

АДАПТИВНЕ ОБРОБЛЕННЯ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВИХ СИГНАЛІВ В ЦИФРОВОМУ ТРАКТІ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Досліджено можливості підвищення ефективності бездротових систем зв'язку шляхом адаптивної фільтрації просторово-часових сигналів.

Ключові слова: *мультиплексування; бездротові мережі; просторово-часовий метод.*

Abstract

The possibilities of increasing the efficiency of wireless communication systems by adaptive filtration of spatial and temporal signals are investigated.

Keywords: *multiplexing; wireless networks; spatial time method.*

Вступ

Розвиток мікроелектроніки, поява високошвидкісних цифрових процесорів обробки сигналів дозволили розробляти і створювати складні портативні системи для обробки інформації. Особливо це відбилося на розвитку і вдосконаленні бездротових пристроїв в області радіо- і гідрозв'язку, що дозволило істотно поліпшити якість послуг, що надаються передачі даних в умови складного характеру поширення сигналів в середовищі. В першу чергу це призвело до появи стандартів стільникового зв'язку третього (3G) і четвертого (4G / LTE) поколінь, а також бурхливому розвитку п'ятого (5G). Крім стільникових мереж активно розвиваються бездротові мережі, хорошим прикладом може служити стандарт 802.11, який представляє собою набір специфікацій для бездротових локальних мереж. Яскравим прикладом є стандарт 802.11n, який відрізняється підвищеною надійністю і заснований на технології просторового мультиплексування, де передача інформації здійснюється за рахунок декількох потоків в одному каналі. Розвиток бездротових технологій не могло залишити поза увагою гідроакустики, увагу до розвитку пристроїв гідрозв'язку засноване на зростаючий інтерес до дослідження світового океану для розвідки, видобутку корисних копалин з дна морів і океанів, виявлення родовищ нафти, екологічні дослідження, проведення пошукових і рятувальних робіт. Особливо завдання бездротової гідроакустичної зв'язку актуальна для незаселених підводних апаратів, в яких додатково існує необхідність в передачі команд управління. Розробка бездротових систем для різних сфер діяльності призвело до питань поліпшення завадостійкості шляхом використання різних алгоритмів кодування, вторинної обробки сигналів із застосуванням високошвидкісних процесорів цифрової обробки сигналів, управління формуванням характеристик спрямованості прийомних і передавальних антен і т.д.

Метою роботи є підвищення ефективності системи бездротової передачі даних різного призначення в середовищі з перевідбиваннями через зниження ймовірності бітової помилки і збільшення пропускної спроможності на основі дослідження просторово-часових методів обробки сигналів та розробки адаптивного алгоритму.

Основна частина

Основною метою при розробці сучасних бездротових систем зв'язку є зниження ймовірності бітової помилки і підвищення спектральної ефективності. В радіозв'язку цю проблему вже частково вирішують за рахунок використання просторових методів кодування, однак недостатньо просто підвищити швидкість передачі інформації, необхідно також забезпечити малу ймовірність бітової

помилки. Так як бітова швидкість потоку визначається кількістю правильно переданих біт, якщо помилки при додачу будуть значні, то ефективна бітова швидкість знизиться. Тому слід розробляти і досліджувати алгоритми боротьби з завмираннями шляхом фільтрації перешкод шляхів в каналі.

У гідрозв'язку ситуація йде трохи інакше: частотний діапазон не так сильно зайнятий, як в радіозв'язку, але дуже сильно обмежений по верхній частоті через сильний загасання високочастотних сигналів. Це добре видно з характеристик гідроакустичних модемів, бітова швидкість передачі яких, досить низька порівняно з аналогічними пристроями, які працюють в радіохвиль. Більш того використання методів багаточастотної модуляції спільно з просторовими методами кодування для гідроакустики ще не знайшли масового застосування. Імовірність бітової помилки може бути знижена до прийняттого значення шляхом збільшення відносини сигнал / шум або застосування каналного кодування. Використання шумоподібних сигналів, які закодовані різними псевдовипадковими послідовностями, дозволяють скористатися наявними можливостями кодового поділу каналів.

Підвищення швидкості передачі за рахунок просторового кодування, яке впроваджується в системи радіо- і гідроакустичної зв'язку не може вирішити проблеми завадостійкості. Так як підвищення швидкості передачі призводить до зростання бітової помилки, необхідно розробляти методи обробки сигналів, які допоможуть компенсувати зростання помилки при передачі повідомлень. З цього випливає, що для радіозв'язку завдання розробки адаптивних алгоритмів просторової фільтрації сигналів актуальна в даний час, як одні їх способів боротьби з інтерференцією сигналів в каналі з перевідбиваннями. Для гідроакустики ситуація складніша і пов'язана необхідністю не тільки впроваджувати методи боротьби з відбитками в каналі, а й активно досліджувати і впроваджувати методи просторового кодування спільно з багаточастотними видами модуляції.

Відомості про побудову систем SISO для забезпечення бездротового зв'язку, які працюють в каналі з перевідбиваннями. Аналіз методів модуляції показав, що застосування одночастотних методів модуляції в багатоколіній каналі негативно позначається на завадостійкості і призводить до зростання бітової помилки при передачі інформації. Показано, що використання багатопозиційних видів модуляції в системах зв'язку дозволяє підвищити швидкість передачі бітового потоку в тій же смузі частот, за рахунок зменшення завадостійкості системи в цілому.

В якості альтернативи одночастотних видів модуляції розглянути багаточастотні, які дозволяють розбивати загальну смугу частот на безліч підканалів, що дозволяє підвищити стійкість системи в частотно виборчому каналі. За основу взята технологія OFDM, як найбільш ефективна з точки зору використання виділеної смуги частот. Так само розглянута структура OFDM-сигналів і види модуляції піднесуть.

Адаптивні АР використовуються в системах зв'язку, де необхідно сформувати характеристику спрямованості (ХН) необхідної форми для просторової фільтрації сигналів. У дисертації розглядається випадок, коли необхідно сформувати ХН в напрямку на джерело корисного сигналу і нуль на джерела перешкоди, причому напрямком на те чи на інше апріорно невідомі. Така система з адаптивним формуванням ХН виходить зі звичайної фазової АР шляхом використання вагової обробки рисунок 1.

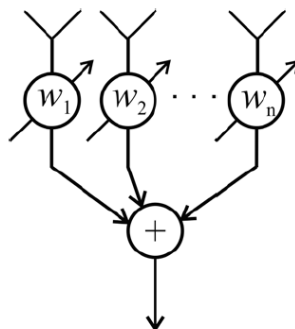


Рисунок 1 - Система ФАР з адаптивним формуванням ХН

У загальному випадку адаптивне формування ХН може виконуватися як на передавальній, так і на приймальній стороні. Слід зазначити, що адаптивний алгоритм заснований на кореляційному методі, який має право для нормальної моделі процесів.

Просторова фільтрація дозволяє виключити вплив багатоколієних компонент каналу на якість переданої інформації через зниження ймовірності помилки, яка виникає в результаті завмирання.

Оптимальний ваговий вектор залежить від обраного критерію оптимальності, наприклад, критерій максимуму відношення сигналу до суми перешкоди і шуму, критерії оптимальності мінімуму середньої потужності на виході АР і мінімуму середньоквадратичної помилки. На практиці завданням адаптації є пошук оптимальних вагових коефіцієнтів (ВК), які відповідають екстремумів цільових функцій адаптивної АР. На ефективність просторової фільтрації впливає те, наскільки точно отримана оцінка вагового вектора в процесі адаптації.

Однак всі методи пошуку оптимального вагового вектора, так чи інакше, пов'язані з обчисленням просторової кореляційної матриці R . Такий підхід має одну важливу перевагу для прийомних антен на основі АР і пов'язаний з тим, що просторова кореляція, яка негативно впливає на демодуляцію сигналів МІМО, дозволяє використовувати її в адаптивних алгоритмах.

Адаптивний процесор є основою будь-якої адаптивної системи. Завданням даного процесора є обчислення вагового вектора для забезпечення просторової (формування ХН) і / або частотної фільтрації. Алгоритми, які будуть розглянуті далі, не вимагають використання навчальної послідовності, як наприклад, для оцінки каналу і не вимагають будь-якої апріорної інформації про стан каналу і напрямку приходу сигналу, а будуть засновані на теорії власних чисел кореляційної матриці і критерії максимуму середньої потужності корисного сигналу. У зв'язку з цим розглядаються підходи до адаптації сигналів на увазі відсутність активних джерел перешкод. Завданням адаптації є виділити шлях, по якому приходить сигнал з максимальною потужністю і придушити інші шляхи. Це дозволить знизити ефект інтерференції сигналів в каналі з перевідбиваннями.

Результатом виконання алгоритму адаптації є вектор, який використовується для вагової обробки сигналів. Тоді сигнал на виході блоку адаптивної обробки можна записати у вигляді, де N - кількість елементів АР в блоці адаптації.

$$y(t) = \sum_{i=1}^N w_i x_i(t)$$

Для адаптивного алгоритму необхідно, щоб між елементна відстань приймальні АР було якомога менше для забезпечення високої просторової кореляції. З іншого боку, для систем з просторовим кодуванням необхідно зменшувати рівень просторової кореляції для зменшення помилки при декодуванні. Оскільки адаптація використовується тільки в приймальнику, то на прийом використовується щільна АР, яка забезпечує високу просторову кореляцію, а на передачу розріджена, яка зменшує просторову кореляцію при передачі. З цього випливає, що якщо адаптація виконується тільки в приймальнику то, базова станція повинна мати розріджену АР, де відстані між елементами АР може становити від 2λ до 9λ , а мобільна станція має щільну АР, де відстань між елементами складає близько $0,5\lambda$.

Простим випадком для вирішення завдання просторової фільтрації є лінійна АР, проте можливо також використання плоскої АР для двовимірної просторової фільтрації, однак цей підхід обумовлений труднощами реалізації, пов'язаної зі складністю обчислювальних алгоритмів і великим числом змінних параметрів.

Запропонований адаптивний алгоритм не вимагає апріорної інформації про стан каналу і напрямку приходу сигналу, а також не вимагає передачі певної навчальної послідовності для розрахунку вагових векторів. Практична значимість адаптивних алгоритмів в гідроакустичному каналі для системи SISO дозволяє знизити ймовірність бітової помилки на 2 порядки при $\text{SNR} = 0$ дБ, і на 4 порядки при відносно $\text{SNR} = 3$ дБ. Для системи МІМО 2×2 ймовірність помилки знижується в 6,5 раз при $\text{SNR} = 15$ дБ і в 25 разів при $\text{SNR} = 20$ дБ. При відсутності прямого шляху при тих же відносинах сигнал / шум ймовірність помилки знижується в 13 і 75 разів відповідно. Для системи МІМО 2×2 з адаптацією пропускна здатність при відносинах сигнал / шум 15 дБ і 25 дБ зростає на 17,8% і на 25,7% відповідно в порівнянні з системою зв'язку без адаптивного алгоритму. Застосування каналного кодування дозволяє поліпшити стійкість системи зв'язку на 3-4 дБ, при зниженні ефективної швидкості передачі інформації в 1,63 рази. Передача зображення по бездротовому каналу з застосування алгоритму адаптації дозволили домогтися інтегрального зниження нормованого значення середньоквадратичної помилки до значення $2,7 \cdot 10^{-4}$ при $\text{SNR} = 0$ дБ для системи SISO і до $4,6 \cdot 10^{-2}$ при $\text{SNR} = 10$ дБ для системи МІМО 2×2 .

Висновки

Проведено аналіз існуючих систем просторово-часової обробки сигналів. Показана ефективність використання МІМО-системи з метою збільшення пропускну здатності бездротового каналу.

Представлені підходи до розробки алгоритмів адаптації на основі формування просторової ХН. Дані алгоритми засновані на ваговій обробці сигналів з виходів елементів АР, шляхом множення на коефіцієнти вагового вектора.

Для побудови сучасних систем зв'язку досліджуються і впроваджуються просторові методи обробки на основі технології МІМО. Хоча використання таких систем і краще в каналі з багатокількішним поширенням сам по собі такий підхід не сильно ефективно справляється з перевідбиваннями. Для боротьби з завмираннями використовуються багаточастотні види модуляції, але такі методи не виключають інтерференції в приймальні антени, які в якійсь мірі призводять до спотворень сигналу. Дану ситуацію можна вирішити шляхом адаптивного формування характеристики спрямованості приймальної антени, що дозволить усунути шляхи, по яких приходять небажані сигнали.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ding Z., Liu Y., Choi, J., Sun Q., Elkashlan M., Chih-Lin I., Poor H. V. Application of non-orthogonal multiple access in LTE and 5G networks //IEEE Communications Magazine. – 2017. – Т. 55. – № 2. – С. 185–191.
2. Marchetti L., Reggiannini R. An efficient receiver structure for sweep-spread-carrier underwater acoustic links //IEEE Journal of Oceanic Engineering. – 2016. – Т. 41. – № 2. – С. 440–449.
3. Fedosov V. P., Lomakina A. V., Legin A. A., Voronin, V. V. Three-dimensional model of hydro acoustic channel for research MIMO systems // Ocean Sensing and Monitoring IX. – International Society for Optics and Photonics, 2017. – Т. 10186. – С. 101860.
4. Федосов В. П., Ломакина А. В., Легин А. А. Трехмерная модель подводного гидроакустического канала и ее математическое описание. Телекоммуникации. 2017. № 11. – С. 26–33.
5. Fedosov V. P., Lomakina A. V., Legin A. A., Voronin V. V. Modeling of systems wireless data transmission based on antenna arrays in underwater acoustic channels //SPIE Commercial–Scientific Sensing and Imaging. – International Society for Optics and Photonics, 2016. – Т. 9872. – С. 98720
6. Fedosov V. P., Voronin V. V., Legin A. A., Lomakina A. V, Kovtun D. G. The study of algorithms reducing the level of out-of-band radiation and inter carrier interference of the ofdm signal //Electronic Imaging. – 2017. – Т. 2017. – № 6. – С. 149–154.
7. Fedosov V. P., Legin A. A., Lomakina A. V. Adaptive algorithm for data transmission in wireless channels based on MIMO — OFDM technique. 2017 Radiation and Scattering of Electromagnetic Waves (RSEMW) Publisher: IEEE 2017 – P. 218–221.
8. Fedosov V., Legin A., Lomakina A. Adaptive Algorithm Based on Antenna Arrays for Radio Communication Systems //Serbian Journal of Electrical Engineering. – 2017. – Т. 14. – № 3. – С. 301–312.

Васильківський Микола Володимирович – канд. техн. наук, доцент кафедри телекомунікаційних систем та телебачення, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Пуданен Владислав Євгенович — студент групи ТКТ-18мс, факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Юрченко Артем Олександрович — студент групи ТКТ-15б, факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Vasylkivskyi Mikola Volodymyrovych. — Ph.D., Senior lecturer of the Chair of Telecommunication Systems and Television, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Poudanen Vladislav Evgenovich — student group TKT-18ms department of Infocommunication, Electronics and Nanosystems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Yurchenko Artem Aleksandrovich — student group TKT-15B department of Infocommunication, Electronics and Nanosystems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.