

С.П. Лівенцев, к.т.н.,
(Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації
НТУУ «КПІ» імені І. Сікорського, Україна)

Використання сліпої обробки оцінювання скалярних та векторних каналів при адаптивному кодуванні турбокодами

Запропоновано підхід до використання алгоритмів сліпий ідентифікації на основі поліноміальних статистик, що дозволяє синтезувати різні алгоритми сліпий ідентифікації для скалярних каналів зі стаціонарних і нестаціонарних входом при адаптивному турбокодуванні.

Сліпа обробка сигналів – це метод цифрової обробки сигналів, який отримав розвиток в останні роки. Загалом, завдання сліпої обробки можна сформулювати як цифрову обробку невідомого сигналу, що проходить через лінійний канал з невідомими характеристиками на тлі адитивного шуму. Під сліпою ідентифікацією системи розуміють здатність відновлювати імпульсну характеристику системи лише за вихідним сигналом з точністю до масштабного комплексного множника [1-5].

Важливість сліпих методів обробки сигналів різко зросла в останні роки у зв'язку зі стрімким розвитком індустрії бездротового зв'язку та попитом на послуги високошвидкісної передачі даних. У телекомунікаційній галузі сліпі методи використовують моделі, які лише незначно відрізняються від тих, що застосовуються для сліпого розділення джерел сигналів. Наприклад, спотворення через багатопроменеве поширення в каналах мобільного зв'язку перерозподіляють корисні сигнали в часі і спричиняють частотно-селективні завмирання. Термін "сліпий" став дуже поширеним для опису будь-якого процесу, де оцінка обмежена апріорною інформацією про систему. При побудові адаптивних ієрархічних систем адаптивного кодування потрібне швидке та якісне оцінювання характеристик каналу. У разі "повної" непараметричної невизначеності щодо імпульсної характеристики каналу і каналного сигналу ми маємо дискретно-часову модель системи передачі з одним входом і виходом

$$y(l) = y(l) \Big|_{t=lT} = \sum_{n=0}^{L-1} h(n)x(n-l) + v(l),$$

де: $x(l)$ – невідома інформаційна послідовність, описувана тією чи іншою статистичною моделлю, $h(l)$ – невідома імпульсна характеристика наскрізного дискретного каналу системи передачі,

L – пам'ять каналу, $v(l)$ – необмежена послідовність статистично незалежних, довільно «забарвлених» відліків шуму.

У скалярних каналах, тобто каналах з одним входом і одним виходом, алгоритми сліпої ідентифікації зазвичай вимагають певної статистичної вибірки інформаційних блоків на виході каналу для побудови оцінки. Імпульсний відгук наскрізного каналу можна розглядати як детерміновану або випадкову функцію. Якщо канал стаціонарний, то вихідна послідовність є стаціонарною в

дискретному часі. Для лінійних, сталих у часі, детермінованих каналів, коли частота дискретизації перевищує частоту передачі символів (зазвичай в ціле число m разів), дискретизований сигнал є циклічно стаціонарним і може бути еквівалентно виражений у вигляді вектору стаціонарних послідовностей, що є основою моделі з одним входом і декількома виходами, і виглядає наступним чином: m серій вхідних відліків формуються під час приймання вхідних символів.

Тоді дискретно-часова модель системи передачі може бути подана у вигляді:

$$\mathbf{y}(l) = \sum_{n=0}^{L-1} \mathbf{h}(n)x(n-l) + \mathbf{v}(l)$$

де $\mathbf{y}(l)$ і $\mathbf{h}(n)$ m -мірні вектори сигналу в приймачі та імпульсної характеристики.

Модель, що використовується в задачах сліпого розділення джерел (*Blind Source Separation* або *BSS*)

$$\mathbf{y}(l) = \mathbf{H} \cdot \mathbf{x}(l) + \mathbf{v}(l).$$

У загальному випадку для стаціонарного гауссовського входу ідентифікація неможлива. Зазвичай, для отримання сліпої оцінки в скалярному каналі потрібна інформаційна послідовність, довжина якої на два порядки перевищує довжину каналу. При цьому якість оцінки наближається до оцінки за тестовим сигналом. Тому виникає необхідність удосконалення методів оцінки.

Завдання підвищення достовірності прийняття рішень по надійності декодування символів (біт) в турбокодах може бути вирішена шляхом одночасного виконання ідентифікації та оцінювання каналу. Цільова функція задачі сформулюється у такій спосіб

$$\mathbf{x} = \arg \min_{\mathbf{A}} \max(\mathcal{Q}(\mathbf{A}\mathbf{y})),$$

де: \mathbf{A} – $n \times m$ матриця, \mathcal{Q} – функціонал, що має сенс критерія незалежності компонент.

$$\mathcal{Q} = \sum_k \sum_{i=1}^n \log \left(f_i \left(\mathbf{a}_i^T \mathbf{y}_k \right) \right) + N \ln |\det \mathbf{A}|,$$

де: $f(\bullet)$ – апіорно відома щільність ймовірності компонент вектору $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_n)$; $\{\mathbf{y}_k\}$, $k = 1, \dots, n$ – вибірка, що спостерігається; $\mathbf{A} = (a_1, \dots, a_n)^T$; $n = m$.

Таким чином, сформульовано та класифіковано проблему синтезу алгоритмів сліпого оцінювання каналів. Запропоновано підхід з використанням сліпої ідентифікації на основі поліспектральної статистики, який дозволяє об'єднувати в одному алгоритмі різні методи сліпої ідентифікації для скалярних каналів зі стаціонарними і нестаціонарними входами та різними розподілами ймовірностей вхідних символів при адаптивному турбокодуванні. На відміну від поліспектральних підходів, у цьому випадку можна зменшити невизначеність у виборі набору кумулятивних функцій у процедурі синтезу алгоритму і суттєво підвищити ефективність оцінювання.

Використання статистик другого порядку для сліпої ідентифікації векторних каналів, як правило, застосовується до нестаціонарних моделей вхідних сигналів, а в окремих випадках – до періодичних кореляційних (циклостаціонарних) сигналів, якими є турбокодові послідовності.

За допомогою поліноміальної статистики вирішення задачі ідентифікації наосліп зводиться до розв'язання системи поліноміальних рівнянь, яка залежить від багатьох змінних. Це є узагальненням підходу, заснованого на використанні поліспектрів (методів статистики вищих порядків), відомих з теорії зв'язку. Отримані результати також можуть бути узагальнені на випадок векторних каналів.

У роботі моделі векторних каналів використовуються для опису (просторово або часово) рознесеного прийому. Сліпа ідентифікація здійснюється за однією реалізацією (турбокодовою послідовністю), як і у варіанті з тестовими сигналами. Відношення довжини каналу до інформаційної послідовності становить приблизно один порядок, що дозволяє використовувати цей спосіб в каналах зі швидкими завмираннями. Умови ідентифікації векторних каналів формулюються в рамках детермінованої моделі.

У запропонованому способі можливість статистичної сліпої ідентифікації каналу за моментними функціями випадкових процесів другого порядку на виході каналу забезпечується за рахунок надання нестационарних властивостей стаціонарним інформаційним сигналам. Це дозволяє додатково полегшити сліпу ідентифікацію характеристик каналу в загальному випадку. При цьому модель періодичних корельованих процесів на вході стає окремим випадком загальної нестационарної моделі просторово-часового каналу.

Висновок. Запропонований спосіб дозволяє об'єднувати в одному алгоритмі різні методи сліпої ідентифікації для скалярних каналів зі стаціонарними і нестационарними входами та різними розподілами ймовірностей вхідних символів при адаптивному турбокодуванні.

При застосуванні сліпої ідентифікації, при побудові систем адаптивного кодування, оцінка імпульсного відгуку може бути надалі використана для оцінки інформаційної послідовності, тобто першого етапу сліпого вирівнювання, з метою підвищення достовірності рішень при адаптивному декодуванні турбокодів.

Список літератури

1. Lubin G. 2. Cardoso J.-F. Blind signal separation: Statistical principles // Proc. of the IEEE. 1998. V. 86, N 10. P. 2009–2025.
 2. Comon P. Independent Component Analysis – a new concept? // Signal Processing. 1994, Vol. 36, N 3. P. 287–314.
 3. Tong L., Perreau S. Multichannel blind identification: From subspace to maximum likelihood methods // Proc. of the IEEE. 1998. Vol. 86, N 10. Publisher: IEEE. P. 1951–1968. –1988.
 4. Hyvarinen A., Karhunen J., Oja E. (2001) Independent Component Analysis, John Wiley & Sons.
 5. Xu G., Liu H., Tong L., Kailath T. A least-squares approach to blind channel identification. – IEEE Trans. Signal Processing. - 1995. – Vol. SP-43, - N 12. – P. 2982-2993.
- Cichocki A., Amari S. Adaptive blind signal and image processing. – John Wiley & Sons Ltd. - 2002.