

ОЦІНЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ЦИФРОВИХ РАДІОТРАКТІВ

¹ Вінницький національний технічний університет

Анотація

Досліджено метод синтезу алгоритмів спільної оцінки параметрів сигналу і каналу зв'язку при умові апріорної невизначеності відносно каналу зв'язку і законів розподілу шумів по вибірці як можна меншого розміру і що мають меншу обчислювальну складність, чим існуючі. Також вони не залежать від виду тестової послідовності і забезпечують оцінку як при лінійних, так і при нелінійних моделях.

Ключові слова: адитивний білий гаусовий шум, квазікогерентний прийом, амплітудно-фазовий дисбаланс, тактова синхронізація, фазова синхронізація, негаусові шум.

Abstract

The method of synthesis of algorithms for joint estimation of signal parameters and communication channel under the condition of a priori uncertainty about the communication channel and noise distribution laws in the sample is as small as possible and has less computational complexity than the existing one is investigated.

Also, they do not depend on the type of test sequence and provide an estimate for both linear and nonlinear models.

Keywords: additive white Gaussian noise, quasi-coherent reception, amplitude-phase imbalance, clock synchronization, phase synchronization, non-Gaussian noise.

Вступ

Тенденція розвитку сучасних засобів зв'язку спрямована на збільшення об'ємів передавання інформації. Це реалізовується, наприклад, шляхом використання високопозиційних видів модуляції, таких як квадратурна амплітудна модуляція (QAM) QAM-64, 256, 1024, технології багатоантенних систем (MIMO) і частково технології ортогонального мультиплексування з частотним ущільненням (OFDM). При цьому важливу роль грає якість прийому сигналів. Тому MIMO є однією з найперспективніших систем, оскільки дозволяє підвищити швидкість передачі інформації або завадостійкість.

Завдання підвищення завадостійкості систем зв'язку є актуальним і складається з декількох етапів: завадостійке кодування, рознесений прийом, використання каналів зворотного зв'язку, застосування процедури розширення спектру, квазікогерентний прийом, який можна здійснити, реалізувавши якісну синхронізацію і компенсацію спотворень сигналу [1]. Саме цьому останньому пункту присвячена ця робота. В основі рішення задачі лежить оцінка каналу зв'язку і параметрів процесу приймання сигналів.

Найбільш простою і дешевою схемою прийому є процедура прямого перетворення, яка полягає в перенесенні високочастотного сигналу, що приймається, на нульову частоту з утворенням двох квадратур. Але цей метод має великий недолік, який полягає в наявності амплітудно-фазового дисбалансу між квадратурою сигналу, зміщення частоти через неспівпадання частот прийнятого сигналу і гетеродина приймача, а також дрейфу постійних складових. Останній фактор з'являється в результаті просочування сигналу гетеродина на вхід пристрою. Енергія постійної складової може бути більше енергії корисного сигналу. В цьому випадку вона, потрапляючи в наступні каскади приймального пристрою, робить неможливою процедуру детектування із заданою вірогідністю помилки. Відмічені спотворення також, як і канал, дуже сильно впливають на завадостійкість. З переходом систем зв'язку на вищі частоти (стандарт 5G і 6G) ці недоліки тільки посилюються [2, 3]. Тому актуальне завдання створення методів і алгоритмів оцінки описаних спотворень і параметрів каналу зв'язку. Чим точніше буде зроблена їх оцінка, тим менша вірогідність помилки приймання інформаційного символу. Це дозволить, наприклад, використовувати завадостійкі коди з меншою надмірністю або скоротити швидкість передачі даних по зворотному каналу [4].

З інтенсивним розвитком обчислювальної і мікропроцесорної техніки стає можливим реалізувати складніші алгоритми спільної оцінки параметрів випадкового сигналу і каналу, які мають вищу точність, ніж спрощені процедури, що роблять оцінку параметрів, як правило, окремо, і засновані на

статистичному усереднюванні та класичному методі стохастичної апроксимації.

Метою роботи є підвищення завадостійкості систем зв'язку за рахунок підвищення точності спільного оцінювання невідомих параметрів каналу зв'язку при прийнятній обчислювальній складності.

Результати дослідження

Прийом цифрового сигналу неможливий без процедури тактової і фазової синхронізації, а також без компенсації спотворень, які вносяться каналом зв'язку [1-3]. Суть синхронізації полягає в приведенні спостережуваного в шумах сигналу і опорного колювання до паралельності змін їх в часі. Компенсація полягає в знятті з сигналу всього зайвого, набутого ним в процесі поширення по каналу зв'язку і в результаті обробки в приймальному тракті системи. Це дозволяє організувати когерентний прийом і тим самим підвищити завадостійкість. В процесі синхронізації і компенсації спотворень сигналу відбувається оцінка невідомих параметрів, таких як затримка, фаза, частота, амплітуда, амплітудно-фазовий дисбаланс між квадратурою сигналу, дрейф постійних складових. Вони, як правило, є не константами, а випадковими процесами, що найчастіше повільно змінюються в часі. Чим точніше буде зроблена їх оцінка, тим вище стане завадостійкість системи [4]. При використанні завадостійкого кодування для отримання потрібної вірогідності помилки це дозволить використовувати коди з меншою надмірністю, що підвищить швидкість передачі інформації. Існує три основні підходи до оцінювання сигнальних параметрів: за допомогою методу максимальної правдоподібності (МП), за правилом максимуму апостеріорної вірогідності (МАВ) і з використанням фільтрації (лінійна фільтрація Кальмана, Колмогорова-Вінера, нелінійна фільтрація Стратоновича, непрямий метод нелінійної фільтрації). Перераховані методи спираються на знання апріорної інформації про закони розподілу шумів, тобто передбачається відомою щільність розподілу вірогідності. Проте на практиці ці відомості є неповними і неточними. У таких умовах створення детальних математичних моделей призводить до втрати переваг оптимальних алгоритмів перед евристичними. Тому в умовах неповної інформації в основному використовуються два підходи: адаптивна фільтрація і непараметричний підхід, заснований на методі стохастичної апроксимації. Застосування адаптивної фільтрації призводить до значного ускладнення алгоритмів, як правило, нелінійних, таких, що реалізуються наближено, що знижує точність оцінки або призводить до розходження. У разі застосування методів стохастичної апроксимації не потрібно майже ніякої апріорної інформації, але моделі, на базі яких синтезуються фільтри, менш інформативні, оцінки є асимптотично оптимальними, тому в перехідному режимі, що найважливіше на практиці, точність може бути не задовільною. Для оцінки постійних параметрів часто в цій ситуації використовують метод найменших квадратів (МНК) і статистичне усереднювання. Останній підхід є простим, але вимагає великого об'єму оброблюваної вибірки сигналу. На рисунку 1. показані найбільш часто задіяні методи оцінювання параметрів сигналу і випадкових процесів.



Рис. 1. Методи оцінювання постійних параметрів сигналу і випадкових процесів

Найбільше алгоритмів оцінювання параметрів каналу і сигналу синтезовано за умови спостережень на тлі адитивного гаусового білого шуму. Використання моделі процесу з нормальним розподілом виправдане виконанням умов центральної граничної теореми (ЦГТ) теорії вірогідності. Наприклад, якщо сигнал завади є сумою завад від багатьох джерел, або приймач містить лінійну вузькосмугову систему, на виході якої сигнал з довільною густиною розподілу вірогідності нормалізується. Проте проблемі завад негаусових шумів присвячено багато публікацій [1-4]. Існують випадки, коли шум корельований (не білий) і має закон розподілу, що відрізняється від гаусового. До такої ситуації

можна віднести атмосферні і індустриальні завади, взаємні завади радіозасобів (імпульсні, вузькосмугові завади), шумові сигнали, отримані після віддзеркалення від водної поверхні.

Сучасна тенденція розвитку техніки зв'язку спрямована на збільшення пропускну здатності систем телекомунікацій. Добитися цього можна за допомогою розширення смуги частот. Але при цьому в приймачі відсутній вузькосмуговий фільтр, за допомогою якого виконувалася ЦГТ. Тому в цих випадках необхідно, або проводити ідентифікацію закону розподілу процесу, а потім використувати відомі оптимальні методи, або застосувати підхід, не залежний від щільності розподілу вірогідності.

Висновки

Результати проведеного дослідження показали, що в основному пропонуються процедури роздільної оцінки параметрів сигналу і каналу на тлі адитивного білого шуму гауса за критерієм максимальної правдоподібності. Окрім цього вважається, що частина параметрів відома або знайдена заздалегідь з високою точністю якими-небудь іншими методами, тобто повне завдання оцінки усіх невідомих параметрів не вирішене. При відносно невеликому об'ємі вибірки сигналу роздільна оцінка поступається по точності спільній оцінці параметрів.

Відома спільна оцінка невідомих параметрів сигналу і каналу має дуже високу обчислювальну складність: мінімальна кількість операцій пропорційна третій мірі від об'єму вибірки сигналу.

При оцінці на фоні шумів з невідомою щільністю розподілу проводять їх ідентифікацію або використовують лінійний МНК і методи статистичного усереднювання за часом, що вимагають великого об'єму вибірки оброблюваного сигналу.

При використанні алгоритмів на основі тестових послідовностей підбирається їх спеціальний вид, орієнтований на ту або іншу процедуру оцінювання. Тому синтезовані в таких умовах алгоритми не застосовні для оцінки параметрів по отриманих після детектування інформаційних символах.

Сліпі алгоритми оцінювання працюють за великим обсягом вибірки.

Для некоректно поставлених по Адамару завдань застосовується тільки процедура фільтру Кальмана з лінійною моделлю динамічної системи і рівняння спостереження. Такий підхід не дозволяє вирішувати нелінійні завдання, якими є більшість завдань радіотехніки і зв'язку.

Оцінка каналу з релеєвськими завмираннями і доплерівським розширенням спектру отримана методом лінійної фільтрації з тригонометричною апроксимацією множників каналу. Але цей відомий підхід не враховує спотворення сигналу, що з'являються в тракці приймача прямого перетворення і вимагає визначення частот квазігармонік, що входять в апроксимуючу конструкцію. Окрім цього, збільшення кількості останніх призводить до істотного ускладнення алгоритму оцінювання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бакулин, М.Г. Технология ММО: принципы и алгоритмы. / М.Г. Бакулин, Л.А. Варукина, В.Б. Крейнделин. - М: Горячая линия-Телеком, 2014. -244 с.
2. Бакулин, М.Г. Технология OFDM. Учебное пособие для вузов. / М.Г. Бакулин, В.Б. Крейнделин, А.М. Шлома, А.П. Шумов. - М: Горячая линия- Телеком, 2016. -352 с.
3. Бакулин, М.Г. Технологии в системах радиосвязи на пути к 5G./ М.Г. Бакулин, В.Б. Крейнделин, Д.Ю. Панкратов. - М: Горячая линия –Телеком, 2018. -280 с.
4. Аджемов, А.С. Общая теория связи. Учебник для вузов. / А.С. Аджемов, В.Г. Санников. - М: Горячая линия-Телеком, 2018. - 624 с.

Стальченко Александр Владимирович — канд. техн. наук, доцент кафедри ТКСТБ, заступник декана факультету ІРЕН, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: magicphenix@gmail.com

Древінський Владислав Віталійович – студент групи ТКС-20м, спеціальності 172-Телекомунікації та радіотехніка, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Урсан Максим Іванович — аспірант, спеціальності 172-Телекомунікації та радіотехніка, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: tk17ms.ursan@gmail.com

Stalchenko Alexander V. - Cand. tech. Sciences, Associate Professor of Telecommunication system and television, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: magicphenix@gmail.com

Drevinsky Vladislav V. - student of TKS-20m group, specialty 172-Telecommunications and radio engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Ursan Maksym I. - graduate student, majoring in 172-telecommunications and radio engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, tk17ms.ursan@gmail.com