

ПІДВИЩЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ ВИСОКОШВИДКІСНИХ СУПУТНИКОВИХ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проведено дослідження методів підвищення завадостійкості супутникових ліній зв'язку. Проведена розробка методики визначення оптимального режиму роботи супутникового ресивера при різних факторах, а також при його програмній реалізації.

Ключові слова: система супутникового зв'язку, DVB-S2X, M-APSK, DBS.

Abstract

The research of methods of increase of noise immunity of satellite communication lines was carried out. The development of a method for determining the optimal mode of operation of the satellite receiver under various factors, as well as its program realization, were carried out.

Keywords: satellite system, DVB-S2X, M-APSK, DBS.

Вступ

Системи супутникового зв'язку (ССЗ) відіграють одну з ключових ролей в розвитку світових інформаційних комунікацій. В першу чергу, супутниковий зв'язок знайшов широке застосування в системах безпосереднього супутникового мовлення (DBS), мовлення «Direct-to-Home» (DTH), в системах мобільного доступу [1]. Супутникові лінії є невід'ємною частиною опорних мереж інтернета, надаючи широкосмуговий і вузькосмуговий доступ до мережі інтернет для віддалених і малонаселених зон, де такий доступ часто є єдино можливим [2]. Останні тенденції розвитку супутникових ліній (освоєння діапазонів Ка і Q [4, 5], а також збільшення ефективності супутникового навантаження завдяки розвитку мікротехнологій) вказують на необхідність заміни або доповнення класичних схем маніпуляції, тобто модуляції цифрових сигналів, QPSK і 8-PSK більш багатопозиційними. Багатопозиційні схеми модуляції цифрових сигналів дозволяють передавати значною але більший обсяг інформації при використанні каналу фіксованої ширини. Для цифрової передачі даних широкого поширення набули схеми модуляції APSK, внаслідок їх високої спектральної ефективності та стійкості до нелінійних спотворень [4].

У більшості стандартів, в яких застосовується модуляція APSK, позиційність модуляції обмежена 16-APSK і 32-APSK [4]. У 2014 році консорціумом DVB був представлений стандарт DVB-S2X як розширення попереднього стандарту DVB-S2. У новому стандарті, крім іншого, передбачається застосування схем модуляції 64-APSK, 128-APSK і 256-APSK [3].

Вплив фазового шуму і багатопроменевого поширення на завадостійкість прийому сигналів DVB-S2 при роботі в нелінійному каналі було розглянуто в 2015 році дослідниками з Університету Вікторія, Мельбурн, Австралія (U. Pal, H. King) [4]. Однак в даному дослідженні в якості багатопозиційної схеми модуляції була обрана модуляція 16-QAM, що не використовується в стандарті DVB-S2. Дослідження завадостійкості прийому сигналів 16-QAM при розгляді нелінійного каналу також наведені в [1].

Великий науковий інтерес до ССЗ обумовлений стрімким їх розвитком і ростом потреби в підвищенні швидкостей передачі даних при різних умовах прийому. Основною особливістю ССЗ є їх повсюдність і можливість забезпечення обміну даними з

віддаленими регіонами, в яких відсутня інфраструктура наземних систем зв'язку. Крім того, ССЗ широко використовуються для забезпечення зв'язку з рухомими об'єктами. Актуальність задачі оптимізації характеристик ССЗ підтверджується великою кількістю публікацій із зазначеної тематики в спеціалізованих західних виданнях [1-4]. Також свою наукову активність в цій темі спостерігається і в Україні [3].

Великі відстані між земними і космічними станціями зумовлюють досить низьке відношення сигнал / шум на вході приймача. Для забезпечення в таких умовах прийнятної ймовірності помилки використовуються направлені антени з великими коефіцієнтами підсилення, малозумні елементи та завадостійкі коди [1-5]. Робоча точка підсилювача потужності супутникового ретранслятора вибирається якомога ближче до зони насичення для забезпечення максимальної потужності на виході підсилювача. У цьому випадку спостерігаються значні нелінійні спотворення сигналу, які впливають на стійкість перед перешкодами прийому [1-4]. Удосконалення методик компенсації нелінійних спотворень і оптимізація режиму роботи супутникового ресивера є актуальною науково-технічною задачею.

Метою роботи є дослідження методів підвищення завадостійкості супутникових ліній зв'язку, розробка методики визначення оптимального режиму роботи супутникового ресивера при різних факторах, а також його програмної реалізації.

Для досягнення зазначеної мети було потрібно вирішення наступних завдань:

Дослідження теоретичних концепцій сучасних систем цифрового супутникового мовлення.

Розробка математичних і програмних моделей супутникового тракту передачі.

Основна частина

Для досягнення найвищої продуктивності в DVB-S2 використовуються коди LDPC (коди з малою щільністю перевірок на парність), прості блокові коди з обмеженою структурою алгебри, розроблені Робертом Галагером в 1962 році. LDPC коди мають легко зпаралелювальний алгоритм декодування, що складається з простих операцій, таких як додавання, порівняння і співпадиння таблиць пошуку; більш того, ступінь паралелізму регульована, що дозволяє легко вибирати компроміс між пропускнуою спроможністю і складністю. Ключові характеристики кодів LDPC [3]:

- дуже велика довжина одного блоку (64800 біт для нормального кадру, 16200 біт для короткого кадру);
- велика кількість ітерацій декодування;
- наявність зовнішнього БЧХ-коду.

На передачу цифрових даних через супутник накладаються обмеження по потужності і смуги пропускання. Тому DVB-S2 забезпечує безліч можливих режимів передачі (завадостійке кодування і модуляція), що ви можете виділити потрібний компроміс між випромінюваною потужністю і спік-тральною ефективністю. Залежно від обраної схеми модуляції і вимоги до системи доступні швидкості кодування $1/4$, $1/3$, $2/5$, $1/2$, $3/5$, $2/3$, $3/4$, $4/5$, $5/6$, $8/9$ і $9/10$. Швидкості кодування $1/4$, $1/3$ і $2/5$ були додані для використання в комбінації з QPSK у виключно поганих умовах прийому, коли рівень сигналу на прийомі нижче рівня шуму. Комп'ютерні симуляції показали перевагу таких режимів перед модуляцією BPSK на швидкостях кодування $1/2$, $2/3$ і $4/5$ [4]. Використання двох значень довжини кодового блоку (64800 і 16200 біт) обумовлено двома протилежними вимогами: при використанні блоків великої довжини збільшується відношення сигнал / шум, при цьому також збільшується затримка. Тому для застосування в цілях, для яких не важливі затримки (наприклад, широке мовлення) довгі блоки є кращим рішенням, тоді як для інтерактивних послуг короткі блоки можуть бути більш ефективні, коли невеликий обсяг інформації повинен бути переданий передавальною

станцією негайно. Для переданої інформаційної навантаження може бути обрана одна з чотирьох схем модуляції.

Модуляції QPSK і 8-PSK найчастіше використовуються для широкого мовлення, так як вони мають практично постійну обвідну, тому при їх передачі робоча точка на амплітудній характеристиці транспондера може бути вибрана близько до насичення [4]. У деяких випадках при наданні послуг широкого мовлення (наприклад, в регіональних вузьких променях) і при наданні інтерактивних послуг при використанні багатопроменевих супутників застосовується модуляція 16-APSK, що забезпечує додаткову спектральну ефективність при відносно невисоких вимогах до лінійності. Завдяки наявності великої кількості можливих режимів роботи (за схемами модуляції і швидкостям завадостійкого кодування) доступні значення спектральної ефективності від 0.5 до 4.5 біт / с / Гц, які можуть бути обрані в залежності від різних факторів [3].

Ще однією особливістю DVB-S2 є наявність скремблера фізичного рівня (Physical Layer, PL), який складає по модулю 2 синфазних і квадратурні символи (а також опціональні пілот-символи при виключенні PL-заголовка) з комплексної двійкової рандомізують послідовністю, що відповідає за довжині одному кадру фізичного рівня (PLFRAME). Комплексна рандомізують послідовність має період в 262143 сім-вола і використовується крім цього в наземному стандарті UMTS. Вона забезпечує хороші властивості авто- та крос-кореляції і дозволяє згенерувати до 262142 різних комплексних послідовностей [3]. Основні переваги, що забезпечуються присутністю рандомізації фізичного рівня в DVB-S2:

- можливість однозначно «відзначити» окремі несучі в багатоканальному транспондері з безліччю несучих;
- рандомізація періодичних пілот-символів (рознесені за часом на несучої);
- рандомізація інтерференції з променями інших супутників або цього ж супутника;
- рандомізація фізичного рівня також дозволяє виробляти повторне кодування в модуляторі DVB-S2, щоб розширити робочий діапазон відношення сигнал / (шум + інтерференція) системи.

Стандарт DVB-S2 підходить для застосування з супутниковими транспондерами з різними смугами частот і частотними діапазонами. Символьна швидкість відповідає заданим характеристикам транспондера, і в разі передачі безлічі несучих одним транспондером (FDM) прийнятому частотному плану.

У березні 2014 року був представлений стандарт DVB-S2X. Цей стандарт цифрового супутникового мовлення є розширенням DVB-S2. У порівнянні з класичним DVB-S2 можливо потенційне збільшення продуктивності ліній супутникового зв'язку більш ніж на 50%. Серед нововведень найбільш значимі є [3]:

- багатопозиційні методи модуляції 64/128/256-APSK;
- поліпшені алгоритми завадостійкого кодування;
- менші значення коефіцієнта згладжування формує фільтра (roll-off factor);
- поліпшені схеми фільтрів, які роблять можливим зменшення проміжків між несучими.

DVB-S2X може забезпечити більш високу спік-тральних ефективність при рівних значеннях SNR. Крім того, завдяки безлічі доступних сполучень модуляції і кодування, можливий більш тонкий підбір такого поєднання для відповідності поточним умовам прийому і забезпечення максимальної спектральної ефективності без перевищення заданої ймовірності помилки біта.

збільшення позиційності при використанні модуляції M-PSK для збільшення спектральної ефективності призводить до значного зниження завадостійкості. Це пов'язано з тим, що рознос по фазі, а, відповідно, і відстань помилки, зменшуються при збільшенні позиційності M. З метою збереження високої завадостійкості при підвищеній спектральної ефективності в супутникових системах зв'язку DVB-S2 і DVB-S2X застосовуються методи амплітудно-фазової модуляції M-APSK (amplitude and phase-shift

keying). У системах DVB-S2 позиційні такої модуляції може досягати 32, а в DVB-S2X - 256 [3].

В модуляції M-APSK інформацію несе не тільки фаза сигналу, але і його амплітуда. Наприклад, при модуляції 16-APSK використовуються дві окружності з сигнальними точками, на внутрішній з яких знаходяться 4 сигнальні точки, а на зовнішній - 16 сигнальних точок [2]. За рахунок цього досягається одномірний розподіл сигнальних точок на амплітудно-фазової площини, тобто зменшується середня відстань помилки між різними сусідніми сигнальними точками.

Висновки

Розглянуто основні стандарти супутникових систем зв'язку. Проведено огляд стандартів цифрового супутникового мовлення DVB-S2 і DVB-S2X. Розглянуто різні методи модуляції, застосовувані в супутникових системах зв'язку. Найбільш перспективною і цікавою для дослідження є модуляція M-APSK, що забезпечує високу спектральну ефективність при досить високій завадостійкості і стійкості до нелінійних спотворень. Це підтверджується великим числом публікацій в різних фахових виданнях, що розглядають залежність завадостійкості M-APSK від різних факторів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. A. K. Maini, V. Agrawal. Satellite technology: principles and applications. – Wiley; 3rd edition. – 2014. – 846 p.
2. L. Jordanova, L. Laskov, D. Dobrev. Constellation and Mapping Optimization of APSK Modulations used in DVB-S2 // Engineering, Technology & Applied Science Research. – 2014. – Vol. 4, No. 5. – p. 690 – 695.
3. S. K. Gupta, S. Gawande. Design of Higher Order Constellations for DVB-S2 // International Journal of Scientific Progress and Research. – 2015. – Vol. 7, No. 2. – p. 69 – 73.
4. Wang Q., Song T. and Kam P. Performance optimization of M-APSK in AWGN and oscillator phase noise with annular-sector detection // IEEE 83rd Vehicular Technology Conference (VTC Spring). – Nanjing, 2016. – p. 1 – 5.
5. M. Yang, D. Guo, X. Pan, L. Lu, L. Yang. An Improved Direct Learning Architecture for Satellite High Power Amplifiers Pre-distortion // Applied Mechanics and Materials. – 2013. – Vol. 340. – p. 1020 – 1024.

Васильківський Микола Володимирович — кандидат технічних наук, доцент кафедри ТКСТБ, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Мазур Андрій Володимирович — студент групи ТКС-17мі, факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: andreymazur2009@gmail.com

Жмурко Ірина Сергіївна — студент групи ТТК-17мі, факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Vasilkivskiy Mykola V. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the TKSTB Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Mazur Andrii V. - student of the group TKS-17mi, faculty of infocommunications, radio electronics and nanosystems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: andreymazur2009@gmail.com

Zhmurko Irina S. - student of the group TTC-17mi, faculty of infocommunications, radio electronics and nanosystems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia