УДК 621.396.96

О.П. Кондратенко, П.А. Коваленко, А.М. Коржов

ОЦІНКА І ПОРІВНЯННЯ ПОЛІВ ПІДСВІЧУВАННЯ, СТВОРЮВАНИХ РІЗНИМИ РАДІОТЕХНІЧНИМИ СИСТЕМАМИ

Пропонується методика оцінки показників полів підсвічування, що створюються різними радіотехнічними системами. На основі порівняльної оцінки полів телевізійного і мобільного підсвічування обгрунтовується можливість використання сигналів передавальних станцій стільникового зв'язку для виявлення повітряних об'єктів.

Ключові слова: *поле підсвічування, радіотехнічна система, станція стільникового зв'язку, повітряний об'єкт.*

Постановка проблеми та аналіз літератури

Одним з перспективних шляхів розвитку радіолокації є багатопозиційна радіолокація, що має ряд переваг стосовно однопозиційної.

Серед багатопозиційних радіолокаційних систем інтенсивно розвиваються активні системи з зовнішнім підсвічуванням, які використовують випромінювання сторонніх відповідно до системи передавальних систем. Прикладом їх створення і функціонування є білоруська система “Поле”, американська система “Silent Sentry”, французька “Dark” [1, 2]. Дані системи використовують випромінювання телевізійних центрів або УКВ радіостанцій.

Останнім часом з'явилась безліч радіотехнічних систем (наприклад, системи мобільного зв'язку GSM, CDMA, D-AMPS, NMT), випромінювання яких може використовуватися в інтересах радіолокаційного виявлення повітряних об'єктів (ПО). Передавачі даних систем створюють поле підсвічування, параметри якого визначають можливість виявлення ПО. Ефективність полів підсвічування, тобто кількісна міра корисності різних систем, істотно різна внаслідок відмінностей характеристик використовуваних радіосигналів, особливостей побудови і функціонування систем. Тому на етапі створення нових активних систем необхідна оцінка ефективності полів підсвічування, що дозволить обґрунтовано вибирати джерела випромінювання.

Раніше задача оцінки полів підсвічування не ставилася, тому що були відсутні альтернативні телебаченню джерела випромінювання. На теперішній час у відомій літературі відсутні єдині показники ефективності поля підсвічування.

Мета статті – обґрунтування показників і розробка методики порівняння полів підсвічування для визначення можливостей використання радіосигналів мобільного зв'язку з метою радіолокації.

Основний матеріал

Проведемо порівняння полів підсвічування, які створюються телевізійними радіоцентрами і базовими станціями мобільного зв'язку. Як досліджуваний район для кількісного аналізу виберемо Одеську і Львівську області, де є необхідні вихідні дані.

Для порівняльної характеристики полів підсвічування необхідно вибрати показник, яким описує ці поля. Відомо, що стільниковий зв'язок стандарту GSM структурно складається з безлічі передавальних станцій (ПС) діапазону 900 і 1800 Мгц. Щільність розміщення ПС залежить від інформаційної завантаженості системи, тобто від передбачуваної кількості абонентів. У зв'язку з цим територіальна і частотна (за діапазонами ПС) щільність розміщення ПС у місті та за його межами різна. Підтвердженням тому є результати проведеного аналізу щільності розміщення ПС в Одеській і Львівській областях (табл. 1).

Таким чином, реальне поле підсвічування передавачами мобільного зв'язку є просторовим утворенням. Параметри поля підсвічування можуть змінюватися в широких межах залежно від територіальної щільності розміщення ПС, параметрів кожної ПС (кількості секторів, кількості частотних каналів у кожному секторі та ін.), конкретних умов рельєфу місцевості. Тому для внутрішньої структури поля підсвічування характерна значна просторова неоднорідність.

© О.П. Кондратенко, П.А. Коваленко, А.М. Коржов

Таблиця 1

Щільність розміщення передавальних станцій

Щільність розміщення ПС в Одеській області, ПС/км^2		
Місто		
GSM-900	GSM-1800	Усього
1	3	4
Поза містом		
GSM-900	GSM-1800	Усього
0,01	0,003	0,013
Щільність розміщення ПС у Львівській області, ПС/км^2		
Місто		
GSM-900	GSM-1800	Усього
0,5	2	2,5
Поза містом		
GSM-900	GSM-1800	Усього
0,01	0,001	0,011

Просторова специфіка структури мережі ПС і параметри кожної ПС забезпечують формування поля підсвічування над визначеною територією. Утворене поле підсвічування пов'язане з визначеним повітряним простором. Отже, логічно для порівняльної оцінки використовувати просторово розподілений показник якості поля підсвічування $E_{пп}$, однозначно пов'язаний з цільовою функцією системи:

$$E_{пп} = \Psi(x, y, z), \qquad (1)$$

де $\Psi(x, y, z)$ – значення показника якості поля підсвічування;

x, y, z – координати точки простору.

При обґрунтуванні показника оцінки поля підсвічування необхідно виходити з того, що він повинний об'єктивно відповідати розв'язуваним задачам і принципам функціонування системи. Основною задачею (цільовою функцією) розроблюваної системи є забезпечення безперервного радіолокаційного моніторингу повітряного простору з метою своєчасного виявлення рухливих об'єктів у необхідному діапазоні висот і швидкостей польоту на максимально можливих дальностях при заданих показниках якості. Показники якості виявлення однозначно визначаються параметром виявлення ν, який розраховується за формулою [3]:

$$\nu = \frac{P_{пр}}{P_{ф}}, \qquad (2)$$

де $P_{пр}$ – потужність приймального луна-сигналу;

$P_{ф}$ – потужність фону.

Потужність луна-сигналу прямо пропорційна щільності потоку енергії, яка впливає на повітряний об'єкт. У розглядуваній системі ПО може одночасно опромінюватися декількома джерелами випромінювання, тобто одночасно знаходитися в полі підсвічування декількох джерел. Тому в кожній точці простору необхідно розглядати суму щільностей потоків енергії S_{Σ} від різних джерел підсвічування:

$$S_{\Sigma}(x, y, z) = \sum_{i=1}^{n} S_i(x, y, z) =$$

$$= \sum_{i=1}^{n} \frac{G_i(x, y, z) P_i T_{сп}}{4\pi r_i^2(x, y, z)}, \qquad (3)$$

де n – кількість джерел підсвічування;

$S_i(x, y, z)$ – значення щільності потоку потужності в точці простору з координатами (x, y, z), створювана i-м джерелом підсвічування;

$G_i(x, y, z)$ – значення коефіцієнта підсилення антени i-го джерела підсвічування в розглядуваному напрямку;

P_i – значення середньої потужності випромінювання i-го джерела підсвічування;

$T_{сп}$ – час спостереження;

$r_i(x, y, z)$ – відстань від i-го джерела підсвічування до довільної точки простору з координатами (x, y, z).

Таким чином, вираз (3) може виступати як універсальний показник оцінки поля підсвічування. Він є залежністю сумарної щільності потоку енергії опромінення (підсвічування) від просторових координат – “енергетичний рельєф” поля підсвічування. Для зручності сприйняття “енергетичного рельєфу” можна використовувати площинні перерізи.

Разом з тим розрахунок оцінки поля підсвічування відповідно до (3) вимагає повної апріорної визначеності, тобто необхідно знати параметри кожного джерела підсвічування (потужність випромінювання, висоту підйому випромінюючої антени та її характеристики), просторовий розподіл джерел

підсвічування (геометрію системи), цифрові карти місцевості для урахування впливу підстилаючої поверхні для необхідних діапазонів хвиль. Тому, відповідно до (3), є сенс проводити розрахунок для конкретно заданого району при наявності необхідного обсягу інформації. В інших же ситуаціях можна робити порівняння полів підсвічування не за допомогою просторового розподілу показника якості (3), а за допомогою методу контурних меж при визначених допущеннях.

При використанні методу контурних меж також потрібен критерій, за яким провадиться обчислення контурної межі. Найбільш простим критерієм її визначення є критерій обчислення дальності прямої видимості, що при нормальній рефракції визначається відомим виразом

$$r_{пр} = 4{,}12(\sqrt{h_{пер}} + \sqrt{h_{по}}), \qquad (4)$$

де $r_{пр}$ – дальність прямої видимості, км;

$h_{пер}$ – висота підвісу передавальної антени, м;

$h_{по}$ – висота польоту повітряного об'єкта, м.

Таким чином, при обраному критерії для заданої висоти польоту ПО і реальних висот підвісу антен обчислюються значення дальності прямої видимості. Однак цей критерій не враховує середню потужність випромінювання передавальних позицій, що є істотним недоліком.

Тому для порівняння полів підсвічування будемо користуватися контурними межами рівної щільності потоку потужності. Нехай є деяке еталонне джерело підсвічування, яке характеризується середньою потужністю випромінювання $P_{ет}$, коефіцієнтом підсилення передавальної антени $G_{ет}$, висотою підвісу передавальної антени $h_{ет}$. Дане джерело випромінювання створює поле підсвічування, що на деякій заданій відстані від передавальної позиції $r_{зад}$ характеризується конкретним значенням щільності потоку потужності

$$S_{ет} = \frac{P_{ет}G_{ет}}{4\pi r_{зад}^2}. \qquad (5)$$

Вибір значення $r_{зад}$ здійснюється відповідно до формули (4) і є контурною межею для еталонного джерела випромінювання.

Нехай тепер є альтернативне джерело підсвічування, що аналогічно з еталонним характеризується параметрами $P_{ал}$, $G_{ал}$, $h_{ал}$. Суть методу полягає в тому, що для альтернативного джерела обчислюється відстань, на якій створювана цим джерелом щільність потоку потужності дорівнює щільності потоку потужності еталонним джерелом $S_{ет}$ на відстані $r_{зад}$, тобто

$$r_{ал} = \sqrt{\frac{P_{ал}G_{ал}}{4\pi S_{ет}}}. \qquad (6)$$

Обчислене значення $r_{ал}$ є контурною межею поля підсвічування альтернативного джерела випромінювання.

Використання методу контурних меж рівної щільності потоку потужності для порівняння полів підсвічування передбачає кілька етапів.

1. Задається висота польоту ПО, на якій провадиться порівняння полів підсвічування.

2. Визначається еталонне джерело поля підсвічування і задаються відповідні параметри $P_{ет}$, $G_{ет}$, $h_{ет}$.

3. Визначається альтернативне джерело поля підсвічування і задаються відповідні параметри $P_{ал}$, $G_{ал}$, $h_{ал}$.

4. Відповідно до (4) визначається контурна межа $r_{зад}$ для еталонного джерела поля підсвічування.

5. Відповідно до (5, 6) визначається контурна межа $r_{ал}$ для альтернативного джерела випромінювання.

6. Розраховані значення контурних меж $r_{зад}$, $r_{ал}$ відображаються графічно для візуального відображення і порівняльного аналізу.

Один із варіантів порівняння полів за запропонованою методикою наведений на рис. 1, де відображені результати порівняльного аналізу полів телевізійного і мобільного підсвічування з використанням модифікованого критерію прямої видимості на висоті 1000 м. Аналіз проводився для Одеської області. Як еталонне джерело поля підсвічування виступав обласний передавальний телецентр в Одесі, який характеризується середньою потужністю випромінювання $P_{ет}$ = 7 кВт, коефіцієнтом підсилення передавальної антени $G_{ет}$ = 16, висотою підвісу передавальної антени $h_{ет}$ = 200 м. Як альтернативне джерело поля підсвічування використані ПС мобільного зв'язку, що характеризується $P_{ал}$ = 40 Вт, $G_{ал}$ = 50, $h_{ал}$ = 50 м.

Аналіз показує, що поле підсвічування сигна-

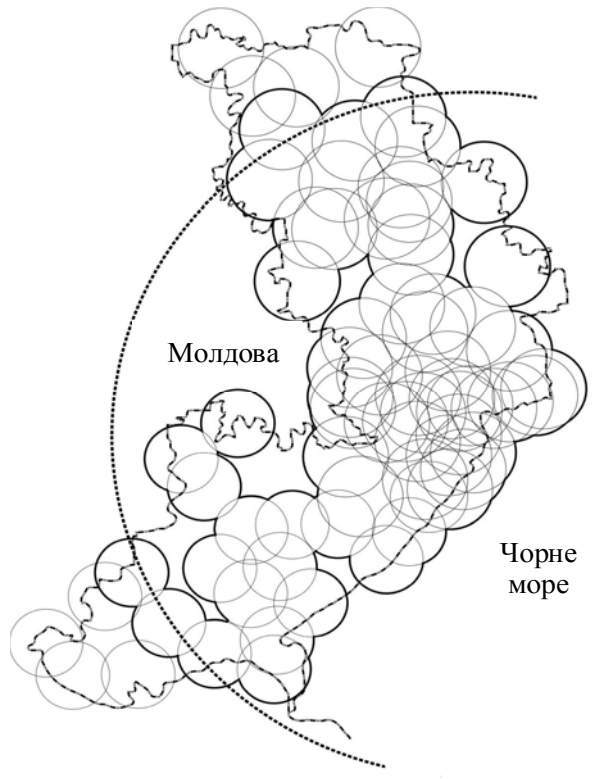

Рис. 1. Поля телевізійного і мобільного підсвічування

лами мобільного зв'язку на території України практично цілком збігається з полем підсвічування сигналами телевізійного центру. Це доводить можливість використання сигналів передавальних станцій мобільного зв'язку для радіолокаційного виявлення ПО.

Висновки

1. Запропоновані показники і методика порівняння полів підсвічування дозволяють оцінювати поля підсвічування для обґрунтованого вибору нових (перспективних) джерел випромінювання в інтересах радіолокаційного виявлення повітряних об'єктів.

2. Порівняльний аналіз полів телевізійного і мобільного підсвічування за допомогою методу контурних меж рівної щільності потоку потужності доводить можливість використання сигналів стільникового зв'язку в інтересах радіолокації.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кондратенко А.П. Роль и место нетрадиционной радиолокации в системе контроля воздушного пространства // Збірник наукових праць ХВУ. – Х.: 2002. – Вип. 1(39). – С. 87 – 90.

2. Griffiths H.D. From a Different Perspective: Principles, Practice and Potential of Bistatic Radar // IEEE Int. RADAR 2003. pape RA031000.pdf, Adelaide, Australia, 3 – 5 September, 2003.

3. Ширман Я.Д. Теоретические основы радиолокации. – М.: Сов. радио, 1970. – 560 с.

Надійшла 14.04.2006

Рецензент: д-р техн. наук професор А.В. Кобзев, Харківський університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба.