

УДК 621.396

О.В. Федоровський

Миколаївський спеціалізований центр бойової підготовки
авіаційних фахівців Збройних Сил України, Миколаїв

ОСОБЛИВОСТІ ТОЧНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ЗАТРИМКИ СКЛАДНОГО ШИРОКОСМУГОВОГО СИГНАЛУ З ПСЕВДОВИПАДКОВОЮ СТРУКТУРОЮ

Розглядається питання особливості точного визначення затримки широкосмугового сигналу з псевдовипадковою структурою в теорії нелінійної фільтрації, яке пов'язано з багатопіковістю апостеріорного розподілу затримки, та проводиться аналіз методів врахування полімодальності апостеріорної щільності вірогідності затримки для алгоритмів точного слідування за затримкою сигналу.

Ключові слова: затримка сигналу, когерентна обробка широкосмугових сигналів, апостеріорна щільність вірогідності, полімодальність, нелінійна фільтрація.

Вступ

Постановка проблеми. В системах передачі даних з використанням широкосмугових сигналів з псевдовипадковою структурою із-за особливостей їх прийому та обробки, виникає необхідність у високій точності оцінки часу приходу корисних сигналів [1].

З основних положень теорії оптимальної фільтрації марківських процесів, максимальна точність оцінки затримки складного сигналу досягається за умов здійснення когерентного прийому [2], котрий має ряд особливостей, що пов'язані перш за все полімодальністю апостеріорної щільності вірогідності (АЩВ) затримки сигналу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Згідно теорії оптимальної фільтрації точне рішення задачі фільтрації зводиться до рекурентних інтегродиференціальних рівнянь для АЩВ невідомих параметрів [2 – 4]. Безпосередня реалізація цих рівнянь в більшості випадків неможлива. Для приблизного рішення запропоновано ряд методів, основний з котрих - це метод гаусівської апроксимації [2 – 5], але, використання звичайної (унімодальної) нормальної щільності вірогідності для апроксимації АЩВ випадкової затримки в задачі комплексного використання ВЧ заповнення та огинаючої призводить до алго-

ритмів з характерною неоднозначністю із-за багатопіковості АЩВ (рис.1). Фізично багатомодальність АЩВ обумовлена квазіперіодичною залежністю радіосигналу від $\tau(t)$ [6].

Формулювання мети статті (постановка завдання). Таким чином для синтезу алгоритму широкосмугового сигналу з псевдовипадковою структурою необхідно визначити найбільш оптимальний метод апроксимації АЩВ затримки для досягнення необхідної точності фільтрації затримки та когерентної обробки сигналу.

Виклад основного матеріалу

Необхідна точність може бути отримана при сумісному (комплексному) використанні інформації про затримку сигналу $\tau(t)$, котра міститься в огинаючій та високочастотному (ВЧ) заповненні сигналу [6].

Фізично ідея сумісного використання інформації про затримку $\tau(t)$ ВЧ заповнення та огинаючої сигналу можлива в тому випадку, коли тактова та несуча частоти сигналу отримуються при використанні коливачів одного опорного генератора.

Теоретично сумісне використання ВЧ заповнення та огинаючої сигналу слідує з виду сигналу,

котрий описується процесом з випадковою затримкою

$$S(t, \tau) = f(t - \tau) \cos \omega_0(t - \tau), \quad (1)$$

де $\tau(t)$ – затримки сигналу.

Для врахування полімодальності АЩВ $p(\tau)$ когерентного сигналу відомо декілька підходів. Наприклад, в [тузов] пропонується полігаусова апроксимація, де апроксимуюча АЩВ має вигляд

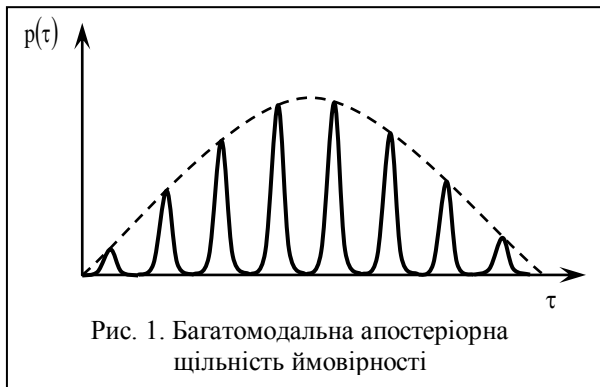
$$p(\tau) = \sum_{k=1}^n p_k N(m_k, D_k), \quad (2)$$

де p_k – вагові коефіцієнти; $\sum_{k=1}^n p_k = 1, p_k > 0$;

m_k, D_k – відповідно математичне очікування й дисперсія гаусівської щільності $N(m_k, D_k)$.

Недоліком полігаусівської апроксимації є велика складність практичної реалізації отриманих в результаті синтезу алгоритмів. Під час синтезу алгоритму точного слідування за затримкою сигналу з ППРЧ та частотною маніпуляцією з мінімальним зсувом (ЧМнМЗ), кількість невідомих параметрів, які визначають АЩВ, дорівнює $3n$, де $n = 200$.

За умови $D \ll T_0^2$ (сусідні піки практично не перекриваються), можна запропонувати простіший варіант з кількістю параметрів $n+2$, в котрому окремі піки АЩВ (рис. 1) апроксимуються гаусівськими щільностями з математичними очікуваннями $T_k = T + kT_0$ та однаковими дисперсіями $D_k = D$.



В [1,2,5] запропонована апроксимація полімодальної АЩВ множенням: $p_0(\tau)p_\zeta(\tau)$, де $p_0(\tau)$ – відносно плавно змінююча функція ("огинаюча"), а $p_\zeta(\tau)$ – швидко змінююча функція з періодом T_0 ("високочастотне заповнення"). Однак, завдання в такому вигляді запропоновує "незалежність" оцінок часової затримки та високочастотного колювання радіосигналу. Тому доцільно використовувати узагальнення такого представлення, яке враховує зв'язок затримок:

$$p(\tau) = c \sum_k \exp \left[-\frac{1}{2} (\tau - m_\zeta - kT_0, \tau - m_0) \underline{R}^{-1} \times \right. \\ \left. \times (\tau - m_\zeta - kT_0, \tau - m_0)^T \right] \quad (3)$$

де m_0 – математичне очікування "огинаючої" $p_0(\tau)$;

$(m_\zeta - kT_0)$ – точки максимуму $p_\zeta(\tau)$;

\underline{R} – кореляційна матриця розміром 2×2 .

В даному випадку кількість параметрів що визначає апроксимуючий розподіл дорівнює п'яти.

Проте, обидва метода припускають ряд суттєвих обмежень (наприклад, припущення о вузькості піків у зрівнянні з відстанню між ними або у малості похибки фільтрації, яке властиве для гаусівських наближень), та диктують введення до розгляду спеціальних видів апроксимуючих щільностей вірогідності, які враховують характер $p(\tau)$ і необхідність обґрунтування умов їх застосування, розробки процедури визначення їх параметрів і т.і.

Цих недоліків позбавлений запропонований в [6] метод розділу затримок (метод додаткової змінної (МДЗ)) огинаючої та високочастотного заповнення, основним достоїнством котрого є зведення задачі з багатопіковим розподілом до задачі з звичайним (унімодальним) розподілом в розширеному просторі змінних.

В запропонованому методі замість однієї змінної τ розглядаються дві змінні $\{\tau, \tau_{\bar{a}}\}$, а тождественність враховується в апіорному розподілу

$$p_{pr}(\tau, \tau_{\bar{a}}) = p_{pr}(\tau) \delta(\tau - \tau_{\bar{a}}), \quad (4)$$

де $p_{pr}(\tau)$ – відома апіорна щільність вірогідності випадкової затримки сигналу.

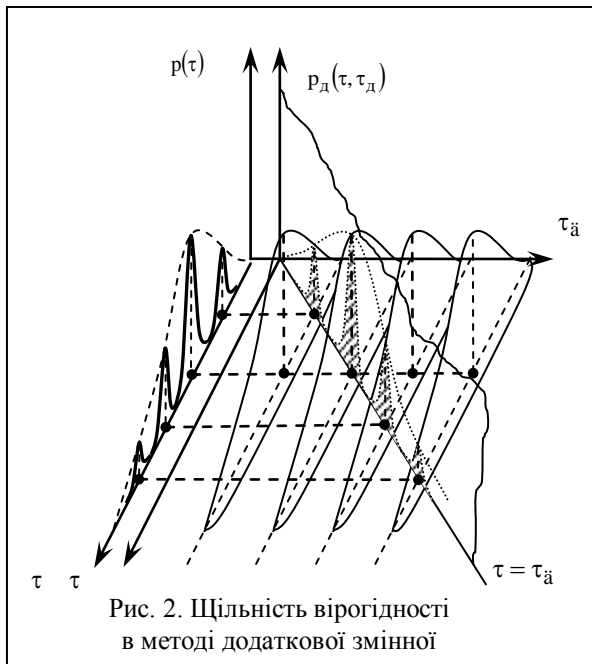
В задачі оцінки затримки вводиться $\tau_{\bar{a}}$ таким чином, щоб "розділити" затримки огинаючої та високочастотного заповнення сигналу

$$S(t, \tau, \tau_{\bar{a}}) = f(t - \tau) \cos \omega_0(t - \tau_0) \quad (5)$$

Апостеріорна щільність вірогідності тоді, прийме вигляд

$$p(\tau, \tau_{\bar{a}}) = c p_{pr}(\tau) \delta(\tau - \tau_{\bar{a}}) \times \\ \times \exp[X(\tau) \cos \omega_0(\tau_{\bar{a}} - \tilde{\tau}(\tau))] \quad (6)$$

На рис. 2 відображена поверхня $p_{\bar{a}}(\tau, \tau_{\bar{a}})$, яку з точністю до постійної описує права частина виразу (6), в якій дельта-функція $\delta(\tau - \tau_{\bar{a}})$ відображена на малюнку сікучою площиною $\tau = \tau_{\bar{a}}$. Перетинання цієї площиною з поверхнею $p_{\bar{a}}(\tau, \tau_{\bar{a}})$ з точністю до нормованого множника співпадає з $p(\tau)$, тобто має багатопіковий характер (рис.1), але поверхня $p_{\bar{a}}(\tau, \tau_{\bar{a}})$ більш регулярна, чим $p(\tau)$.



Її залежність від τ визначається функціями $X(\tau)$, $\tilde{\tau}(\tau)$ та $p_{pr}(\tau)$, які повільно змінюються[6]. За змінною $\tau_{\ddot{a}}$ вигляд $p_{\ddot{a}}(\tau, \tau_{\ddot{a}})$ має багатопіковий характер, але ця багатопіковість строго періодична $p_{\ddot{a}}(\tau, \tau_{\ddot{a}}) = p_{\ddot{a}}(\tau, \tau_{\ddot{a}} + T_0)$, тобто її легко врахувати.

Сутність МДЗ полягає в апроксимації, ні як звичайно апостеріорної щільності вірогідності $p(\tau)$ за змінною τ , а функцію $p_{\ddot{a}}(\tau, \tau_{\ddot{a}})$ в розширеному просторі $\{\tau, \tau_{\ddot{a}}\}$. Далі необхідно визначити параметри апроксимуючого розподілу, за ними знайти параметри отриманої апроксимації для $p(\tau)$ та отримати необхідну оцінку.

Висновки

Застосування під час синтезу алгоритму слідування за затримкою сигналу метод розділу затримок дозволяє замість розробки спеціальних багатопікових апроксимацій та критеріїв їх оцінки використовувати існуючий в нелінійній фільтрації арсенал добре розроблених методів. Тому під час синтезу алгоритму прийому (когерентної обробки) широкопозитивного сигналу з псевдовипадковою структурою для врахування полімодальності АЩВ $p(\tau)$, з метою отримання високої точності оцінки затримки, слід застосовувати метод розділу затримок.

Список літератури

1. Тузов Г.И. Помехозащищённость радиосистем со сложными сигналами. / Г.И. Тузов, В.А. Сивов, В.И. Прытков и др. – М.: Радио и связь, 1985. – 264с.
2. Стратанович Р.Л. К теории оптимальной нелинейной фильтрации случайных функций / Р.Л. Стратанович // Теория вероятности и её применение. – 1959. – Т.4, вып. 2.
3. Стратанович Р.Л. Условные марковские процессы и их применение к теории оптимального управления / Р.Л. Стратанович. – М.: МГУ, 1966.
4. Тихонов В.И. Нелинейная фильтрация и квазикогерентный приём сигналов / В.И. Тихонов, Н.К. Кульман. – М.: Сов. радио, 1975.
5. Сейдж Э.П. Теория оценивания и её применение в связи и управлении / Э.П. Сейдж, Дж.Л. Мелса; пер.с англ. под ред. Б.Р. Левина. – М.: Связь, 1976.
6. Тихонов В.И. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем. / В.И. Тихонов, В.Н. Харисов. – М.: Радио и связь, 2004. – 608 с.

Надійшла до редколегії 30.03.2012

Рецензент: канд. техн. наук проф. Ю.І. Миргород, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ОСОБЕННОСТИ ТОЧНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАДЕРЖКИ СЛОЖНОГО ШИРОКОПОЛОСНОГО СИГНАЛА С ПСЕВДОСЛУЧАЙНОЙ СТРУКТУРОЙ

А.В. Федоровский

Рассматривается вопрос особенности точного определения задержки широкополосного сигнала с псевдослучайной структурой в теории нелинейной фильтрации, которое связано с многопиковостью апостериорного распределения задержки, и проводится анализ методов учета полимодальности апостериорной плотности вероятности задержки для алгоритмов точной слежки за задержкой сигнала.

Ключевые слова: задержка сигнала, когерентная обработка широкополосных сигналов, апостериорная плотность достоверности, полимодальность, нелинейная фильтрация.

FEATURES OF EXACT DETERMINATION OF DELAY OF DIFFICULT BROADBAND SIGNAL WITH A PSEUDO CASUAL STRUCTURE

A. V. Fedorovsky

The question of feature of exact determination of delay of signal with wide stripe is examined with a pseudo casual structure in the theory of nonlinear filtration, which is related to much lances of a posteriori distribution of delay, and the analysis of methods of account of much modality of a posteriori closeness of probability of delay is conducted for the algorithms of the exact shadowing after the delay of signal.

Keywords: Delay of signal, coherent treatment of broadband signals, a posteriori closeness of authenticity, much modality, nonlinear filtration.