

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕДАВАННЯ МУЛЬТИМЕДІЙНОЇ ІНФОРМАЦІЇ У СИСТЕМІ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ ТРЕТЬОГО ПОКОЛІННЯ ЗАСОБАМИ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ MATLAB

¹Інститут комп'ютерних технологій
Національного авіаційного університету
²Національний технічний університет України «КПІ»

Розглянуто структуру імітаційної моделі MATLAB лінії зв'язку між базовою станцією та абонентом для системи мобільного зв'язку третього покоління. Проаналізовано особливості застосування зазначеної моделі. Отримано результати моделювання процесу передавання мультимедійної інформації для різних умов розповсюдження сигналу в радіоканалі з урахуванням мобільності абонента

Вступ

Зростання попиту на інформаційні послуги, що базуються на передаванні мультимедійної інформації спонукали міжнародний телекомунікаційний союз (ITU) до розробки сімейства стандартів для системи мобільного зв'язку третього покоління 3G (3rd Generation). У результаті спільної роботи вчених та виробників телекомунікаційного обладнання було створено стандарт Універсальної системи мобільного зв'язку UMTS (Universal Mobile Telecommunications System). У цій системі застосовано метод багатостанційного доступу з кодовим розділенням каналів – широкосмуговий CDMA (WCDMA).

Однією з корисних властивостей розробленого стандарту є можливість інтегрувати нову систему з уже існуючими мережами другого покоління, що може забезпечити можливість швидкого й успішного її впровадження. З метою забезпечити більш ефективне використання частотних ресурсів у системі 3G передбачено можливість роздільно передавати сигнальні потоки різного типу: мовний, цифрові дані, відео тощо.

UMTS походить від існуючого стандарту GSM, але надає можливість широкосмугового транспортування інформації, використовуючи протоколи високошвидкісного приймання пакетних даних HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) та високошвидкісного пакетного передавання даних HSUPA (High Speed Uplink Packet Access).

На відміну від GSM, абонентський термінал мережі UMTS має можливість одночасно приймати сигнали від кількох базових станцій без розриву з'єднання (м'який хендовер). Дану процедуру було застосовано для поліпшення якості прийому у випадку багатопроменевого поширення радіохвиль.

Надійність стільникового зв'язку та якість передавання інформації залежать від низки об'єктивних факторів, серед яких характеристика місцевості (пересіченість, забудова), погодні умови, завантаженість мережі та електромагнітна обстановка. Абонент не може бути впевненим, що зв'язок буде надано якісно та в будь-яке місце і час. Крім того, швидкість та якість передавання даних у разі використання технології WCDMA залежить від швидкості пересування абонента в межах мережі [1].

Проблемою, що потребує вирішення та постійної уваги є залежність від зазначених факторів, через що не завжди можна забезпечити високий рівень якості передавання інформації. Щоб досягти високого рівня якості функціонування мультимедійної стільникової мережі необхідно здійснити ретельне планування мережі та здійснювати її адаптацію до нових умов, що виникають у процесі експлуатації. З метою забезпечити високий рівень якості послуг мобільного зв'язку, крім постійного моніторингу параметрів реальної сис-

теми, провідні оператори активно застосовують методи математичного та комп'ютерного моделювання [2].

Метою даної статті є розглянути особливості імітаційної моделі запропонованої у програмному комплексі *Matlab* для оцінки характеристик системи мобільного зв'язку третього покоління, побудованої за стандартом наземного радіодоступу *UMTS – UTRA (UMTS Terrestrial Radio Access)* та з'ясувати вплив властивостей середовища і характеристик мобільного приймача на якість прийнятих повідомлень в разі використання обладнання *3G WCDMA*. Основний акцент зроблено на оцінку якості передавання мультимедійної інформації.

Опис імітаційної моделі

У системах мобільного зв'язку процес передавання сигналів пов'язаний з обробкою та перетворенням цих сигналів кількома функціональними блоками на передавальній та приймальній стороні. Істотну роль у процесі передавання відіграє також середовище розповсюдження радіохвиль, параметри якого можуть змінюватись під впливом природних та штучних факторів. Імітаційна модель за допомогою якої можна досліджувати процес функціонування реальної мережі має максимально точно враховувати вплив кожного чинника, що існує у реальній мережі. Застосування такої моделі дозволить прогнозувати як надійність та якість зв'язку, так і якість надання інформаційних послуг.

Об'єктом дослідження, результати якого наведено у даній статті є модель системи модуляції з розширенням спектру у виділеному фізичному каналі *DPCH WCDMA* на лінії від базової станції до абонента. Зокрема досліджено модель «*WCDMA Spreading and Modulation – 3GPP WCDMA FDD (Rel 99) DownLink DPCH*», що відноситься до класу моделей для імітування фізичних процесів у реальних системах. Модель розроблено відповідно до стандарту *UTRA*. Спрощену структурну схему даної моделі наведено на рис. 1.

Модель містить окремі модулі, кожен з яких є моделлю блоку, функціонального вузла або середовища розповсюдження. Для кожного модуля залежно від призначення передбачено можливість змінювати параметри або алгоритм обробки сигнального потоку. У разі необхідності проаналізувати можливість застосування інших способів модуляції, фільтрування або кодування інформаційних потоків (відмінних від тих, що передбачено чинним стандартом) набір моделей окремих процесів можна доповнити відповідними моделями власної розробки.

Базова модель каналу передавання системи мобільного зв'язку третього покоління містить такі складові: модель формувача тестового сигналу *DPCH*, що є генератором випадкової сигнальної послідовності з біноміальним розподілом Бернуллі;

- модель блоку *QPSK*-модулятора;
- модель блоку розширення спектру шляхом використання ортогонального *OVSF*-коду зі змінним коефіцієнтом;
- модель блоку скремблювання із застосуванням комплексної послідовності Голда (у якому відбувається множення розширеного каналними кодами тестового сигналу на сигнал скремблювального коду);
- модель блоку фільтрування сигналу на виході передавача базової станції з АЧХ у вигляді кореня квадратного від припіднятого косинусу з коефіцієнтом згладжування $\alpha=0,22$;
- модель середовища розповсюдження з адитивним Гаусовим шумом (*AWGN*) та можливістю імітації умов багатопроменевого розповсюдження з Релеєвським розподілом завмирань;
- модель блоку вхідного фільтру абонентського приймача з АЧХ оберненою до вихідного фільтра передавача базової станції для попереднього відновлення амплітуди модульованого сигналу;
- модель *Rake*-приймача, яка компенсує вплив багатопроменевого поширення сигналів у каналі передавання, здійснює дешифрування та відновлення початкового спектру прийнятого сигналу;

- модель блоку демодулятора помилок прийнятих даних у порівнянні з переданими даними.
- вимірювач частоти появи бітових

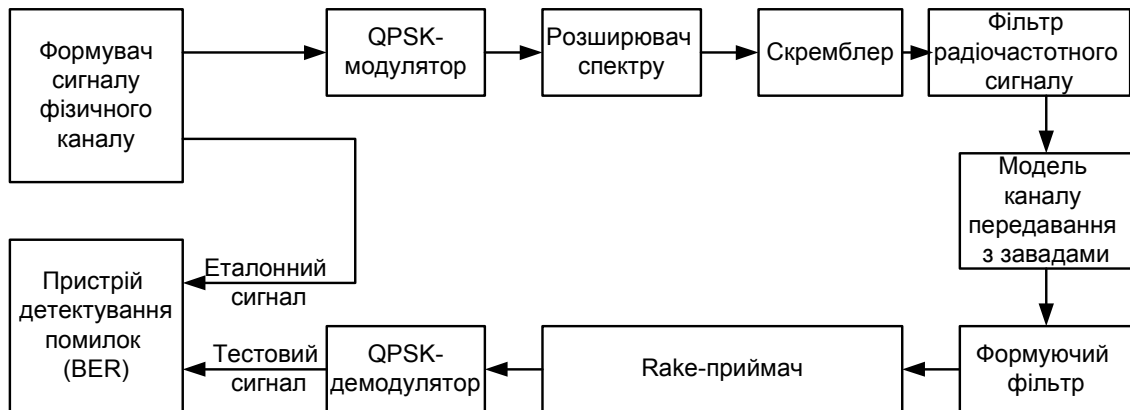


Рис. 1. Структурна схема моделі каналу передавання сигналів від базової станції до абонента системи мобільного зв'язку третього покоління відповідно до стандарту *UMTS – UTRA*

Вибір умов функціонування абонентської лінії та налаштування імітаційної моделі

У стандарті [3] зазначені вимоги до параметрів приймача абонентського терміналу та структура тестового сигналу стандарту *UMTS*, а також параметри фізичного каналу *WCDMA* на лінії «вниз», за яких можна буде забезпечити гарантовану якість зв'язку.

Виходячи із вимог стандарту, основним інтегральним параметром для оцінювання якості реалізації аналогової частини приймача та функціонування каналу зв'язку в цілому є імовірність приймання помилкового біта інформації – *Bit Error Ratio (BER)*.

Для з'ясування особливостей використання імітаційної моделі і дослідження функціонування абонентської лінії системи мобільного зв'язку третього покоління розглянуто процес передавання інформації сигналу із відповідними бітовими швидкостями:

- мова, 12,2 кбіт/с;
- дані (доступ до сторінок в мережі Інтернет), 64 кбіт/с;
- дані мультимедіа (якісний поточковий звук), 144 кбіт/с;
- високоякісний поточковий звук, передавання відеофайлів невеликого

об'єму, або потокове відео з низькою роздільною здатністю, 384 кбіт/с.

В ході комп'ютерного моделювання зроблено припущення, що цифрова частина приймача і канал поширення сигналу є ідеальними, і процеси аналого-цифрового перетворення не є джерелом помилок.

Вимірювання імовірності виникнення помилкового біта інформації під час передавання сигналу радіоканалом здійснено віртуальним пристроєм для детектування помилок (*BER*). На один із його входів надходить тестовий сигнал, який пройшов каналом зв'язку та аналоговою частиною приймача, а на інший – опорний сигнал виділеного фізичного каналу *DPCH* безпосередньо з виходу генератора.

Під час моделювання з використанням моделі «*WCDMA Spreading and Modulation – 3GPP WCDMA FDD (Rel 99) DownLink DPCH*» можна змінювати такі параметри моделі:

- умови поширення сигналів (вибір кількості променів, що одночасно надходять на абонентський приймач);
- відношення сигнал/шум у каналі передавання (*C/I*), дБ;
- кількість кореляторів, що активуються у *RAKE*-приймачі (в залежності від характеристик прийнятого сигналу);

- відносну затримку прийнятих сигналів, нс;
- швидкість пересування мобільної абонентської станції, км/год.

Для спрощення досліджень, які необхідно здійснювати під час планування та контролю функціонування мережі у моделі передбачено кілька (сім) уніфікованих умов функціонування абонентської лінії зв'язку. Ці умови охарактеризовано певним набором параметрів (Профілями):

1. Абонентський термінал нерухомий, в каналі діє білий адитивний гаусів шум (Профіль 1), багатопроменевість поширення радіохвиль відсутня.

2. Абонентський термінал рухається зі швидкістю пішохода, на приймач надходять один прямий та один відбитий сигнал малої потужності з незначною затримкою (Профіль 2).

3. Абонентський термінал рухається зі швидкістю пішохода, на приймач надходять один прямий та два потужних від-

битих сигнали з різною затримкою (Профіль 3).

4. Абонентський термінал рухається, на приймач надходять один прямий та три відбитих сигнали з різною затримкою та різної потужності (Профіль 4).

5. Абонентський термінал рухається зі швидкістю пішохода, на приймач надходять один прямий та один відбитий сигнал великої потужності з незначною затримкою (Профіль 5).

6. Абонентський термінал рухається з середньою швидкістю автомобіля у місті, на приймач надходять один прямий та один відбитий сигнал малої потужності з незначною затримкою (Профіль 6).

7. Абонентський термінал рухається з граничною для системи зв'язку швидкістю, на приймач надходять один прямий та три відбитих сигнали з різною затримкою та різної потужності (Профіль 7).

Параметри моделі для зазначених умов (профілів) наведено в табл. 2.

Таблиця 2. Параметри моделі для уніфікованих умов поширення сигналів

Параметр Профіль	Кількість кореляторів	Відносна затримка прийнятих сигналів, нс	Середні потужності прийнятих сигналів, дБ	Швидкість мобільного терміналу, км/год.
Профіль 1	1	0	0	0
Профіль 2	2	0; 976	0; -10	3
Профіль 3	3	0; 976; 20000	0; 0; 0	3
Профіль 4	4	0; 260; 521; 781	0; -3; -6; -9	120
Профіль 5	2	0; 976	0; 0	3
Профіль 6	2	0; 976	0; -10	50
Профіль 7	4	0; 260; 521; 781	0; -3; -6; -9	250

Результати моделювання

Описану вище модель було використано з метою визначити імовірність появи помилкового біта прийнятого сигналу як функції відношення сигнал/шум в каналі зв'язку для різних профілів поширення радіохвиль за умови передавання різних типів мультимедійної інформації. Обраний діапазон зміни відношення сигнал/шум знаходиться у межах 0...20 дБ. Мінімальне значення цього діапазону

обумовлює ситуацію, за якої зв'язок неможливий, а максимальне – за якої якість зв'язку є відповідною рівню суб'єктивної оцінки «відмінно».

За результатами моделювання побудовано графіки залежностей імовірності появи помилкового біта (*BER*) як функції відношення сигнал/шум (*C/Ш*) в каналі передавання інформації (рис. 2–5).

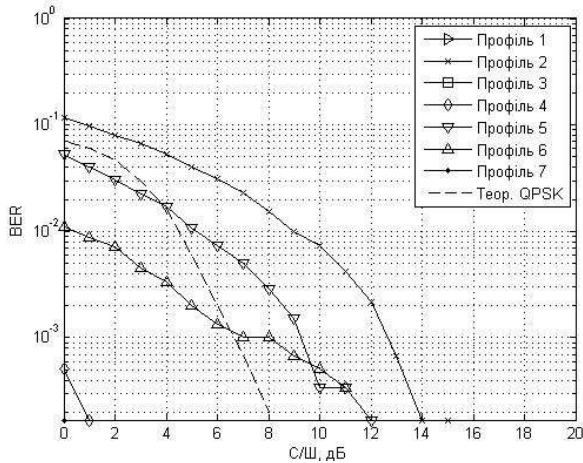


Рис. 2. Графік залежності імовірності появи помилкового біта від відношення сигнал/шум для швидкості сигнального потоку 12,2 кбіт/с

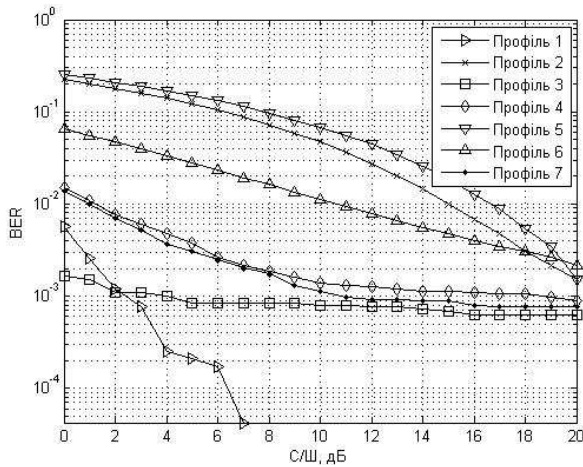


Рис. 3. Графік залежності імовірності появи помилкового біта від відношення сигнал/шум для швидкості сигнального потоку 64 кбіт/с

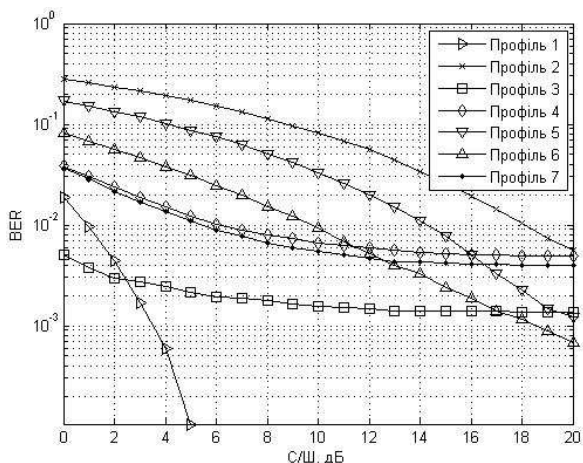


Рис. 4. Графік залежності імовірності появи помилкового біта від відношення сигнал/шум для швидкості сигнального потоку 144 кбіт/с

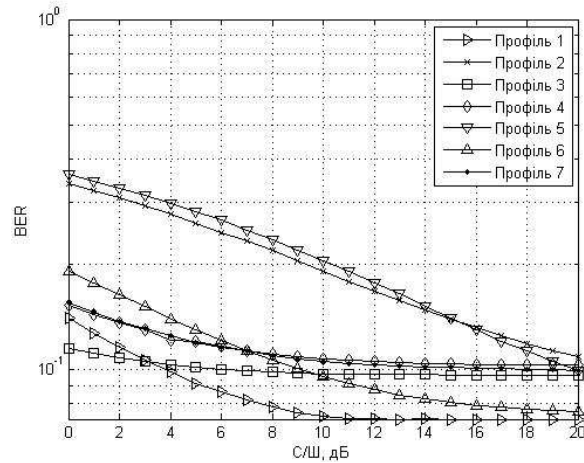


Рис. 5. Графік залежності імовірності появи помилкового біта від відношення сигнал/шум для швидкості сигнального потоку 384 кбіт/с

Характерною ознакою отриманих графіків є подібність функціональної залежності для відповідних профілів поширення повідомлень.

Розглянемо детально рис. 3, оскільки він ілюструє випадок з найменшою швидкістю передавання даних.

З графіків видно, що профіль 1 є ілюстрацією ідеального випадку поширення сигналів повідомлень, коли багатопроменеве поширення відсутнє, тому нульова імовірність помилкового біта є виправданою.

Найгірші результати отримано для профілів 2, 5 та 6, що відповідають випадкам, коли на рухомий або нерухомий приймач надходить один прямий та один відбитий сигнал, в Rake-приймачі застосовано 2 корелятори.

Найкращі результати отримано для профілів 3, 4 та 7, імовірність появи помилкового біта для яких є дуже малою (графіки для цих профілів не потрапили у діапазон BER, за якого має місце погіршення якості зв'язку).

З [4] відомо, що ефективність роботи Rake-приймача підвищується зі збільшенням кількості застосованих кореляторів, адже додаткові корелятори краще розділяють багатопроменеві сигнальні компоненти для подальшого їх комбінування. Зазвичай у приймачі мобільного телефону використовують 3-4 корелято-

ри. Тому більш цікавими є результати для профілів 3, 4 та 7.

Відповідно до концепції забезпечення якості послуг (QoS) стандарту UMTS [5], імовірність появи помилкового біта не має перевищувати $10^{-3} \dots 10^{-7}$. Якщо проаналізувати отримані розрахункові графіки, можна зробити висновок, що ця вимога виконується для будь-яких відношень сигнал/шум тільки у випадку передавання мови для профілів 1, 3, 4 та 7 (відсутність багатопроменевого поширення, на приймач надходять один прямий та два або три відбитих сигнали).

У роботі [6] за результатами точних формульних обчислень побудовано графік залежності ймовірностей появи прийнятого помилкового біта від відношення сигнал/шум (SNR) для модуляції QPSK у випадку, коли мобільний термінал є нерухомим, пунктирна крива на рис. 2. Як видно з графіків теоретичні розрахунки повністю співпадають із результатами, отриманими шляхом моделювання з використанням моделі Matlab, а отже можна зробити припущення, що дану модель доцільно застосовувати для дослідження властивостей системи мобільного зв'язку 3G, побудованих за стандартом UTRA. Для остаточної оцінки самої моделі слід порівняти результати моделювання з результатами натурних вимірювань.

Висновки

Модель дозволяє зробити оцінку якості функціонування системи 3G на лінії від базової станції до абонента шляхом визначення імовірності надходження помилкового інформаційного біта інформації для різноманітних параметрів, що характеризують функціонування реального каналу зв'язку.

Для зручності користування моделлю під час планування мережі мобільного зв'язку передбачено уніфіковані набори параметрів (профілі), що відображають найбільш характерні умови функціонування радіочастотного каналу.

Результати, отримані за допомогою розглянутої моделі співпадають з резуль-

татами отриманими іншими дослідниками функціонування системи мобільного зв'язку третього покоління.

Недоліком моделі можна вважати те, що вона не надає можливості дослідити ситуацію, коли в мережі є не один, а декілька абонентів, а отже присутні завади від обладнання цих абонентів. Також, модель не можна застосувати для дослідження випадку, коли в мережі внаслідок перевантаження ліній зв'язку можуть утворюватись черги абонентів, які очікують доступу, що особливо важливо у разі передавання мультимедійної інформації.

Список літератури

1. Тихвинский В.О., Терентьев С.В. Управление и качество услуг в сетях GPRS/UMTS. – М.: Эко-Трендз, 2007. – 400 с.
2. Гуреев А.В., Кустов В.А. Компьютерное моделирование беспроводных сетей и проблемы их электромагнитной совместимости / Электронный журнал "Исследовано в России", 2002. – С. 1505–1518.
3. 3GPP TS 25.101 V5.2.0 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Networks; UE Radio Transmission and Reception (FDD) (Release 5), May 2002. – 72 p.
4. Архипкин В.Я., Мешковский К. А. Сравнительная помехозащищенность систем связи с широкополосными и узкополосными сигналами // Информация и Комсом. – 2004. – №3. – С. 25–29.
5. 3GPP TS 23.107 V4.4.0 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Quality of Service (QoS) concept and architecture (Release 7), March 2002. – 39 p.
6. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение, 2-е издание.: Пер. с англ. – М.: Вильямс, 2003. – 1104 с.