

НАУКОВА РОБОТА

ТЕМА:” Сумісна просторово-часова і модемна компенсація структурних
завад“

Шифр: “Завада”

ЗМІСТ

| | |
|----------------------------------|----|
| АНОТАЦІЯ..... | 3 |
| ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ | 5 |
| ВСТУП..... | 6 |
| ВИСНОВКИ | 13 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ | 14 |

АНОТАЦІЯ

наукової роботи на тему:

Сумісна просторово-часова і модемна компенсація структурних завад

Викладається підхід до вирішення задач підвищення завадозахищеності радіоліній шляхом спільного, взаємопов'язаного застосування методів компенсації завад в адаптивних антенних решітках і в демодуляторах приймальних пристроїв. Теорія просторово-часової обробки сигналів передбачає для управління адаптивними антенними решітками виконання поточної процедури формування опорного сигналу. У відомих роботах для цього пропонується застосування широкосмугових сигналів.

Водночас на теперішній час продовжує розвиватись напрямок в теоріях лінійної і нелінійної фільтрації, метою якого є синтез процедур компенсації завад безпосередньо в демодуляторах приймальних пристроїв. Визначальною вихідною умовою ефективності функціонування таких компенсаційних алгоритмів є відношення сигнал/завада на їх входах. Відомо, що критерій максимуму зазначеного відношення широко застосовується в теорії просторово-часової обробки.

Метою роботи є вивчення можливості і доцільності спільного двоетапного застосування процедур компенсації завад.

На першому етапі забезпечується досягнення максимуму відношення сигнал/завада на виході адаптивної антенної решітки – тобто, на вході демодулятора.

На другому етапі пропонується згортка широкосмугового сигналу і компенсація завади в демодуляторі, що синтезований методами теорії нелінійної оптимальної фільтрації дискретно-неперервних марківських процесів. Завдяки можливості часткової компенсації довільної за структурою завади в демодуляторі можна сподіватись на покращення якості формування опорного сигналу, необхідно для управління адаптивною антенною решіткою. В свою

чергу, як результат, підвищення відношення сигнал/завада на вході демодулятора призведе до покращення показників завадостійкості демодулятора.

На окрему увагу заслуговує задача боротьби за запропонованим двоетапним комплексним підходом з завадами, подібними до корисного цифрового сигналу. Через немонотонну залежність завадостійкості від відношення сигнал/завада в демодуляторах з компенсацією подібних завад, що синтезуються методами теорії багатокористувацького детектування, взаємозалежність (взаємний вплив) параметрів адаптивної антенної решітки і демодулятора з компенсацією завади, подібної до корисного сигналу потребує подальших досліджень.

Ключові слова: адаптивна антенна решітка, опорний сигнал, відношення сигнал/завада, теорія нелінійної оптимальної фільтрації, теорія багатокористувацького детектування.

Робота містить: 11 сторінок, 1 рисунок, 11 джерел.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

1. ШСС – широкосмуговий сигнал
2. ААР – адаптивна антенна решітка
3. ТНФ – теорія оптимальної нелінійної фільтрації
4. ЦС – цифровий сигнал
5. АПВП - аперіодична псевдовипадкова послідовність
6. ДП – дискретний параметр
7. БКД – багатокористувацьке детектування

ВСТУП

Теорія просторово-часової обробки сигналів передбачає для управління адаптивними антенними решітками (ААР) виконання процедури фільтрації опорного сигналу, необхідного для формування так званої нев'язки. Як приклад, в роботах Р. Комптона, Р. Ріглера, Б. Уїдроу, С. Сті-рнза, О. Родімова, В. Поповського [1-4 та ін.] пропонується цю процедуру виконувати із застосуванням широкосмугового сигналу (ШСС), що будується із застосуванням послідовностей з “хорошими” автокореляційними властивостями (наприклад, послідовностями Голда, Касамі, бент-функціями). При цьому в демодуляторі (узгодженому фільтрі) відповідного ШСС виконується його згортка, а будь-яка компенсаційна процедура взагалі не передбачалась. Загалом, процедури формування опорного сигналу, запропоновані зазначеними авторами, були переважно евристичними.

Метою роботи є демонстрація можливості компенсації завад цифровим радіолініям з широкосмуговими сигналами двома взаємодоповнюючими способами – послідовно в ААР і потім – у демодуляторі широкосмугового сигналу.

Тобто, пропонується застосовувати для боротьби з завадами три способи - одночасного застосування ШСС, керування діаграмою спрямованості ААР і компенсацію залишку завади безпосередньо в демодуляторі.

Свого часу Д. Бураченком із застосуванням теорії оптимальної нелінійної фільтрації дискретно-неперервних марківських процесів (ТНФ) було доведено, що за наявності у корисному цифровому сигналі (ЦС) криптостійкої розрізнявальної ознаки (аперіодичної псевдовипадкової послідовності (АПВП), що розширює спектр) можна частково компенсувати структурну заваду безпосередньо у демодуляторі. Ним була одержана процедура демодуляції широкосмугового ЦС, що спостерігається в адитивній суміші зі структурною завадою, оптимальна за критерієм мінімуму імовірності помилки в оцінці

інформаційного дискретного параметра (ДП) корисного ЦС. Цей результат був розвинутий в роботах [5,6] на випадки коли завад більше однієї і вони можуть бути подібні за структурою до корисного цифрового сигналу. Подібні задачі під загальною назвою “оцінювально-кореляційно-компенсаційна обробка” детально розглядались і багатьма іншими дослідниками – наприклад, Ю.Г. Сосуліним В.В. Костровим та Ю.Н. Паршиним [8,9].

Слід очікувати, що такі підходи до формування опорного ШСС, коли окрім його згортки, в демодуляторі також виконується часткова компенсація завади, покращать якість формування сигналу нев’язки $\varepsilon(t)$. На окрему увагу заслуговує наступне. ААР передбачають управління діаграмою спрямованості, яке (за одного з можливих критеріїв оптимальності [1-5]) має за мету максимізацію відношення сигнал/завада. Водночас завадозахищеність (відповідно, імовірність помилки в оцінці інформаційного ДП корисного ЦС) демодуляторів ШСС з реалізацією процедур компенсації завади, що синтезуються методами ТНФ, монотонно залежить від цього відношення. Тому можна стверджувати, що незалежна оптимізація по частинам двохетапного алгоритма компенсації завади (попередньо в ААР і в демодуляторі) призведе до максимально досяжного результату – мінімуму імовірності помилки в оцінці ДП корисного ЦС. Однак при цьому треба мати на увазі, що оптимізація ААР за тим чи іншим критерієм (максимуму відношення сигнал/(завада+шум), мінімуму середньоквадратичного відхилення, мінімуму напруги завади на виході, максимуму правдоподібності їх комбінації) буде призводити до глобального мінімуму імовірності помилки на виході демодулятора ха різними критеріями – в залежності від структури завади.

Розглянемо приклад. Нехай на виході ААР присутнє спостереження, що містить корисний ШСС з двійковою фазовою маніпуляцією, дифузійну заваду та АБГШ:

$$y_t = \pi(k)(-1)^r \lambda_c + \lambda_3 + n(t) \quad (1)$$

Тут $\pi(k)$ – АПВП на k -му інформаційному тактовому інтервалі, що приймає значення ± 1 ; $r = \overline{0,1}$ – інформаційний ДП сигналу; $\lambda_c \square \lambda_c(t), \lambda_3 \square \lambda_3(t)$ – дифузійні марківські процеси, що описують сигнал та заваду відповідно у вигляді стохастичних диференціальних рівнянь:

$$\begin{aligned}\dot{\lambda}_c &= -\alpha(\lambda_c - \lambda_{c0}) + n_{\lambda_c}; \\ \dot{\lambda}_3 &= -\beta(\lambda_3 - \lambda_{30}) + n_{\lambda_3},\end{aligned}$$

де $n_{\lambda_c}, n_{\lambda_3}$ – незалежні адитивні білі гауссівські шуми; λ_{c0} та λ_{30} – регулярні складові; α, β – коефіцієнти масштабування.

Диференціальні рівняння фільтрації цих процесів, вперше одержані Д. Бураченко для найпростішої моделі (1), мають вигляд (див. також узагальнення [6,7]):

$$\begin{aligned}\dot{\lambda}_c^* &= -\alpha(\lambda_c^* - \lambda_{c0}) + K_{cc} \frac{d}{dt} \left\{ thB_0 \frac{2}{N_0} \int_{t_{k-1}}^{t < t_k} (y_t - \lambda_3^*) \pi(k) dt - \frac{2}{N_0} \int_{t_{k-1}}^{t < t_k} \lambda_c^* dt \right\} + \\ &+ K_{c3} \frac{d}{dt} \left\{ \frac{2}{N_0} \int_{t_{k-1}}^{t < t_k} (y_t - \lambda_3^*) dt - \pi(k) thB_0 \frac{2}{N_0} \int_{t_{k-1}}^{t < t_k} \lambda_c^* dt \right\}; \\ \dot{\lambda}_3^* &= -\beta(\lambda_3^* - \lambda_{30}) + K_{33} \frac{d}{dt} \left\{ \frac{2}{N_0} \int_{t_{k-1}}^{t < t_k} (y_t - \lambda_3^*) \pi(k) dt - \pi(k) thB_0 \frac{2}{N_0} \int_{t_{k-1}}^{t < t_k} \lambda_c^* dt \right\} + \\ &+ K_{c3} \frac{d}{dt} \left\{ thB_0 \frac{2}{N_0} \int_{t_{k-1}}^{t < t_k} (y_t - \lambda_3^*) \pi(k) dt - \frac{2}{N_0} \int_{t_{k-1}}^{t < t_k} \lambda_c^* dt \right\};\end{aligned}\quad (2a)$$

$$t \in [t_{k-1}, t_k).$$

Тут K_{cc}, K_{zz}, K_{cz} – власні і взаємні кумулянти сигналу і завади; $t \in [t_{k-1}, t_k)$ – інформаційний тактовий інтервал; λ_c^*, λ_z^* – оцінки сигналу та завади відповідно;

$$B_0 = \frac{2}{N_0} \int_{t_{k-1}}^{t < t_k} (y_t - \lambda_z^*) \pi(k) \lambda_c^* dt \quad (3)$$

- поточне значення функції взаємної кореляції (кореляційного інтегралу) спостереження (в якому виконується компенсація завади λ_z^* за допомогою її оцінки λ_z^*), і оцінки $\pi(k) \lambda_c^*$, що одержується в демодуляторі за загальними взаємопов'язаними алгоритмами фільтрації (2); N_0 - одностороння спектральна щільність потужності АБГШ $n(t)$ в моделі спостереження (1).

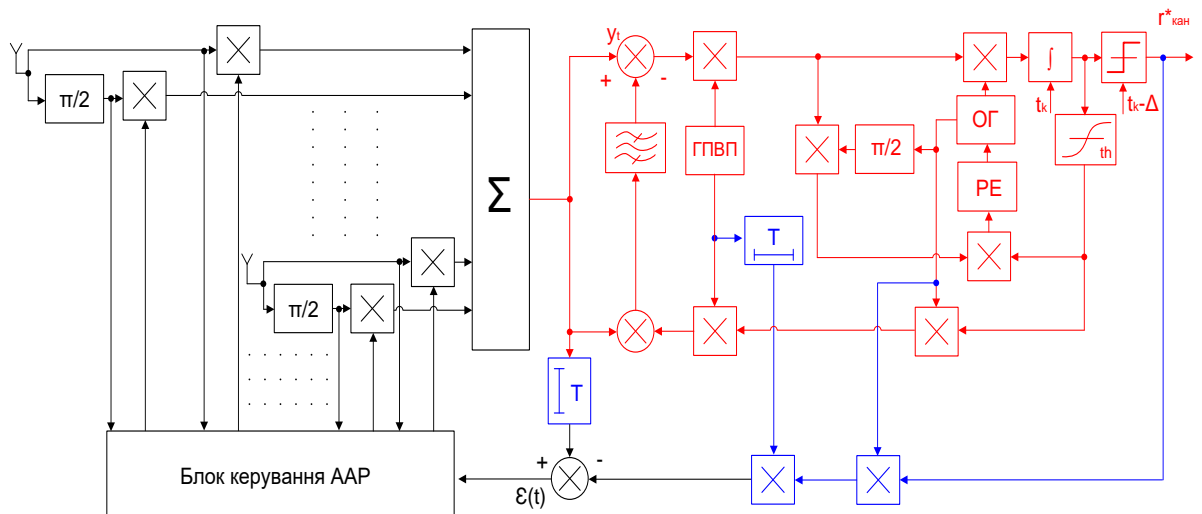


Рис 1. Структурна схема алгоритму сумісної компенсації завади

Зазначимо, що в рівняннях (2) присутні складові, які є спрощеними оцінками сигналу і завади. Вона буде тим кращою, чим більшим буде відношення сигнал/шум. Дійсно, при $thB_0 \square signB_0 = (-1)^{r^*}$, де r^* - оцінка ДП r корисного сигналу, маємо наближення ($sign(x \geq 0) = 1$; $sign(x < 0) = -1$):

$$\begin{aligned} & \frac{2}{N_0} \int_{t_{k-1}}^{t < t_k} (y_t - \lambda_3^*) dt - \pi(k) th B_0 \frac{2}{N_0} \int_{t_{k-1}}^{t < t_k} \lambda_c^* dt \cong \\ & \cong \frac{2}{N_0} \int_{t_{k-1}}^{t < t_k} [y_t - \pi(k)(-1)^{r^*} - \lambda_c^*] dt - \frac{2}{N_0} \int_{t_{k-1}}^{t < t_k} \lambda_3^* dt \end{aligned}$$

Іншими словами, маємо, як приклад, оцінку завади у вигляді:

$$\begin{aligned} \hat{\lambda}_3 = y_t - \pi(k) th B_0 \lambda_3^* = \lambda_3 + [(-1)^r \lambda_c - th B_0 \lambda_c^*] \pi(k) + n(t) \cong \lambda_3 \pm \\ \pm [\lambda_c - \lambda_c^* (1 - 2p(r^* = 1 - r))] + n(t) \end{aligned}$$

де $p(\square)$ – імовірність помилки в оцінці ДП r корисного сигналу, що є справедливим навіть у випадках, коли з метою спрощення реалізації компенсатора в правих частинах рівнянь (2) взаємними кумулянтами бажано буде знехтувати.

Відповідний спрощений алгоритм сумісної компенсації завади в ААР і демодуляторі приймального пристрою наведений на рис. 1.

Можна бачити, що в якості опорного сигналу для формування сигналу нев'язки $\varepsilon(t)$ в ААР можна використати складові рівнянь фільтрації, які містяться в (2), (3):

$$\varepsilon(t) = y_t - \pi(k) th B_0 \lambda_c^*, \quad (4)$$

В (4), як витікає з (3), має місце плинний ваговий зворотній зв'язок – «м'яка» реманіпуляція оцінки сигналу λ_c^* виконується відповідно до функції $th(\cdot)$. Якщо ж сигнал в спостереженні (1) змінюється повільно ($\tau_{\lambda_c} \gg T$, де $T = t_k - t_{k-1}$ – довжина інформаційного тактового інтервалу), то для формування нев'язки $\varepsilon(t)$ можна використати «жорсткі» рішення, що приймаються наприкінці тактового інтервалу:

$$\varepsilon(t) = y_{t-T} - \pi(k-1)(-1)^k r_k^* \lambda_c^*$$

Тут y_{t-T} - вхідне спостереження, затримане на T , $\pi(k-1)$ - АПВП на тактовому інтервалі $t \in [t_{k-1}, t_k)$,

$$r_k^* = \text{rect} \left[\int_{t_{k-1}}^{t_k} (y_t - \lambda_c^*) \pi(k) \lambda_c^* dt \right] \quad (5)$$

- рішення про значення інформаційного параметра r корисного сигналу; $\text{rect}(x \geq 0) = 1$; $\text{rect}(x < 0) = 0$.

Водночас в алгоритмах фільтрації (2) «жорсткі» рішення (5) застосовувати не можна, тому що процедура компенсації завади виконується негайно (плинним чином) на протязі плинного тактового інтервала, без затримки, а рішення r_k^* приймається в його кінці.

Інша ситуація може мати місце, коли сигнал нев'язки формується в демодуляторі, що синтезований методами теорії багатокористувацького детектування (БКД) [10,11]. При неоптимальному лінійному розділенні (ортогоналізації за Грамом-Шмідтом) корисного ЦС і подібної йому за структурою завади, як доведено Д. Бураченком [10], імовірність помилки в оцінці ДП корисного ЦС теоретично не залежить від відношення сигнал/завада.

При оптимальному розділенні методами БКД, навпаки, зазначена залежність носить досить складний немонотонний характер. І тому не можна стверджувати, що максимізація відношення сигнал/завада на виході ААР завжди буде призводити до зменшення імовірності помилки. Справа в тому, що, як свого часу довели С. Верду [11] та незалежно – Д. Бураченком [10], найгірша імовірність помилки в оцінці ДП при оптимальному розділенні має місце у випадках, коли миттєві потужності корисного ЦС і подібної йому завади майже співпадають. А при несуттєвому перевищенні завади над сигналом (на 3-6 дБ) ця імовірність

помилки теоретично наближається до такої ж, як і в каналі без завади. Тому при оптимізації антенно-модемного компенсатора, в якому сигнал нев'язки $\varepsilon(t)$ формується із застосуванням алгоритмів оптимального розділення, доведеться приймати альтернативні рішення. Якщо напрямки приходу сигналу і завади помітно відрізняються, то, очевидно, слід придушувати заваду переважно в ААР. Якщо ж ця різниця незначна (менша за розрізнявальну здатність ААР), то доцільно виконувати умову, за якої завада, подібна до корисного ЦС буде його перевищувати за миттєвою потужністю приблизно на 3-6 дБ. За такої умови методи теорії багатокористувацького детектування, оптимальні за критерієм мінімуму імовірності помилки в оцінці ДП корисного ЦС, дають найкращий результат. Іншими словами, якщо виключно в ААР не вдається придушити заваду до потрібного рівня, то слід її залишити такою, що в 2-4 рази перевищує корисний ЦС, в залежності від виду модуляції.

На окрему увагу заслуговує задача синхронізації. Вона в загальному випадку повинна бути двохетапною, якщо треба вирішувати задачу захисту від навмисних завад. На першому етапі за допомогою до якої синхропослідовності фіксованої довжини вирішується задача формування опорного сигналу, необхідного для налаштування діаграми спрямованості ААР. Після цього з'явиться можливість синхронізувати генератор АПВП, що входить до складу демодулятора, і почати передачу корисної інформації.

ВИСНОВКИ

1. Сумісна компенсація структурних завад в антенних решітках і в демодуляторах приймальних пристроїв – дві непротирічні взаємодоповнюючі процедури. Оптимізація ААР за умови впливу вузькосмугової завади може виконуватись за критерієм максимуму відношення сигнал/(завада + шум) на виході антенних систем [1-5]. Процедури компенсації структурних (вузькосмугових) завад в демодуляторах, в свою чергу, забезпечують подальше підвищення вищезазначеного відношення [6-9 та ін.].
2. Для забезпечення робото-спроможності алгоритму компенсації завад в демодуляторі необхідно, щоб корисний сигнал був широкосмуговим – структура псевдовипадкової послідовності, що роз-ширює спектр корисного сигналу, слугує для розрізнення в демодуляторі корисного сигналу і завади, без чого процедура модемної компенсації принципово неможлива.
3. При застосуванні алгоритмів опти-мальної демодуляції – розділення цифро-вого сигналу і подібної (цифрової) завади взаємодія процедур в ААР і в демодуляторі повинна бути такою, щоб на вході демодулятора відношення сигнал завада знаходилось в межах (-3)-(-6) дБ [10,11], а амплітуда спостереження на цьому вході не виходила за межі лінійності радіотракта. Все вищезазначене, строго кажучи, є справедливим за умови ідеальної лінійності радіотракту та ідеальності процедур демодуляції-розділення. Якщо ж сумарний рівень спостереження на вході антенно-модемного компенсатора призводить до нелінійних ефектів в приймальному тракту, то єдине очевидне рішення за умови неможливості збільшення значення бази корисного ЦС – зниження цього рівня до максимально припустимого на вході пристрою демодуляції – розділення, за якого починає працювати процедура компенсації завади в останньому.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Риглер Р., Комптон Р. Адаптивная антенная решетка для подавления помех. ТИИЭР, 1973, том 61, № 6, с. 75-86.
2. Комптон Р. Адаптивная антенная решетка в широкополосной системе связи. ТИИЭР, 1978, том 66, № 3, с. 23-34
3. Уидроу П., Стирнз С. Адаптивная обработка сигналов. М.: Радио и связь 1989 440 с.
4. Родимов А.П., Поповский В.В. Статистическая теория поляризационно – временной обработки сигналов и помех в линиях связи. М.: Радио и связь. 1984. 272 с.
5. Адаптивная компенсация помех в каналах связи. Лосев Ю.И. , Бердников А.Г. , Гойхман Э.Ш., Сизов Б.Д. – М.;Радио и связь,1998 – 208 с.
6. Єрохін В. Ф., Соловей О. Г. Сумісна фільтрація дискретно-неперервних та неперервних марківських дифузійних процесів. Радіотехніка. ХНУРЕ. 2007. № 149. С. 156–163.
7. Єрохін В. Ф., Соловей О. Г. Метод синтезу алгоритмів сумісної фільтрації дискретно-неперервних та сукупності неперервних марківських процесів. Вісник ДУІКТ. 2007. Т. 5, № 1 С. 32–42.
8. Сосулин Ю.Г.,Костров В.В. Оценочно–корреляционно-компенсационная обработка сигналов на фоне помех. Радиотехника и электроника. 2006, Том 51, № 9 с. 1027-1063
9. Сосулин Ю.Г., Костров В.В., Паршин Ю.Н. Оценочно-корреляционная обработка сигналов и компенсация помех. М.: Радиотехника, 2014 298 с.
10. Бураченко Д.Л. Оптимальное разделение цифровых сигналов многих пользователей в линиях и сетях связи в условиях помех. Л.: ВАС. 1990. 302с.
11. Verdu S. Multiuser Detection. Cambridge: Cambridge University Press, 1998, 474p.