

Коломійцев О. В., Кудряшов В. Є., Панченко В. І., Татьянако Д. М.

РОЗНЕСЕНА ДВОПОЗИЦІЙНА СИСТЕМА РАДІОМЕТРИЧНОГО КАРТОГРАФУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ

Анотація: проведено аналіз ефективності рознесеної радіометричної системи для картографування об'єктів. Отримано рівняння дальності дії з урахуванням радіояскравих температур завад. Запропоновано застосування кореляційного радіометра та вимірювання доплерівської поправки частоти для підвищення чутливості та розрізняювальної здатності.

Ключові слова: доплерівська поправка частоти, картографування, кореляційний радіометр, радіоясрава температура, рознесена радіометрична система

Abstract: the paper analyzes the efficiency of a distributed radiometric system for object mapping. A range equation, incorporating radio brightness temperatures of interfering surfaces, was derived. The study proposes using a correlation radiometer and measuring the Doppler frequency shift to enhance sensitivity and resolution.

Keywords: correlation radiometer, distributed radiometric system, Doppler frequency correction, mapping, radiobrightness temperature

Рознесена радіометрична система (РМС) є високочутливим комплексом, який призначено для дистанційного вимірювання фізичних параметрів об'єктів та визначення їх кінематичних характеристик. Завдяки рознесенню приймальних елементів, РМС здатна вимірювати не тільки кутові координати, але й різницю ходу (або фазовий зсув) та швидкість земних та космічних об'єктів картографування. Такий підхід забезпечує її високу ефективність у задачах дистанційного зондування землі та космічного моніторингу.

Актуальність роботи полягає у необхідності підвищення дальності дії, чутливості та розрізняювальної здатності РМС, особливо при картографуванні слабкоконтрастних об'єктів на тлі сильних, корельованих завад (атмосфера та земна поверхня).

Ключовим елементом аналізу ефективності РМС є рівняння її дальності дії. На відміну від класичних радіолокаційних рівнянь, у РМС, що працюють у пасивному режимі, необхідно враховувати теплові та шумові фактори [1, 2].

Отримано рівняння щодо визначення дальності дії РМС, яке формулюється з урахуванням радіояскравих температур (РЯТ) навколишнього середовища, атмосфери та поверхонь, що створюють завади [3]:

- РЯТ атмосфери вносить адитивний шум;
- РЯТ фону та поверхонь, що заважають, є основними джерелами некорисного сигналу, з яким необхідно боротися.

Фактично, РМС вимірює контраст між РЯТ об'єкта та РЯТ фону. Чим більший даний контраст, тим більшою буде дальність дії РМС.

Для ефективного виявлення слабких теплових сигналів на тлі сильних завад запропоновано схему кореляційного радіометра [4, 5]. Його робота ґрунтується на множенні сигналів, отриманих на рознесених приймальних елементах та інтегруванні добутку. Такий підхід дозволяє придушувати некорельовані шуми та корельований фон, який може бути присутнім в обох приймачах, але має різну фазу.

Таким чином, кореляційна обробка підвищує чутливість РМС та покращує розрізняювальну здатність за різницею ходу.

При типових технічних характеристиках РМС та виявленні вологого ґрунту з температурою T (~ 194 К) площиною S (10^2) на однорідному фоні (~ 252 К) отримано дальність дії РМС, яка складає $R_i \sim 5,4$ км. При такій дальності отримано наступні параметри картографування:

- смуга картографування: $P_k \sim 3$ км;
- кількість пікселів зображення різниць ходу (вказує на кількість розрізняваних ступенів різниці ходу): $N_r \sim 6$.

- відстань між пікселями на поверхні: $\Delta_r \sim 27$ м.

Вимірювання доплерівської поправки частоти F_d дозволяє підвищити точність визначення швидкості та, що більш важливо, знизити рівень некорисного фону, який розмазаний

по частотному спектру. При використанні 10 вихідних фільтрів для вимірювання F_d

спостерігаються наступні особливості:

- зменшення дальності дії: R_i до $\sim 3,5$ км;
- встановлена смуга картографування: $\Pi_k \sim 1,2$ км;
- відстань між пікселями на поверхні: $\Delta_r \sim 17$ м;
- кількість пікселів: $N_r \sim 6$.

Отримані значення Δ_r та Π_k визначені за умови, що F_d об'єкта (трави) співпадає з головною пелюсткою тіла невизначеності фону, який корельовано.

При зростанні F_d у 1,5 рази рівень фону, що заважає, зменшується до ~ -13 дБ та дальність дії R_i збільшується у $\sim 1,26$ рази, отримано наступне:

- нова дальність: $R_i \sim 4,4$ км;
- зменшення смуги картографування; Π_k до ~ 2 км;
- збільшення відстані між пікселями; Δ_r до ~ 22 м.

Запропоновано варіант визначення дальності дії РМС для картографування космічних об'єктів з надземної орбіти. У такому випадку РМС працює як наземний або орбітальний комплекс моніторингу. Основною перевагою є можливість використання кореляційної схеми для

вимірювання F_d та розрізнявальної здатності за різницею ходу навіть для віддалених,

слабовипромінюючих об'єктів на тлі космічного фону [6].

Таким чином, збільшення дальності дії R_i досягається при вимірюванні доплерівської поправки частоти F_d , особливо за рахунок зниження фону, який корельовано з корисними

сигналами. Дана обставина підтверджує ефективність кореляційної обробки в поєднанні з частотно-селективними методами для виділення слабкого теплового контрасту об'єкта на сильному, корельованому фоні.

Список використаних джерел:

1. Kudryashov V. E. A Bistatic Radiometry System for Object Mapping. *Telecom Rad Eng* 2018, 77 (20), 1813–1826. DOI 10.1615/TelecomRadEng.v77.i20.40.
2. Kudryashov V., Litovchenko D., Filippenkov O. Multi-Channel Reception System for Radiometry Signals. In *2020 IEEE Ukrainian Microwave Week (UkrMW)*; IEEE: Kharkiv, Ukraine, 2020; pp 1–5. DOI 10.1109/UkrMW49653.2020.9252699.
3. Коломійцев О. В., Токар О. А., Кудряшов В. Є., Катунін А. М., Куравська Н. М., Хабоша С. М., Шупило Р. М., Кравченко В. Л., Рагулін В. В., Сапон В. І., Шинкаренко Є. О. Випромінююча здатність об'єктів вимірювання та їх радіояскраві температури. *ГРААЛЬ НАУКИ : міжнар. наук. журнал*. – Вінниця : ГО «Європейська наукова платформа»; НУ «Інститут науково-технічної інтеграції та співпраці», 2024. – No 47. – С. 526-534. DOI 10.36074/grail-of-science.20.12.2024.
4. Кудряшов В. Є., Коломійцев О. В., Комаров В. О., Катунін А. М., Слободенюк Ю. В., Шупило Р. М., Хома В. В., Лук'янов Д. А., Співак Т. А., Землянський Д. О., Тітова А. В. Особливості радіотеплового випромінювання природних та штучних об'єктів. *ГРААЛЬ НАУКИ : міжнар. наук. журнал*. – Вінниця : ГО «Європейська наукова платформа»; НУ «Інститут науково-технічної інтеграції та співпраці», 2025. – No 49. – С. 711-720. DOI 10.36074/grail-of-science.21.02.2025.
5. Кудряшов В. Є., Коломійцев О. В., Комаров В. О., Катунін А. М., Слободенюк Ю. В., Поринос Є. О., Шупило Р. М., Хома В. В., Співак Т. А., Луценко А. С., Сургай В. І. Особливості

теплого випромінювання об'єктів у радіодіапазоні. *ГРААЛЬ НАУКИ : міжнар. наук. журнал*. – Вінниця : ГО «Європейська наукова платформа»; НУ «Інститут науково-технічної інтеграції та співпраці», 2025. – No 48. – С. 321-329. DOI 10.36074/grail-of-science.10.01.2025.

6. Кудряшов В. Є., Коломійцев О. В., Комаров В. О., Катунін А. М., Собора А. І., Коломієць Б. І., Ясинський О. М., Шабанов Д. М., Богдан С. І., Шинкаренко Є. О., Кувшинова О. С. Особливості розрахунку радіоприймального пристрою кореляційного виявляча-вимірювача радіометричних сигналів. *Proceedings of the 11th International Scientific and Practical Conference «Theory and Practice of Science: Key Aspects»* (April 19-20, 2025). Rome, Italy.

№ 56(244), 2025. – С. 418-430. DOI 10.51582/interconf.19-20.04.2025.048.

Коломійцев Олексій Володимирович – д.т.н., професор, Заслужений винахідник України, професор кафедри комп'ютерної інженерії та програмування, Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, м. Харків, e-mail: alexus_k@ukr.net, ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8228-8404>

Кудряшов Віктор Євгенович – к.т.н., с.н.с., старший науковий співробітник, Інститут радіофізики та електроніки НАН України ім. О.Я. Усікова, м. Харків, e-mail: victor.e.kudryashov@gmail.com, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7055-5357>

Панченко Володимир Іванович – ст. викл. кафедри комп'ютерної інженерії та програмування, Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, м. Харків, e-mail: Volodymyr.Panchenko@khpi.edu.ua, ORCID <https://orcid.org/0000-0003-3364-3398>

Татьянко Дмитро Миколайович – к.ф.-м.н., заступник завідувача відділу, Інститут радіофізики та електроніки НАН України ім. О.Я. Усікова, м. Харків, e-mail: tatyanko@ukr.net, ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1482-1769>

Oleksii Kolomiitsev – Doctor of Engineering Science, Professor, Honored Inventor of Ukraine, Professor of the Computer Engineering and Programming Department, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, e-mail: alexus_k@ukr.net, ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8228-8404>

Viktor Kudriashov – PhD in Engineering, Senior Researcher, Senior Researcher, O.Ya. Usikov Institute for Radiophysics and Electronics of National Academy of Sciences of Ukraine, Kharkiv, e-mail: victor.e.kudryashov@gmail.com, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7055-5357>

Volodymyr Panchenko – Senior Lecturer of the Computer Engineering and Programming Department, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, e-mail: Volodymyr.Panchenko@khpi.edu.ua, ORCID <https://orcid.org/0000-0003-3364-3398>

Dmytro Tatyanko – PhD in Physical and Mathematical Sciences, Deputy Head of Department, O.Ya. Usikov Institute for Radiophysics and Electronics of National Academy of Sciences of Ukraine, Kharkiv, e-mail: tatyanko@ukr.net, ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1482-1769>