

УДК 621.396.67

DOI: 10.31673/2409-7292.2018.044449

В.Б. Толубко, Л.Н. Беркман,
Л.П. Крючкова, О.М. Ткаленко
<https://orcid.org/0000-0002-8509-6659>

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПРОФІЛЮ МІСЬКОЇ ЗАБУДОВИ НА ПОШИРЕННЯ СИГНАЛІВ GPS ТА МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ

Досліджується вплив на поширення радіохвиль висоти і щільності міської забудови. Розглядається комбінований статистично-детерміністичний метод визначення інтенсивності поля, заснований на тому, що вплив далекого оточення оцінюється статистично, а вплив ближніх забудов – детерміністичними прийомами. Метод здатний забезпечити отримання не тільки якісних, а й кількісних результатів.

Ключові слова: інтенсивність поля, профіль міської забудови, сигнали GPS, сигнали мобільного зв'язку, статистичний метод, детерміністичний метод, комбінований статистично-детерміністичний метод.

Вступ. На сучасному етапі розвитку суспільства спостерігається значне зростання задач, які вимагають виявлення та ідентифікації мобільних об'єктів спостереження шляхом аналізу інформації про дані об'єкти. Одним із інформативних параметрів, які дозволяють ідентифікувати об'єкт спостереження, є його координати. При цьому ймовірність правильної ідентифікації мобільних об'єктів спостереження значною мірою залежить від точності визначення їх координат.

Для розв'язання широкого спектра задач, зокрема, в системах безпеки банківських установ, застосовуються технології, які пов'язані з використанням глобальних навігаційних супутникових систем.

За останні роки відбулись істотні зміни в такій глобальній навігаційній супутниковій системі, як NAVSTAR GPS: збільшилась кількість функціонуючих супутників, суттєво підвищилась стабільність частоти генераторів супутників, використовуються нові алгоритми вирішення багатозначності фазових вимірювань, зросла кількість наземних станцій стеження тощо. Це збільшило кількість інформації для визначення координат об'єктів та підвищило точність часової синхронізації.

Положення об'єкта обчислюється завдяки використанню розміщеного на ньому GPS-приймача, який приймає та обробляє сигнали супутників космічного сегмента GPS-системи глобального позиціонування. Для визначення точних параметрів орбіт супутників та керування GPS-системою вона в своєму складі має наземні центри управління.

Сигнал супутника містить інформацію про його місцезнаходження і час передачі. За допомогою атомного годинника робота всього угруповання супутників чітко синхронізована. Приймач порівнює час передачі повідомлення з часом його отримання, орієнтуючись на свій внутрішній годинник. Ці вимірювання порівнюються з сигналами від декількох супутників і за їх результатами визначається точне місцеположення приймача в режимі реального часу.

У зв'язку з тим, що супутникова навігація стає основним засобом навігації, відповідно до документів ICAO (International Civil Aviation Organization) та Євроконтролю, до неї висуваються підвищені вимоги щодо точності, надійності, цілісності, що дозволяє її використання у банківських системах охорони рухомого майна.

Поширення радіохвиль в умовах міської забудови має складний характер. Великі споруди, розміри яких у багато разів перевищують довжину хвилі, створюють великі тіньові зони, а розсіяні і відбиті хвилі надають процесу поширення радіохвиль суттєво багатопроблемний характер, що в кінцевому підсумку формує поле зі складною інтерференційною структурою і різкими просторовими змінами рівня сигналу. Додаткові затухання спричиняються поляризацією випромінювання, властивостями будівельних матеріалів і розташуванням будівель. Це створює значні труднощі як для прогнозу умов роботи радіозасобів, так і для забезпечення надійного радіозв'язку, особливо при зв'язку з рухомими об'єктами.

Яскравим прикладом впливу матеріалів та численних архітектурних споруд на поширення сигналів може бути сигнал частотою $f_{L1} = 1575.42$ МГц і $f_{L2} = 1227.60$ МГц, який

© В.Б. Толубко, Л.Н. Беркман,

Л.П. Крючкова, О.М. Ткаленко, 2018

використовується в системах глобального позиціонування. Наслідком такого впливу є погіршення точності позиціонування об'єкта в просторі, що є критичним при використанні систем глобального позиціонування в системах безпеки банківських установ.

Слід зазначити, що на характер і рівень сигналів і завад суттєво впливають параметри антен. Складність завдань визначення рівня сигналу і сигнал/шуму полягає в тому, що необхідно знати не тільки максимальний коефіцієнт спрямованої дії антени D_{max} , але і коефіцієнт спрямованої дії антени в конкретному напрямку за азимутом θ і кутом місця $\varphi - D(\theta, \varphi)$. Способи зменшення побічного випромінювання антен, придушення бічного випромінювання призводять до ускладнення аналітичного опису антени в цілому, тому достовірною моделлю радіоканалу завжди спирається на експеримент.

В [1, Розділ 3] висвітлено широке коло питань щодо особливостей поширення радіохвиль в умовах міської забудови. З'ясовано види модуляції, які властиві тим чи іншим рівням співвідношення сигнал/шум (S/N) в місці приймання. Зокрема, вивчено механізм поширення радіохвиль міськими хвильовими каналами, що утворюються архітектурними спорудами.

Розширення знань про закони поширення радіохвиль міськими вулицями є актуальним і пов'язане з необхідністю проведення численних експериментів. Частина з них виконана в рамках представленого дослідження.

Мета дослідження полягала у визначенні впливу на поширення GPS та GSM сигналів профілю міської забудови для підвищення ефективності банківських систем охорони рухомого майна.

Поєднання статистичних та детерміністичних методів прогнозування стійкого радіозв'язку в умовах міської забудови. Проектування безпроводових цифрових систем передачі інформації багато в чому ґрунтується на проектуванні радіоканалу. При організації радіоканалів необхідно вміти розраховувати характеристики сигналу в будь-якій точці простору в межах всієї зони обслуговування. Основними фізичними процесами, що визначають характер поширення радіосигналу в умовах міської забудови є відбиття, дифракція і розсіювання.

При проектуванні стільникових мереж рухомого радіозв'язку найбільш складною проблемою є розрахунок напруженості поля або залежності втрат потужності сигналу від відстані. На цьому етапі використовується методика прогнозу зон покриття на основі статистичної моделі напруженості поля сигналу в точці прийому. В даний час існує ряд математичних моделей, що дозволяють розрахувати середнє значення прийнятої в міських умовах потужності в залежності від різних параметрів, що характеризують конкретні умови мобільного зв'язку [1, Розділ 2].

Статистичні моделі базуються на результатах експериментальних досліджень напруженості електромагнітного поля, тому вони часто називаються експериментальними моделями. Історично першою була модель Окамура-Хата, отримана в результаті багаторічних вимірювань поля в Токіо. Модель заснована на аналітичній апроксимації результатів практичних вимірювань.

Модель Кся-Бертоні дозволяє врахувати ряд додаткових параметрів і тим самим забезпечити більшу точність розрахунку. Вона побудована на основі рівнянь хвильової оптики і розглядає різні механізми поширення радіохвиль в умовах міської забудови: поширення у вільному просторі, дифракцію на краях дахів будинків, відбиття від стін будівель. Модель Кся-Бертоні дозволяє оцінити середній рівень втрат і в тих випадках, коли антена базової станції розташована на рівні дахів або нижче рівня дахів. Дана модель пропонує простий і зручний спосіб отримання попередніх оцінок рівня середніх втрат в каналі зв'язку. Недоліком моделі є обмеження по дальності (кілька сотень метрів) і умовами застосування.

Значний практичний інтерес представляє також статистична модель Лі, що складається з двох частин. Перша частина використовується для передбачення втрат при поширенні

радіохвиль над відносно плоскою поверхнею, без прийняття до уваги територіальних особливостей. У другій частині за основу береться результат, отриманий в першій, і виконується більш точний прогноз. Якщо пряма видимість між приймачем і передавачем існує, то враховується вплив відбитих радіохвиль. Якщо умова прямої видимості не задовольняється, то моделюється дифракція радіохвиль на перешкодах вздовж шляху поширення сигналу.

Незважаючи на широке застосування на практиці статистичних моделей, їх недоліки обумовили необхідність розробки детерміністичних моделей. У цих моделях враховуються особливості території і її забудови, інформація про які зберігається в спеціальній базі даних – цифровій карті місцевості, яка є невід'ємною частиною сучасних геоінформаційних технологій. Відомі в даний час детерміністичні моделі враховують дифракцію на будівлях, яка вносить основний вклад в ослаблення радіохвиль при роботі піко і мікростільникових систем, в зв'язку з чим їх називають дифракційними моделями.

Спроби застосувати детерміністичний підхід для розрахунку поля на великих територіях пов'язані з рядом додаткових обмежень: будівлі розглядаються як ідеальні відбивачі; відбите поле розраховується за формулами, справедливим лише для далекої зони, хоча точки, що знаходяться в ближній зоні і в зоні Френеля, представляють не менший (якщо не більший) інтерес; ігнорується поле, відбите затінюючими об'єктами в напрямку від джерела. Для зменшення обсягу обчислень місто розбивається на окремі райони. При розрахунку поля в межах кожного району враховуються тільки його параметри забудови, що призводить до похибок, які впливають не тільки на абсолютний рівень поля, але і на конфігурацію тінювих зон. Інтерференційні явища, по суті не розглядаються; в районі інтерференції дається оцінка інтенсивності тільки одного з відбитих променів, що в кінцевому рахунку суперечить самій ідеї детерміністичного підходу.

Враховуючи викладене, в великих районах, де середній рівень сигналу від базової станції сумірний з рівнем порогу спрацьовування мобільного приймального пристрою, найбільш доцільним видається поєднання статистичних та детерміністичних підходів.

При достатній висоті розміщення антени базової станції середній кутовий розподіл інтенсивності випромінювання, що приходить до рухомого об'єкту, антена якого розташована значно нижче за дахи навколишніх будівель, описується формулою (1)

$$W(\varphi) \approx A\sqrt{1 - \cos \varphi} \quad (1)$$

де φ – кут між напрямком приходу одноразово відбитої хвилі і напрямком на джерело.

Функцію під інтегралом можна трактувати як густину кутового розподілу прийнятої потужності.

Вираз (1) справедливий при достатньому віддаленні точки спостереження від базової станції, однак, чим більша щільність забудови, тим впевненіше можна користуватися (1) навіть при наближенні до базової станції.

Логічно припустити, що «вилучення» будівель, розташованих безпосередньо поблизу точки спостереження, істотно не змінить виду функції $W(\varphi)$, яка описує середній кутовий розподіл. Тоді положення локальних тінювих зон можна знайти, вирішуючи задачу на цій «вилученій» групі будівель (з урахуванням відбиття від землі) при опроміненні їх кутовим спектром хвиль. При цьому, з огляду на те, що точки спостереження розташовані в ближній зоні перешкод, достатньо використовувати геометрооптичне наближення і визначати зону тіні як сукупність точок, де відсутня поле при опроміненні з будь-якого напрямку кутового спектра хвиль.

Таким чином, сутність комбінованого статистично-детерміністичного методу визначення інтенсивності поля зводиться до наступного: вплив всього далекого оточення оцінюється статистичним, а вплив ближніх перешкод, що визначають зони тіні – детерміністичним методом, заснованим на наближенні геометричної оптики. Такий підхід

дозволяє істотно зменшити помилки розрахунку, властиві чисто детерміністичним підходам, коли при розрахунку тінювих зон враховуються тільки будівлі певного невеликого району. Зазначені помилки особливо великі для низько розташованих точок спостереження, віддалених від базової станції. Пояснюється це тим, що для низько розташованих точок різко зростає ймовірність приходу хвиль з напрямку, протилежного напрямку на базову станцію і близьких до нього, але саме ці відбиття зазвичай і ігноруються.

При розрахунку за цим алгоритмом вважаються істотними тільки ті зони тіні, лінійні розміри яких перевищують інтервал усереднення близько 20 м. Слід зазначити, що абсолютний рівень поля в області тіні залежить від таких факторів, як просочування частини енергії падаючої хвилі через будівлю, тонкі дифракційні ефекти тощо. Тінюві зони, що визначаються без урахування цих ефектів, слід характеризувати тільки як потенційно небезпечні.

Експериментальні дослідження. Дослідження поширення сигналу від супутників системи GPS проводилось з використанням програмного продукту Visual GPS.

У вкладці «Азимут» спостерігалось місце розташування усіх доступних на даний момент супутників системи GPS (номер кожного супутника, його азимут та кут над горизонтом).

У вкладці «Якість сигналу» здійснювалась оцінка рівня сигналу в дБ від кожного конкретного супутника.

Оцінка поточного місця розташування, похибки визначення місця розташування DOP та візуальне спостереження статистичної зміни свого розташування здійснювались у вкладці «Огляд». За еталон для порівняння приймалися отримані дані GPS приймачем на околиці міста Київ за умови «відкритого неба» і найменшого рівня різного роду високочастотних завад.

Фрагмент даних, отриманих при дослідженні у житловому масиві м. Києва наведено на рис.1.

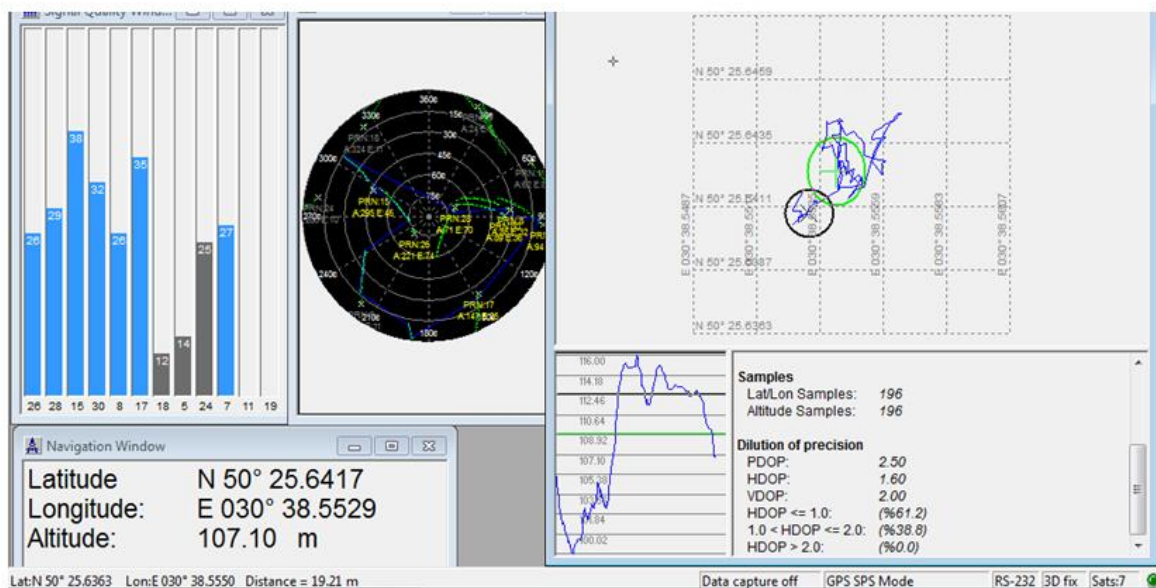


Рис. 1. Фрагмент даних, отриманих при дослідженні у житловому масиві.

Проблеми з мережею GPRS (рис. 2) спостерігались, коли охоронний об'єкт розташовувався в умовах щільної багатоповерхової забудови, на перших поверхах будівель. Якщо розглядати банківські установи, то така проблема спостерігається в касових вузлах, де встановлені армовані куленепробивні віконця.



Рис. 2. Фрагмент даних, отриманих у касовому вузлі відділення банку.

В результаті проведених досліджень встановлено:

Середній рівень сигналу від супутників на околиці міста становить 43 дБ. Точність визначення координат GPS приймачами в горизонтальній площині складає 1-2 метри (за умови гарної видимості небосхилу).

При знаходженні GPS приймача в умовах щільної міської забудови, коли значна частина небосхилу прихована розташованими поруч будівлями, розрахунки ведуться за меншою кількістю сигналів від супутників, що призводить до зниження точності визначення координат об'єктів.

Точність визначення координат суттєво залежить від якості самого приймача GPS, використовуваних антен і їх правильного розміщення на об'єкті.

Виявлені при аналізі експериментальних результатів залежності поширення радіохвиль уздовж вуличних каналів характерні для мікрохвильових кіл, що надає можливість використання їх теорії для побудови моделі хвильових каналів, утворених архітектурними спорудами [1, Розділ 3].

Враховуючи актуальність розробки завадостійких методів передачі цифрової інформації радіоканалами доцільно розробити методику прогнозування загасання в розгалужених вуличних радіоканалах з використанням моделі хвильових каналів, утворених архітектурними спорудами.

Список використаних джерел

Лихограй В.Г., Крючкова Л.П., Стрельницький А.А., Стрельницький А.Е., Хорошко В.А., Цопа А.И., Шокало В.М. Производительность и помехозащищенность радиоканалов систем абонентского радиодоступа: [учебное пособие] / Под ред. проф. В.М. Шокало, проф. В.А. Хорошко. – Харьков: КП «Городская типография», 2011. – 294 с.