традиційні більші супутники SAR. Достатньо низька маса може бути менше 1000 кг, наприклад, менше 500 кг, менше 250 кг, від 50 кг до 250 кг або менше 100 кг.

Дуже невеликі кубічні супутники наразі не мають можливості нести сучасне корисне навантаження SAR. Важчі супутники зазвичай менш маневрені через більшу інерційність. Описані в цьому документі варіанти здійснення супутника і способи експлуатації було успішно реалізовано в мікросупутнику.

Деякі із способів, які будуть описані далі, отримують вигоду від реактивних коліс в межах певного номінального діапазону. Відповідний діапазон, наприклад, для мікросупутників може становити від 0,5 до 2,5 Н·м/с. Було успішно випробувано реактивні колеса з номіналом 1 Н·м/с. Це дозволило здійснювати поворот в діапазоні 1 /с, що є достатнім для відстеження точки на Землі і здійснення будь-якого з описаних в цьому документі способів без споживання надто великої потужності. Таким чином будь-який із супутників, описаних в цьому документі ADCS виконано з можливістю повороту супутника в азимутальному напрямку зі швидкістю до 1 градуса на секунду за допомогою механічного керування. Додатково або альтернативно ADCS може бути виконано з можливістю перебування над ціллю до 60 секунд.

Відомо, що більші супутники використовують реактивні колеса порядку 10 Н·м/с, але вони наразі не можуть досягти швидкості обертання, достатньої для описаного в цьому документі часу перебування над ціллю, через велику масу супутників і, як наслідок, високу інерційність обертання, а також вони споживають набагато більше енергії, ніж менші реактивні колеса.

Наприклад, супутник обертається навколо Землі на низькій навколоземній орбіті. Низька навколоземна орбіта може знаходитися на висоті від 160 км до 1000 км над поверхнею Землі. Приклади супутників для спостереження за поверхнею Землі на основі SAR можуть мати орбіти від 450 км до 650 км над Землею. У прикладі згідно з цим винаходом супутник має орбіту, яка знаходиться на висоті 550 км над поверхнею Землі. Наприклад, на орбіті 550 км над Землею супутник ефективно перетинає Землю зі швидкістю близько 7,5 км/с, або 27 000 км/год. Більшість супутників на цій орбіті перетинатимуть Землю зі швидкістю в діапазоні 7–8 км/с.

У деяких варіантах здійснення для того, щоб утримувати антену SAR спрямованою на певну точку на Землі, мікросупутник може бути виконано з можливістю обертання зі швидкістю обертання порядку 1 с. Цього неможливо досягти механічно за допомогою традиційних супутників. Однак, згідно з деякими варіантами здійснення винаходу, супутник, як-от мікросупутник, може обертатися зі швидкістю, необхідною для підтримки наведення на точку на Землі протягом приблизно 10 хвилин від горизонту до горизонту. Однак у крайніх точках цього діапазону відстань до точки або цілі для зйомки занадто велика, щоб отримати якісне зображення SAR, тому фактичний час перебування над ціллю буде меншим. Наприклад, супутник може зробити 12 знімків області розміром 6 км x 6 км з часом перебування над ціллю 25 с. В одному прикладі супутник може бути спрямований на одну точку на Землі і забезпечувати якісні зображення за час перебування над ціллю до 60 с.

На Фіг. 5 зображено схему супутника, що працює в режимі підсвічування. Крива лінія 501 показує в перебільшеному вигляді зміну кута нахилу супутника для того, щоб збільшити час перебування над ціллю 502, в даному випадку областю на Землі.

На Фіг. 6 зображено блок-схему, що ілюструє способи обробки необроблених супутникових даних, які можуть бути виконані на наземній станції згідно з деякими варіантами здійснення винаходу. Спосіб може бути виконано за допомогою одного або більше процесорів, як це відомо в галузі обробки даних зображень SAR. У деяких варіантах здійснення один процесор може виконувати операції, показані на Фіг. 6. В інших варіантах здійснення окремі потоки можуть виконуватися в окремих процесорах.

Необроблені дані зображення, або дані, що підлягають обробці для формування зображень, містять записи імпульсів, прийнятих на супутнику в результаті відбиття від цілі, наприклад, області на Землі, імпульсів радіоенергії, переданих із супутника. Дані з множини записів імпульсів обробляються, щоб сформувати серію зображень або "ракурсів". Іншими словами, "ракурс" містить сформоване зображення з певної кількості, більшої за одиницю, імпульсів.

Складність формування ракурсу полягає в тому, щоб забезпечити використання даних, які стосуються однієї і тієї ж точки на Землі, для формування пікселя на зображенні або ракурсі. Згідно з деякими варіантами здійснення винаходу, цього можна досягти за допомогою методу, відомого як обробка SAR у зворотній проекції, в якому дані з різних імпульсів когерентно підсумовуються, наприклад, підсумовуючи інформацію про амплітуду і фазу. Однією з причин виконання когерентного підсумовування є підвищення роздільної здатності кінцевого зображення.

Когерентно підсумовані дані можуть бути оброблені різними способами, три з яких проілюстровані на Фіг. 6.

У деяких варіантах здійснення винаходу для збільшення часу підсвічування використовується механічне керування антеною в азимутальному напрямку, що призводить до збільшення синтезованої апертури і, таким чином, до збільшення роздільної здатності за азимутом. Іншими словами, множина ракурсів, отриманих, наприклад, в результаті обробки SAR у зворотній проекції, може бути об'єднана в одне зображення. Для цього

послідовні ракурси, або когерентно підсумовані дані, можуть бути некогерентно підсумовані. При некогерентному підсумовуванні інформація про амплітуду підсумовується, а середнє значення використовується для формування багаторакурсного зображення. Інформація про фазу не підсумовується.

На Фіг. 7 показано приклад багаторакурсного зображення з 12 ракурсами і виявленим зображенням горизонтальної дальності з роздільною здатністю 0,5 м за азимутом і 0,5 м за похилою дальністю. Зокрема, зображення було отримано в режимі довготривалого стеження з підсвічуванням з сузір'я мікосупутників SAR над центром Токіо, Японія (розмір приблизно 6 км x 6 км). Завдяки збільшенню часу перебування над ціллю під час збору даних стеження з підсвічуванням, що досягається механічним керуванням супутника на орбіті, можна отримати і некогерентно підсумувати більше ракурсів зображень надвисокої роздільної здатності, що призводить до збільшення відношення сигнал/перешкода (SCR - англ.: signal to clutter ratio) і подавлення спекл-шуму. Це проілюстровано на Фіг. 8(a) і 8(b) та Фіг. 9(a) і 9(b).

На Фіг. 10 наведено ще один приклад багаторакурсного зображення, отриманого в результаті багаторакурсної зйомки за азимутом для зменшення спеклів. Це невелика підмножина набагато більшої сцени, показаної праворуч, де багато деталей можна побачити разом з маленькими цяточками, що значно полегшує інтерпретацію складних сцен.

Повертаючись до Фіг. 6, в деяких варіантах здійснення винаходу різні ракурси можуть бути використані як кадри у відео для того, щоб детально досліджувати поверхню Землі як функцію часу. Схематично це проілюстровано на Фіг. 11. Отриманий в результаті SAR-фільм забезпечує унікальний спосіб спостереження за рухом та іншою динамічною активністю на поверхні Землі, наприклад, за рухом кораблів та інших транспортних засобів.

Нижня діаграма на Фіг. 11 показує, в перебільшеному вигляді, зміну кута нахилу супутника для забезпечення тривалого часу перебування над ціллю. Довжину традиційної синтезованої апертури, без механічного керування, показано як 1101, а вертикальна лінія 1102 вказує на центр апертури. Можливий збільшений час збору даних (і пов'язаний з ним збільшений кутовий діапазон) вказано як 1105. Традиційна синтезована апертура відповідає часу перебування над ціллю близько 10 с. Подовження тривалості SAR з підсвічуванням згідно з деякими варіантами здійснення цього винаходу було продемонстровано до 25 с. У принципі, супутник може залишатися спрямованим на точку до 60 с або більше. Однак обробка додаткових даних вимагатиме відповідно більшого обсягу бортового запам'ятовуючого пристрою.

Наведемо конкретний приклад лише з метою ілюстрації: для супутника, що рухається зі швидкістю 7,5 км/с на висоті 550 км над Землею, ігноруючи кривизну Землі, це означає, що за 30 секунд супутник пролетить 225 км від місця, де знаходиться ціль. Для того, щоб залишатися прямо наведеним на одну точку на Землі протягом 30 секунд, необхідний кутовий діапазон близько 23 градусів. У різних варіантах здійснення винаходу можуть використовуватися різні діапазони кутів. Це може залежати від таких факторів, як, зокрема, можливість механічного керування та ємність бортового запам'ятовуючого пристрою супутника, оскільки дані зазвичай завантажуються пакетами під час прольоту над наземною станцією.

Набір кадрів фільму, що не перекриваються, вказано в позиції 1107, з якої видно, що послідовні ракурси можуть бути скомпоновані для формування відеопослідовності. Схема 1109 демонструє, що фільм може бути створено з кадрів, що перекриваються. Слід зазначити, що центри апертур послідовних ракурсів збігаються, і тому кадри, що перекриваються, можуть виглядати як послідовні зображення у відеопослідовності.

Генерація зображень, що перекриваються, може бути забезпечена за допомогою відповідного алгоритму формування зображень, який може формувати кадри, що перекриваються в часі. Кожен кадр може мати час спостереження, який відповідає центру його синтезованої апертури. Завдяки перекриттю кадрів час спостереження центральної апертури для кожного кадру може бути ближчим один до одного. Це означає, що у відео можна сформувати довільну кількість кадрів і для кожного кадру можна вказати визначену користувачем роздільну здатність.

На Фіг. 12 показано приклад композиції з багатьох ракурсів (відеокадрів), знятих під час тривалої зйомки, яка може бути відтворена у вигляді кольорового композиту. Кадри також можна відтворювати з відповідною частотою кадрів, щоб краще розгледіти рух у кадри. Зйомка зі стеженням з підсвічуванням з дуже довгим часом перебування над ціллю дозволяє не лише отримувати зображення з надвисокою роздільною здатністю, але й використовувати зображення як відеокадри, що дає змогу спостерігати динамічні явища.

Повертаючись до Фіг. 6, у деяких варіантах здійснення винаходу послідовні ракурси цілі можуть бути кодовані за допомогою кольору з використанням "хронокольору" для розрізнення зображень, що відповідають різним періодам часу. Іншими словами, різні кадри (або ракурси) забарвлюються по-різному залежно від часу, коли вони були зняті (і за значенням кута, з якого вони були зняті). Потім їх можна накладати один на одного, наприклад, для формування композитного зображення. Це своєрідне багаторакурсне зображення. Накладання кольорових зображень, тобто об'єднання кадрів в одне зображення, дозволяє використовувати кодування за допомогою кольору для розрізнення об'єктів на поверхні Землі. На композитному зображенні об'єкти, які відбивають більш-менш однорідно під різними кутами, виглядають сірими, оскільки внесок різних кольорів буде однаковим, тоді як об'єкти, які відбивають більше під певним кутом або кутами, виглядатимуть кольоровими. У деяких варіантах здійснення кадри (або ракурси чи зображення) мають кодування за допомогою кольору на основі відзнятого часу, а не окремих пікселів. Тоді окремі пікселі з'являться на накладеному зображенні різними кольорами на основі залежності відбивної здатності від кута, або якщо є рух. Рухомі об'єкти з меншою ймовірністю виглядатимуть сірими, оскільки вони змінюватимуть своє розташування під час підсвічуваного "стеження", а отже, під час накладання зображень пікселі з меншою ймовірністю матимуть однаковий внесок кольору від усіх ракурсів. Якщо попередні зображення забарвлені в червоний колір, а наступні - в синій, то об'єкт у початковому положенні під час "стеження" буде виглядати червоним, а в його остаточному зображеному положенні - синім.

У деяких варіантах здійснення таке кодування за допомогою кольору може бути досягнуто шляхом присвоєння вагового коефіцієнта кольору червоного/синього/зеленого для послідовних ракурсів відповідно до часу, в який були отримані відповідні дані. Схематично це проілюстровано на Фіг. 13.

Кадри можуть бути кодовані за допомогою кольору, щоб кожен кадр мав своє колірне значення з колірною спектру. Це можна називатися "хронокольором". Кольори ретельно підібрані таким чином, щоб однакова якість кожного кольору в сумі давала значення в градаціях сірого (наприклад, 3 кадри червоного, зеленого та синього кольорів). Коли кожен кадр об'єднується шляхом додавання їхніх кольорових внесків, об'єкти, які не рухаються, виглядають сірими, а об'єкти сцени, які рухаються або яскравіші з однієї орієнтації, матимуть домінуючий колір. Це дозволяє спостерігачеві легко ідентифікувати об'єкти, що змінюються, або об'єкти, які мають неоднорідне радіолокаційне відбиття, при зйомці під різними кутами. Зазвичай для такого типу "хронокольорових" зображень використовують кадри, що не перекриваються.

Крім того, кожен кадр можна порівняти за допомогою бібліотеки python OpenCV Optical Flow library (https://opencv-python-tutroals.readthedocs.io/en/latest/py_tutorials/py_video/py_lucas_kanade/py_lucas_kanade.html), щоб виявити рухомі цілі шляхом віднімання областей в межах сцени, які не "перетікають" і не переміщуються з одного кадру в інший. Це забезпечує метод виявлення рухомих цілей за допомогою космічної системи SAR.

На Фіг. 14 показано приклад композитних зображень, заснованих на ракурсах тривалої зйомки, які мають кодування за допомогою кольору відповідно до часу зйомки. На цьому зображенні будівлі у верхньому лівому квадранті фотографії мають чітко виражений колір через неізотропну ефективну площу розсіювання (RCS - англ.: radar cross section) об'єктів. Внаслідок правильного розташування (орієнтації) будівель, часто будівлі розташовані близько одна до одної мають однаковий колір. Площа цього зображення становить приблизно 5 км x 5 км.

На Фіг. 15 показано ще один приклад "хроноколірного" зображення, забарвленого відповідно до часу. Це зображення показує, зокрема, як рух можна виділити кольором. Наприклад, човен, що рухається, можна побачити зі значною зміною (миттєвої) радіальної швидкості за час збирання даних. Трохи нижче можна побачити, як за допомогою методу хронокольору виділяються штучні конструкції, в даному випадку опорні троси мосту. На традиційних зображеннях їх може бути важко розгледіти, оскільки троси дуже тонкі. Цей метод також може бути з користю застосований для виявлення та моніторингу ліній електропередач. У верхній частині зображення можна побачити вигнуту рампу увімкнення/вимкнення, яка показує рухому точку відбиття.

Варто зазначити, що та сама послідовність ракурсів може також використовуватися як відеокадри для формування відео. Іншими словами, та сама послідовність ракурсів може бути оброблена або за допомогою "хронокольору" для кодування за допомогою кольору і формування композитного зображення на основі часу, або використана як кадри у відео для динамічної демонстрації руху.

З вищесказаного зрозуміло, що всі способи, описані з посиланням на Фіг. 6, отримують вигоду від використання маневреного мікросупутника. До цього часу за допомогою традиційних супутників можна було отримати лише кілька ракурсів без зменшення роздільної здатності кожного з них. Мікросупутник відповідного розміру може обертатися для спостереження за ціллю протягом тривалого періоду часу (до 60 секунд). Це дає йому безпрецедентну можливість отримувати багато кадрів зображень з такою ж роздільною здатністю, як і роздільна здатність за дальністю протягом певного періоду часу.

Деякі варіанти здійснення винаходу були реалізовані з наступним:

Супутник з антеною, який може наводити її на область спостереження і утримувати її в одному і тому ж положенні протягом тривалого періоду часу (60 секунд). Зазвичай це набагато довше, ніж може досягти більший супутник (номінально 2 секунди, оскільки супутники ICEYE мають малу масу і малий момент інерції, що дозволяє здійснювати наведення антени і променя без витрат палива і з використанням лише внутрішніх махових колес).

Режим підсвічування зйомки, який може утримувати цільову сцену в межах вікна прийому, навіть якщо дальність до цільової сцени значно змінюється.

Процесор SAR в режимі підсвічування, який виконано з можливістю обробки зображення SAR у вигляді кадрів з довільною кількістю імпульсів на кадр і центральною точкою, яка може бути визначена користувачем.

Процесор SAR в режимі підсвічування, який може об'єднувати окремі кадри SAR у кадри фільму та експортувати їх у такому вигляді.

У будь-якому з варіантів здійснення винаходу супутник може рухатися на низькій навколоземній орбіті або бути виконаним із можливістю руху на ній.

Супутник згідно з будь-яким із варіантів здійснення винаходу може бути виконано з можливістю бокового огляду, як це відомо з рівня техніки. Він може бути як з лівостороннім оглядом, так і правостороннім оглядом.

Супутник згідно з будь-яким із варіантів здійснення винаходу може використовувати радіолокатор X-діапазону частот.

Будь-яка з описаних у цьому документі обчислювальних систем може бути об'єднана в одну обчислювальну систему з декількома функціями. Аналогічно, функції будь-якої з описаних в цьому документі обчислювальних систем можуть бути розподілені між декількома обчислювальними системами.

Деякі операції описаних в цьому документі способів можуть здійснюватися програмним забезпеченням у машинозчитуваній формі, наприклад, у формі комп'ютерної програми, що містить код комп'ютерної програми. Таким чином, у деяких аспектах винаходу запропоновано машинозчитуваний носій, який при реалізації в обчислювальній системі забезпечує виконання системою деяких або всіх операцій а будь-яким із способів, описаних у цьому документі. Машинозчитуваний носій інформації може бути виконаний у енергозалежній або енергонезалежній формі, наприклад, носії інформації включають диски, флеш-накопичувачі, карти пам'яті тощо. Програмне забезпечення може бути придатним для виконання на паралельному або послідовному процесорі, так що етапи способу можуть виконуватися в будь-якому відповідному порядку або одночасно.

Автори винаходу визнають, що мікропрограми та програмне забезпечення можуть бути цінними, окремо продаваними товарами. Ця заявка призначена для охоплення програмного забезпечення, яке працює на "неінтелектуальному" або стандартному обладнанні або керує ним для виконання потрібних функцій. Вона також

призначена для охоплення програмного забезпечення, яке "описує" або визначає конфігурацію апаратного забезпечення, наприклад, програмне забезпечення HDL (мова опису апаратного забезпечення), що використовується для проектування кремнієвих мікросхем або для конфігурації універсальних програмованих мікросхем для виконання бажаних функцій.

Описані вище варіанти здійснення значною мірою автоматизовані. У деяких прикладах користувач або оператор системи може вручну вказати деякі етапи способу, які потрібно виконати.

В описаних варіантах здійснення винаходу система може бути реалізована як будь-яка форма обчислювальної та/або електронної системи, як зазначено в інших частинах цього документа. Наприклад, наземна станція може містити таку обчислювальну та/або електронну систему. Така система може складатися з одного або більше процесорів, які можуть бути мікропроцесорами, контролерами або будь-яким іншим відповідним типом процесорів для обробки виконуваних комп'ютером команд для управління роботою пристрою з метою збору і запису інформації про маршрутизацію. У деяких прикладах, наприклад, коли використовується архітектура системи на кристалі, процесори можуть містити один або більше фіксованих функціональних блоків (також званих прискорювачами), які реалізують частину способу апаратно (а не програмно або мікропрограмно). Програмне забезпечення платформи, яке включає операційну систему або будь-яке інше відповідне програмне забезпечення платформи, може бути надане на комп'ютерному пристрої, щоб забезпечити виконання прикладного програмного забезпечення на пристрої.

Термін "обчислювальна система" використовується в цьому документі для позначення будь-якого пристрою з обчислювальною здатністю, яка дозволяє йому виконувати команди. Фахівці в даній галузі техніки розуміють, що такі можливості обробки можуть бути вбудовані в багато різних пристроїв, і тому термін "обчислювальна система" включає ПК, сервери, смартфони, персональні цифрові асистенти і багато інших пристроїв.

Зрозуміло, що описані вище вигоди та переваги можуть стосуватися одного варіанта здійснення або можуть стосуватися декількох варіантів здійснення. Варіанти здійснення не обмежуються тими, що вирішують будь-яку або всі заявлені проблеми, або тими, що мають будь-які або всі заявлені вигоди та переваги.

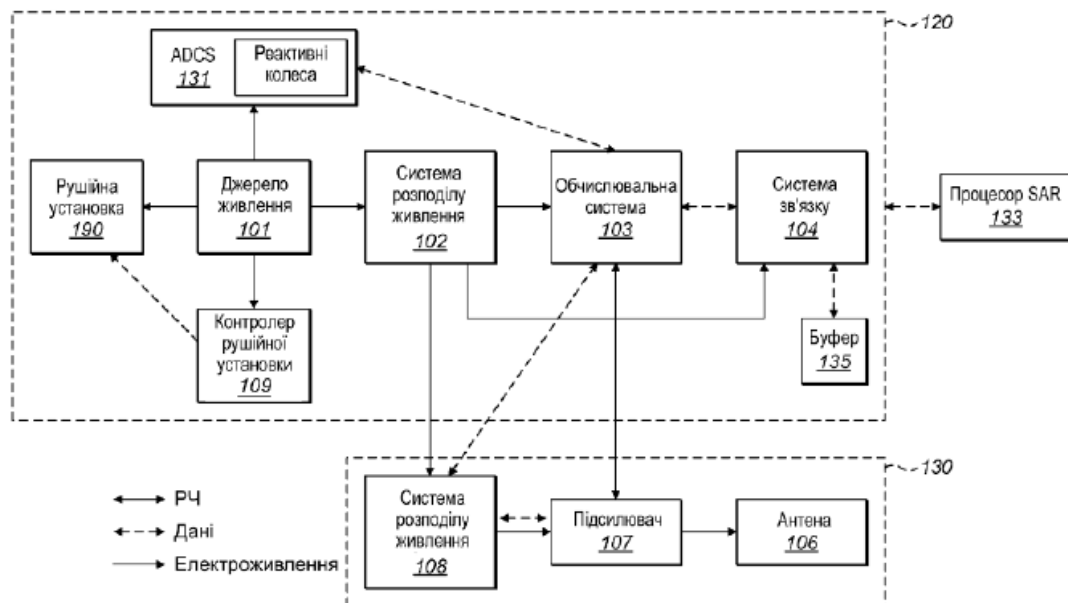
Будь-яке посилання на "елемент" або "частину" відноситься до одного або більше з цих елементів, якщо не вказано інше. Термін "який містить" використовується в цьому документі для позначення включення визначених етапів або елементів способу, але такі етапи або елементи не є вичерпним переліком, і спосіб або пристрій може містити додаткові етапи або елементи.

Крім того, якщо термін "включає" використовується в детальному описі або в формулі винаходу, такий термін має інтерпретуватися як інклюзивний, так само, як і термін "який містить", коли він використовується як перехідне слово в пункті формули винаходу.

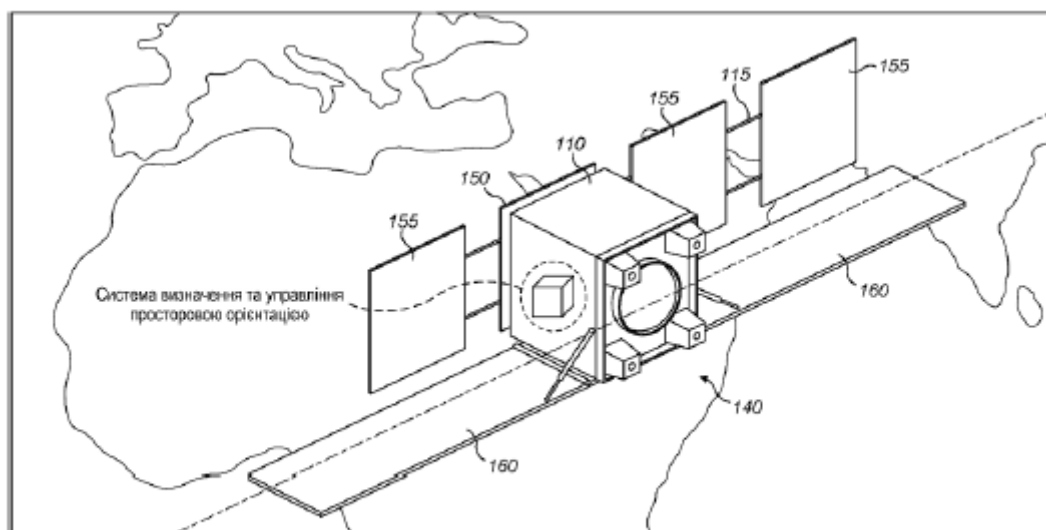
На фігурах показані ілюстративні способи. Хоча способи показані та описані як ряди дій, які виконуються в певній послідовності, слід розуміти та усвідомлювати, що способи не обмежуються порядком послідовності. Наприклад, деякі дії можуть відбуватися в іншому порядку, ніж описано в цьому документі. Крім того, одна дія може відбуватися одночасно з іншою дією. Крім того, в деяких випадках для здійснення описаного в цьому документі способу можуть знадобитися не всі дії.

Порядок етапів способів, описаних у цьому документі, є ілюстративним, але кроки можуть виконуватися в будь-якій послідовності або одночасно, якщо це доречно. Крім того, етапи можуть бути додані або замінені, або окремі етапи можуть бути вилучені з будь-якого з способів, не виходячи за межі обсягу предмета винаходу, описаного в цьому документі. Аспекти будь-якого з описаних вище прикладів можуть бути об'єднані з аспектами будь-якого з інших описаних прикладів, щоб сформувати інші приклади.

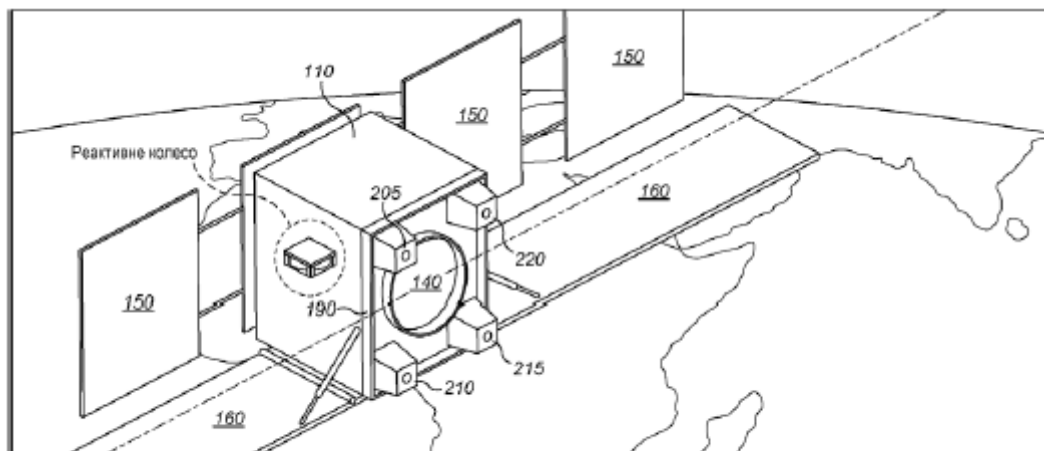
Зрозуміло, що наведений вище опис бажаного варіанту здійснення наведено лише як приклад, і що фахівці в даній галузі техніки можуть вносити різні модифікації. Те, що було описано вище, включає приклади одного або більше варіантів здійснення. Звичайно, неможливо описати кожен мислимий модифікацію і зміну вищезгаданих пристроїв або способів з метою опису вищезгаданих аспектів, але фахівець у даній галузі техніки може зрозуміти, що можливо багато подальших модифікацій і перестановок різних аспектів. Відповідно, описані аспекти мають на меті охопити всі такі зміни, модифікації та варіації, які підпадають під дію доданої формули винаходу.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

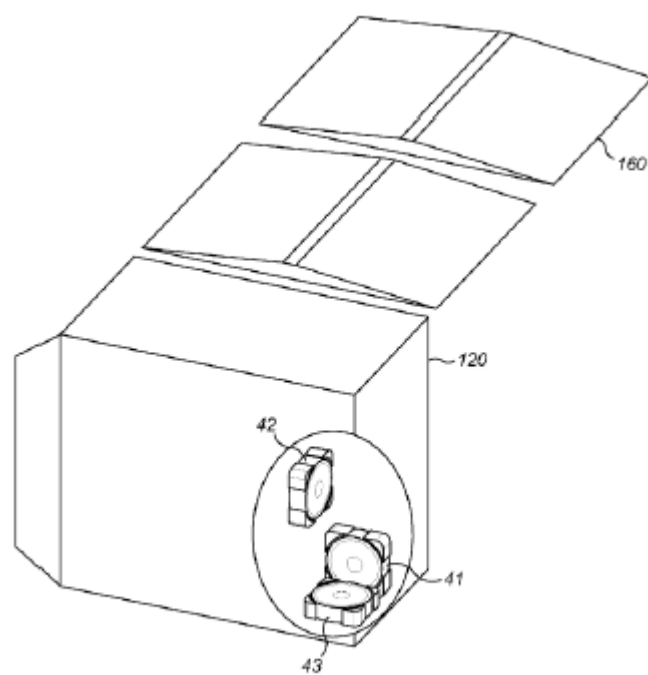


Fig. 4

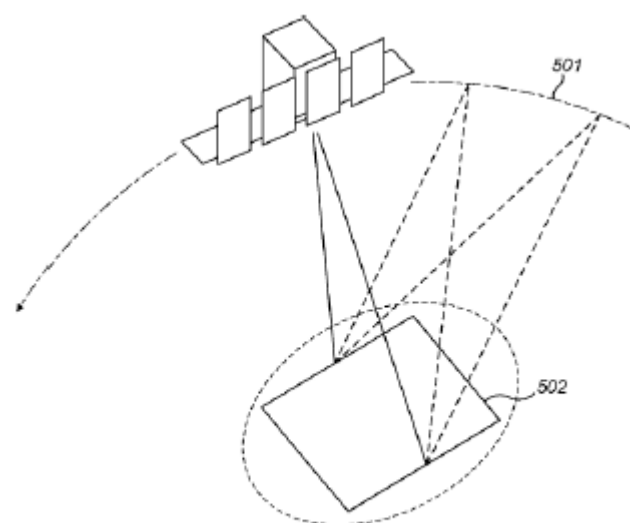


Fig. 5

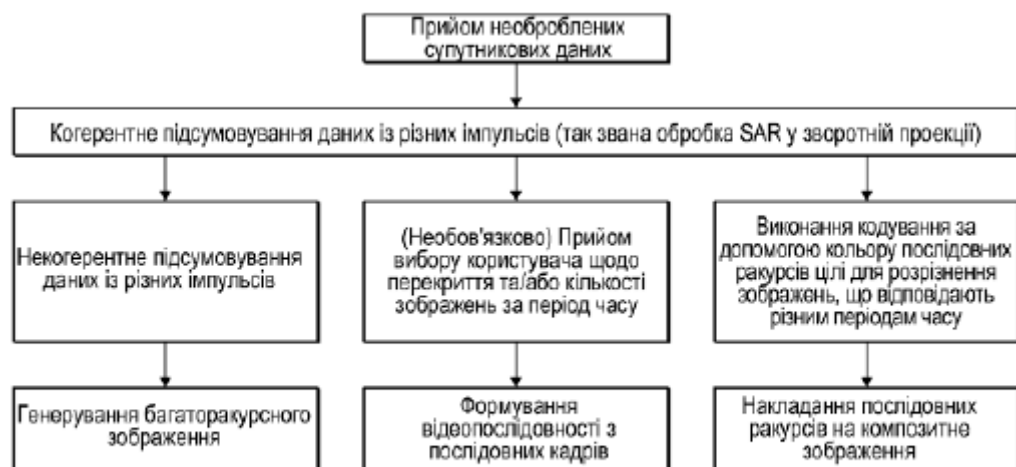


Fig. 6



Fig. 7

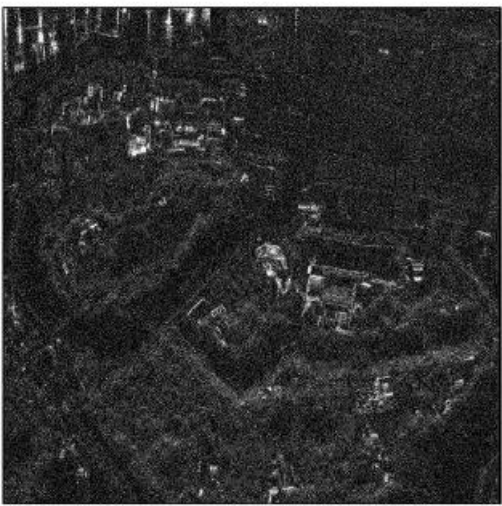


(а) Патч А фіг. 7 з часом перебування над ціллю 2 с (1 ракурс)

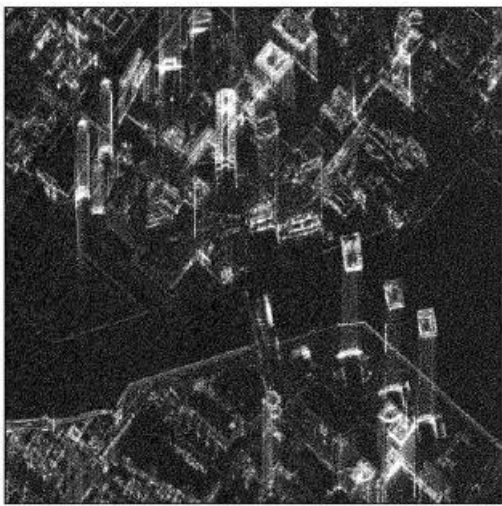


(б) Патч А фіг. 7 з часом перебування над ціллю 14 с (7 ракурсів)

Фіг. 8



(а) Патч А фіг. 7 з часом перебування над ціллю 25 с (12 ракурсів)



(б) Патч В фіг. 7 з часом перебування над ціллю 25 с (12 ракурсів)

Фіг. 9

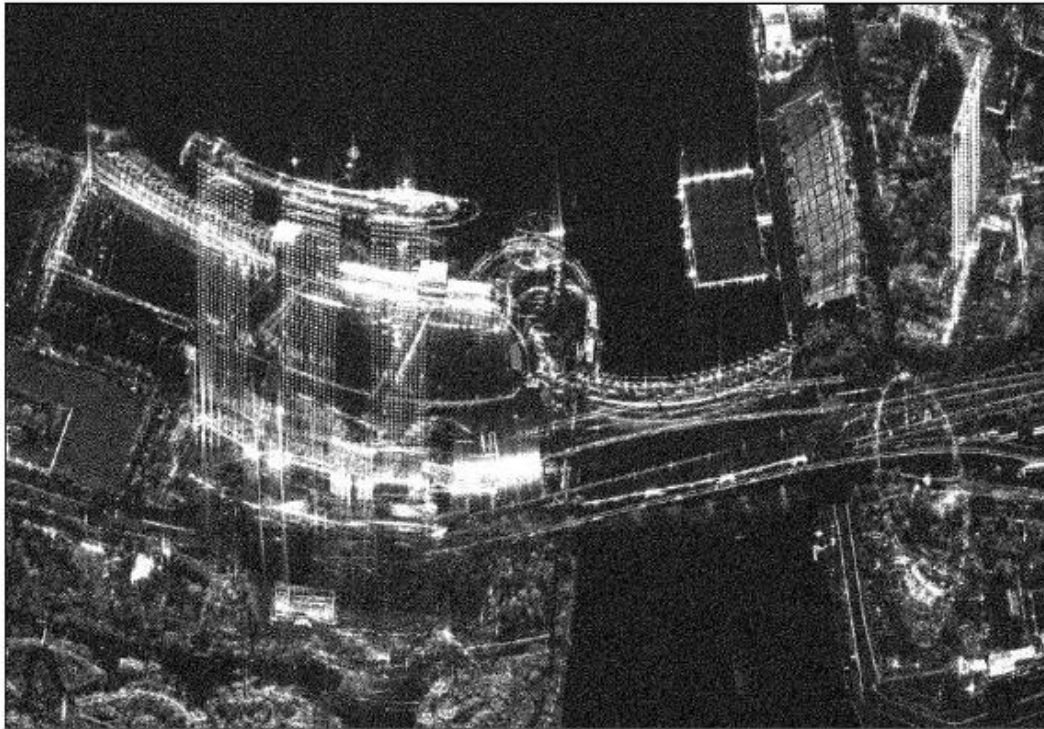


Fig. 10

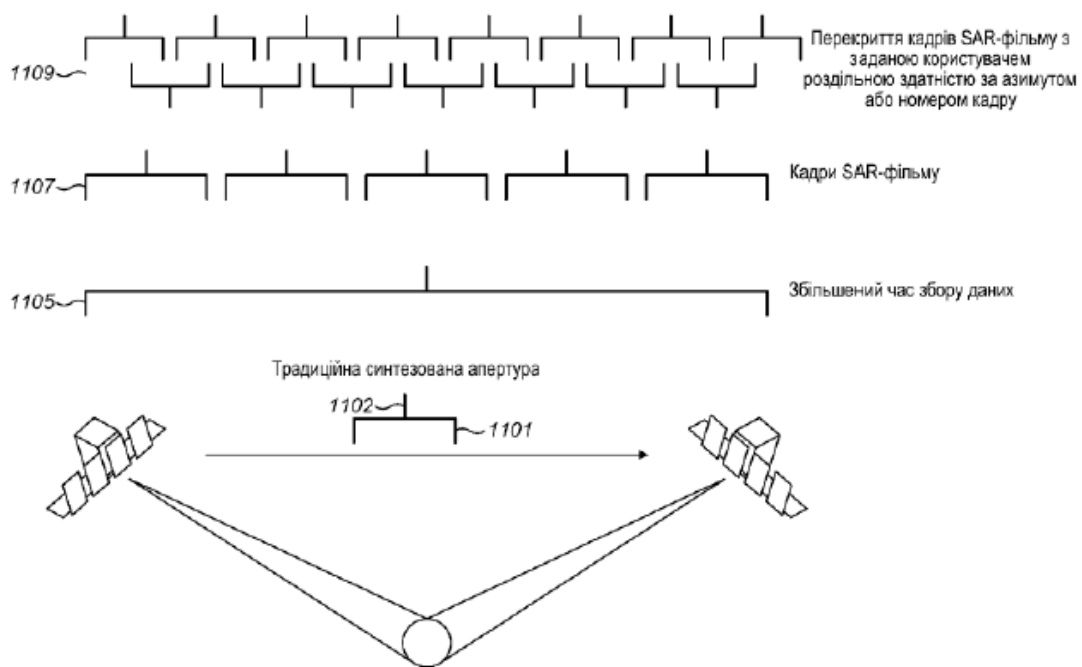
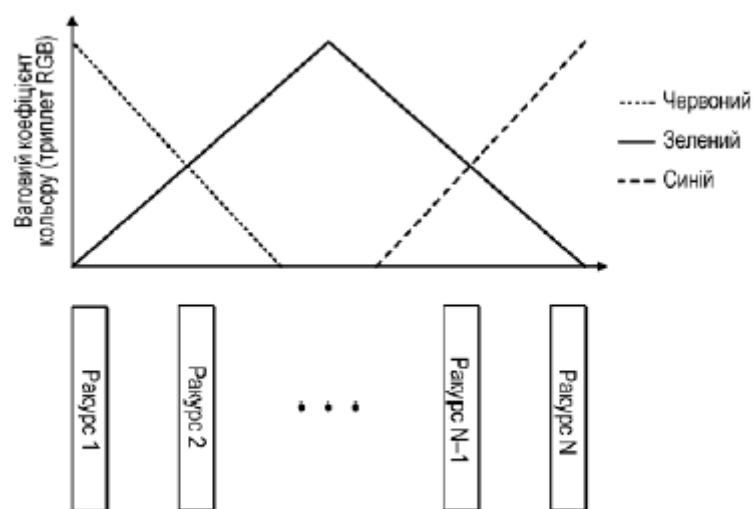


Fig. 11



Кольоровий композит ракурсів тривалої зйомки (відеокадри).

Фиг. 12



Фиг. 13



Fig. 14



Fig. 15