

СТІЙКИЙ МОБІЛЬНИЙ ЗВ'ЯЗОК В УМОВАХ ШТУЧНИХ ЗАВАД/ RISING MOBILE COMMUNICATIONS IN TERMS OF ARTIFICIAL NOISE

Немкова О.А., Чаплига В.М., Шандра З.А.

Львівський інститут банківської справи
Національний університет «Львівська політехніка»

© Немкова О.А., Чаплига В.М., Шандра З.А. 2015

This work deals with the possibility of the steady signal transmission at the expense of its special modulation. It is shown, that there is a criterion, at implementation of which, the reproduction of the signal is satisfactory. By means of computer modeling by MathCAD recommendations about definition of parameters of modulation, proceeding from character of noise are given.

Keywords – mobile communications, cell phone silencers, noise immunity, Fast Fourier transform

У статті розглянуто можливість стійкого передавання сигналу мобільного зв'язку за рахунок спеціальної модуляції. Показано існування критерію, в залежності від якого передача є задовільною. В результаті комп'ютерного моделювання в MathCAD надано рекомендації стосовно параметрів модуляції в залежності від параметрів шумів.

Ключові слова – мобільний зв'язок, глушники мобільних телефонів, завадостійкість, швидке перетворення Фур'є

Вступ

Розвиток науки і техніки характеризується тим, що часто поруч йдуть винаходи та розробки пристроїв, основна мета функціонування яких є зовсім протилежна. Також пристрої, які були зроблені для однієї задачі, використовуються для зовсім протилежної. Не минула ця доля і мобільний зв'язок. Після широкого впровадження серед населення мобілок, систем дистанційного керування у гігагерцевому діапазоні, навігаторів та ін. почався процес впровадження пристроїв, які блокують можливість встановлення мобільного зв'язку, для яких би цілей він не був застосований. Що цікаво, на будь яке застосування того чи іншого пристрою знаходяться свої обґрунтування, хоча не виключається можливість застосування цих приладів зовсім не з добрими намірами. Це в повній мірі відноситься для пристроїв, що отримали назву глушників мобільних телефонів. Підґрунтям для їх використання називають захист мовної інформації при переговорах. Створюються умови, за якими стає неможливим прийом сигналу від мобільних телефонів в точці локалізації переговорної кімнати. Досягається це включенням генераторів шуму, робота яких призводить до неможливості зв'язку мобільного телефону з базовою станцією. Пропрацювавши кілька секунд і не зв'язавшись з базою, мобільний телефон повідомляє про відсутність зв'язку і припиняє подальші спроби. В Інтернеті можна знайти багато пропозицій виробів, що блокують передачу мобільних телефонів, які працюють у смузі робочих частот передавального пристрою. Цікавим є факт легальності продажу таких глушників для приватних осіб для їх власних побутових потреб. Ціна глушників є доступною; на сьогоднішній день вона зрівнялась із ціною на самі мобільні телефони.

Настає ситуація, коли правомірність того чи іншого застосування технічних засобів повинна вирішуватись юридично. Але з чисто технічної точки зору слід очікувати початку розвитку протилежної тенденції – навчити пристрої мобільного зв'язку працювати в умовах роботи глушників. Дана стаття присвячена питанням можливості завадостійкої передачі сигналів для мобільних пристроїв в умовах штучно створених завад.

Основна частина

Охарактеризуємо основні параметри глушників мобільних телефонів. Розрізняють пристрої генерації шуму, що працюють постійно, і такі, що включаються в момент, коли мобільний телефон робить спроби зв'язатись з базою. Останні глушники ще називають інтелектуальними. Робота подібних генераторів шуму базується на відомих фізичних процесах, тобто можна очікувати, що шуми будуть являти собою випадкові процеси з відомими моделями (телеграфний сигнал, білий шум, гаусів шум). Ширина спектра глушника повинна перекривати діапазон частот мобільного пристрою зв'язку. Тому в деякому наближенні можна вважати, що для мобільного телефону це буде білий шум. Радіус дії глушника коливається від кількох метрів до кількох сотень метрів і визначається його потужністю. Відомо, що якщо телефонна розмова вже відбувається, то далеко не всі глушники можуть її перервати. Це під силу тільки найпотужнішим. Тобто як правило, потужність глушника порівняна з потужністю передавального пристрою.

Ширина спектра шумів $\Delta\Omega_{\text{ш}}$ повинна дещо перевищувати ширину спектра мобільного телефону $\Delta\Omega_{\text{с}} \approx 1$ МГц. Можна вважати, що $\Delta\Omega_{\text{ш}} \approx 1$ МГц, тому що чим ширша смуга шумів, тим менша їх спектральна щільність, а отже з'являється можливість ефективної боротьби з шумами. Час кореляції таких шумів складає $\Delta\tau_{\text{ш}} = \Delta\Omega_{\text{ш}}^{-1} \approx 1$ мкс. Довжина, на яку розповсюджується шум за цей час, складає 300 м, що набагато перевищує розмір області дії глушника. Таким чином, можна вважати, що шум в області дії глушника є когерентним на протязі $\Delta\tau_{\text{ш}}$.

Задачу завдостійкого передавання сигналу, яка розглядається у цій роботі, можна сформулювати наступним чином: для довільних зовнішніх завод необхідно забезпечити високу якість розпізнавання сигналу у випадку адитивного передавального тракту. Під якістю будемо розуміти малий внесок в сигнал, обумовлений шумами в точці прийому.

Будемо розглядати два випадки: по-перше, коли мобільний пристрій спочатку не працює, а з деякого моменту часу робить спроби зв'язатись зі станцією. Другий випадок стосується працюючого телефону, коли зв'язок вже встановлено, а шуми з'являються пізніше під час розмови.

У першому випадку пропонується наступна схема стійкого зв'язку. Як вже було відмічено, випромінювання шумів характеризується часом кореляції $\Delta\tau_{\text{ш}}$, на протязі якого воно є когерентним. Тому можна запропонувати скористатись можливістю суттєвої компенсації шумового випромінювання за рахунок перевипромінювання мобільним пристроєм такого самого поля шуму, але з інверсною фазою. Поле перевипромінювання в точності повторює поле шуму, але має протилежну фазу, в результаті чого сумарне поле шуму дорівнює нулю. Поле з інверсною фазою створюється апаратним чином. Процес створення проходить у кілька ітерацій, для цього потрібні дві антени – перша для прийому та друга для випромінювання, фазообертач з можливістю зміни кута повороту, аналітичний блок. На початковій ітерації вимірюється потужність випромінювання шуму, після цього перша антена на протязі часу τ_0 приймає випромінювання шуму, яке проходить через фазообертач і випромінюється назовні другою антеною на протязі такого ж часу τ_0 . При цьому має відбуватись зміна сумарного поля навколо мобільного пристрою. В цей час потрібно провести виміри сумарного зовнішнього поля шуму. На наступному кроці ітерації кут повороту фазообертача змінюється (не важливо, в яку сторону) і процедура повторюється. Після проведення другого етапу аналітичний блок порівнює інтенсивності сумарного зовнішнього поля для двох положень фазообертача і визначає, в яку сторону потрібно змінювати кут. Після декількох ітерацій можна очікувати достатню компенсацію випромінювання шуму. В цей момент можна починати передачу корисного сигналу. Всі ітерації потрібно провести за час, що не перевищує часу кореляції шуму. Зауважимо, що описаний процес компенсації можна було би провести одномоментно, якщо в нашому розпорядженні було б так зване дзеркало для інверсії хвильового фронту. В основі дії таких дзеркал лежить принцип вимушеного розсіювання світла на флуктуаціях нелінійного середовища. Основною особливістю такого дзеркала є створення поля з інверсною фазою, яке розповсюджується у точно зворотному напрямку.

Запропонований в даній роботі принцип компенсації потребує досконалих досліджень та експериментальної перевірки перед тим, як робити остаточне ствердження про можливість практичного його застосування.

Розглянемо другий випадок, коли шуми з'являються під час розмови. Так як зв'язок зі станцією вже встановлено, будемо розглядати можливість зменшення впливу шумів на стороні прийому.

Розглянемо наступну схему: в передавачі (мобільному пристрої) над дискретним сигналом f_n виконується інтегральне перетворення F (наприклад, швидке перетворення Фур'є), далі кожна спектральна компонента F_j сигналу множиться на множник K_j (коефіцієнт модуляції), інший для різних компонент j , і потім передається в ефір. Ефір розглядаємо як передавальний тракт, у якому на корисний сигнал $F_j K_j$ накладаються різноманітні адитивні шуми N_j . В приймачі кожна отримана спектральна компонента $F_j K_j + N_j$, прийнята як дискретний відлік, ділиться на K_j , надалі виконується зворотне інтегральне перетворення, рис.1.

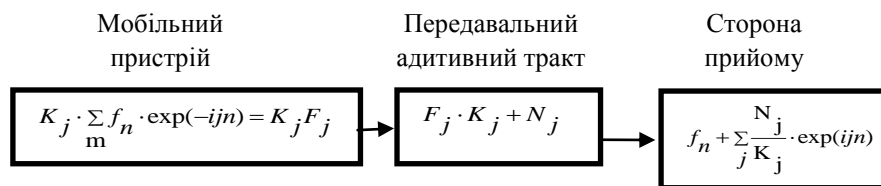


Рис.1. Послідовність перетворення сигналу в процесі передавання-прийому.

В результаті отримуємо початковий сигнал з деяким доданком, який характеризує шуми в точці локалізації передавача, або в тракті. В роботі [1] подібна схема була запропонована для криптографічного захисту інформації.

Для якісного прийому сигналу потрібно мінімізувати суму

$$NK_n = \sum_j \frac{N_j}{K_j} \cdot e^{ijn}$$

(що обумовлена впливом шумів при передачі сигналу) таким чином, щоб амплітуда NK_n була набагато менша, ніж амплітуда f_n відліку сигналу. Так як перед передачею сигналу можливо провести виміри і визначити характер шумів, то можна вважати задачу мінімізації цього доданку оберненою задачею: для відомих N_j потрібно підібрати такі K_j , щоб результат NK_n був би мінімальним. Складність такої задачі обумовлена тим, що наперед невідомо, які шуми будуть в наявності у місці передавання сигналу, отже про їх характер нам нічого невідомо. Тому попередньо не можна нічого розрахувати для визначення коефіцієнтів модуляції сигналу K_j , які має знати сторона прийому при реалізації такої схеми відтворення сигналу.

Вирішення проблеми полягає у використанні випадкових послідовностей для коефіцієнтів модуляції сигналу K_j , причому таких, що по заданих початкових значеннях, відомих обом сторонам (передаючій і приймаючій) можна повністю відтворити цю послідовність. Тобто вважаємо, що випадкова послідовність K_j відома стороні прийому. В якості послідовності K_j можна використати результат роботи генератора випадкових чисел. Так як в даному випадку не стоїть задача криптографічного закриття інформації, а тільки задача утворення послідовності випадкових чисел, обмеження на довжину послідовності не є суттєвими.

Випадковість коефіцієнта K_j відіграє наступну роль. При множенні нестационарного сигналу на випадкову функцію отримуємо нестационарну випадкову функцію, кореляція якої з іншими функціями (випадковими або не випадковими) набагато менша, ніж у випадку, коли дані функції співпадають. Таким чином, при прийомі виділяється саме той сигнал, який корельований з заданою послідовністю K_j , а саме - необхідний нам сигнал.

При аналізі доданку NK_n бачимо наступне: якщо шуми будуть носити випадковий характер, наприклад, це буде випадковий процес з нормальним розподілом, то навіть при постійному $K_j = K$

можна оцінити значення суми NK_n як значення квадратного кореня зі спектральної щільності розподілу шуму в центрі спектру, ділену на число K . Тобто значення K слід вибирати в декілька разів більшими, ніж максимальне значення спектральної щільності шуму. Цей випадок відповідає впевненому прийому сигналу за рахунок амплітудного перевищення сигналу над рівнем шуму. Але апаратна реалізація такого варіанту потребує великих значень коефіцієнту лінійного підсилення передавача у сукупності з широким динамічним діапазоном і у випадку штучно створених завад легко блокується відповідним підсиленням шуму.

Для більш плавної поведінки штучних шумів по відношенню до коефіцієнтів модуляції K_i їх випадковість призведе до того, що сума NK_n буде складатися з великого числа додатних та від'ємних доданків і також буде значно менша, ніж максимальне значення спектральної щільності потужності шуму.

Відзначимо, що застосування процедури швидкого перетворення Фур'є пов'язане з його відпрацьованою апаратною реалізацією. В такий самий спосіб можна застосувати інші ортогональні інтегральні перетворення, наприклад, вейвлетне перетворення, яке може бути виконане швидше, тому що не містить уявних компонент, а також потребує обчислення меншого числа спектральних компонент для якісного відтворення голосового сигналу.

Перевірка гіпотези про вплив випадковості коефіцієнтів модуляції на суттєве зменшення внеску шумів була проведена за допомогою моделювання в MathCAD, який надає достатньо можливостей для генерації випадкових процесів з різноманітними функціями розподілу.

Для аналізу було розглянуто такі шумові процеси: гаусів шум з ненульовим середнім (присутні декілька некорельованих джерел гаусового шуму), пуасонівський шум, білий шум. Результати комп'ютерного моделювання для гаусових процесів наведено на рис.2-5: а) амплітуда шуму N та коефіцієнту модуляції K , б) амплітуда перетворених шумів на прийомі, в) функції розподілу шуму N та коефіцієнту модуляції K . Суцільні лінії відповідають шумам, пунктирні – коефіцієнтам модуляції.

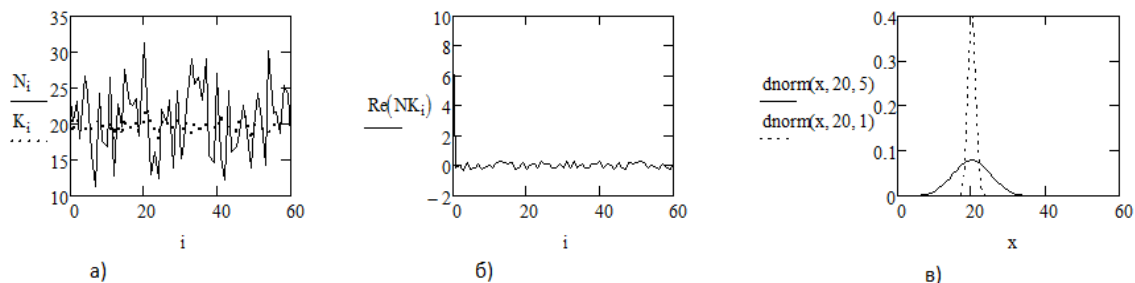


Рис.2. Функція розподілу коефіцієнта модуляції K значно вужча за функцію розподілу шуму N (відношення ширин 1:5)

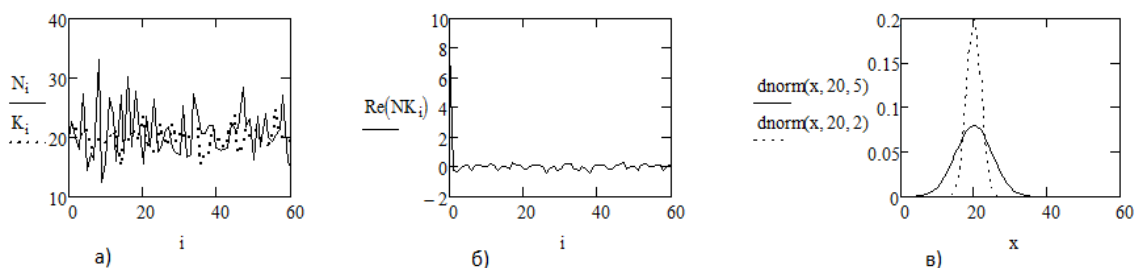


Рис.3. Функція розподілу коефіцієнта модуляції K вужча за функцію розподілу шуму N (відношення ширин 2:5)

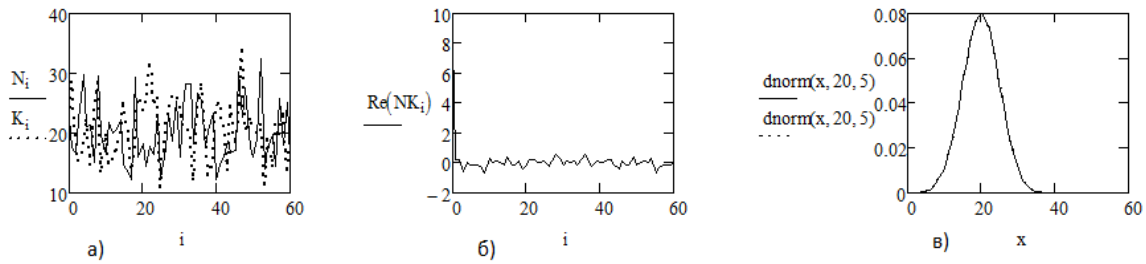


Рис.4. Функція розподілу коефіцієнта модуляції K і функція розподілу шуму N мають однакову ширину

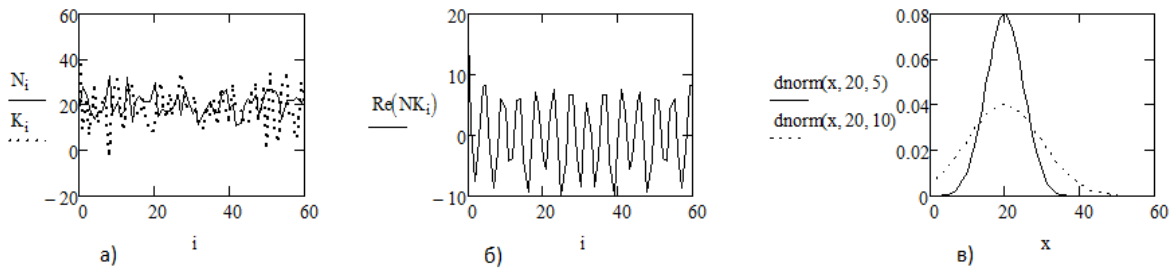


Рис.5. Функція розподілу коефіцієнта модуляції K ширша за функцію розподілу шуму N (відношення ширин 2:1)

Аналіз результатів показує, що застосування випадкового коефіцієнта модуляції K дозволяє суттєво зменшити вплив шумів на стороні прийому – відношення амплітуди шумів на прийомі до амплітуди шумів в передавальному тракті складає 1:10. Це відношення зберігається при умові, що ширина розподілу коефіцієнта модуляції не більша за ширину розподілу шумів. Але при перевищенні ширини розподілу для K над шириною розподілу для N амплітуда шумів на стороні прийому не зменшується, що демонструє рис 5.

Аналогічні результати отримано для різних видів розподілів шумів, тобто можна стверджувати, що параметром в даній задачі є відношення ширин розподілів коефіцієнту модуляції та шуму.

Відзначимо, що для можливості апаратної реалізації запропонованого алгоритму потрібно провести оцінку часу виконання необхідних обчислень, хоча все виглядає цілком реально. В сучасних вокодерах реалізовано стискання – відтворення голосового сигналу в реальному часі, а запропонований алгоритм потребує лише невеликого ускладнення.

Висновок

Показано можливість якісної передачі–прийому сигналу мобільного зв'язку в умовах штучно створених шумів при застосуванні спеціальної процедури обробки передачі–прийому сигналу, а саме: дискретному швидкому перетворенні Фур'є сигналу і модуляції спектральних амплітуд при передачі; демодуляції та зворотньому дискретному швидкому перетворенні Фур'є при прийомі.

Шуми адитивного передавального тракту можуть бути суттєво зменшені при випадковому характері коефіцієнтів модуляції при умові множення кожного відліку сигналу на випадковий коефіцієнт модуляції.

Ширина розподілу коефіцієнта модуляції не повинна перевищувати ширину розподілу для шуму, амплітуда шуму при цих умовах може бути зменшена до 10 разів.

1 Немкова О.А., Стасевич С.П., Шандра З.А. Дослідження завадостійкості криптографічного захисту інформації на основі інтегральних перетворень.//Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля, Луганськ-2010, №9(15), 2010. Ч. 1. - С.39-44.