

МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ МАТРИЦІ КАНАЛУ СИСТЕМ БЕЗПРОВОДОВОГО РАДІОДОСТУПУ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕХНОЛОГІЇ МІМО

Коляденко О.В.

ТОВ Вельютек,

м. Київ, Україна

E-mail: kolyadenko.kks@gmail.com

Abstract

To estimate the channel matrix of wireless radio access systems using MIMO technology, an optimal Kalman-Bucy procedure in both Gaussian and linear approximations is proposed. Research has shown that estimating the channel matrix using the Kalman-Bucy procedure will improve measurement accuracy by an order of magnitude.

Вступ

Для досягнення високих швидкостей передачі даних у сучасних стаціонарних та рухомих системах зв'язку використовують багатоантенну техніку. У системах із кількома просторовими каналами як у передавачі, так і в приймачі використовуються кілька антен. Їх називають системами з багатьма входами та багатьма виходами (MIMO – Multiple Input Multiple Output). Вважається, що за використання MIMO системи можна отримати швидкості передачі інформації, близькі до граничних, якщо параметри каналу відомі в передавачі.

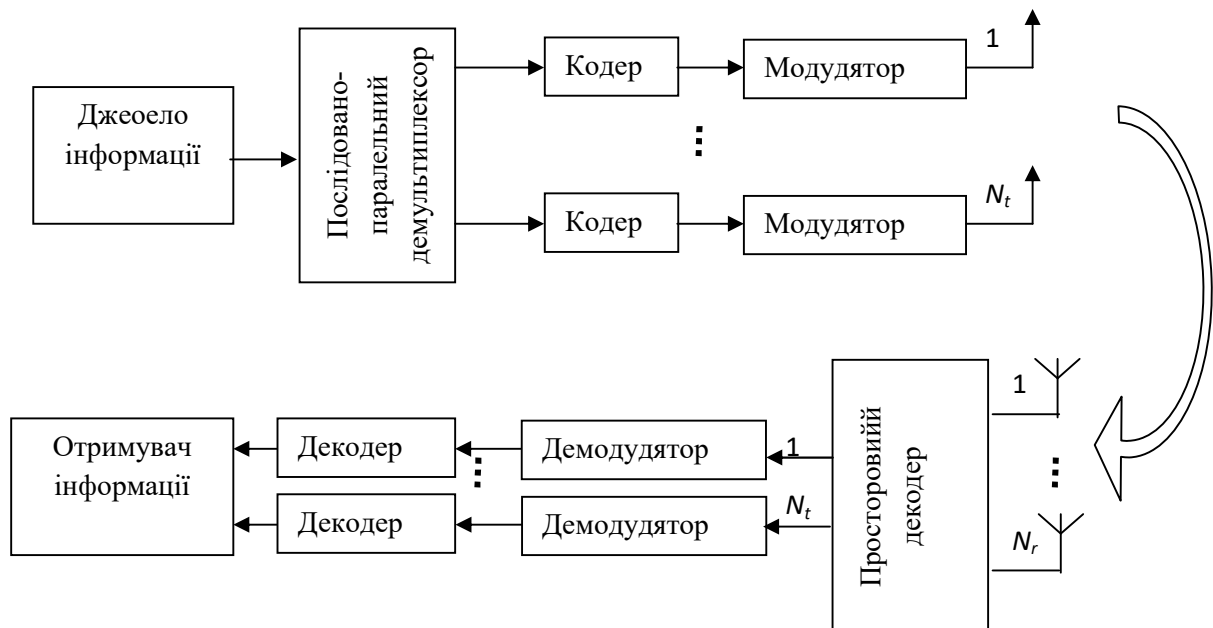


Рис.1 Структурна схема MIMO-системи зв'язку

У MIMO системі з N_t передавальними та N_r приймальними антенами при $N_t \leq N_r$ вхідний потік даних d ділиться на N_t підпотоків (рис.1). Послідовно-паралельний демультиплексор виконує цей розподіл.

Кожен підпотік після кодування та модуляції випромінюється окремою антеною. Всі N_t підпотоків випромінюються одночасно в одній і тій самій смузі частот. Для всіх підпотоків можуть використовуватись ідентичні кодера та модулятори.

Випромінені N_t потоки створюють сигнали в кожній з N_r приймальних антен. Тобто сигнал у кожній приймальній антені — це суміш N_t випромінюваних сигналів, помножених на комплексні передавальні функції (феддінги) від відповідних передавальних антен до аналізованої приймальної антени. Інакше висловлюючись, вектор прийнятих сигналів r представляє добуток матриці каналу H на вектор випромінюваних сигналів d : $r(t) = Hd(t)$.

На практиці матриця каналу H вимірюється у процесі передачі, і неминучі похибки вимірювання істотно впливають на характеристики МІМО-системи зв'язку [1].

Використовувати в приймачі при обробці сигналу матрицю каналу H можна подати у вигляді:

$$H = H_0 + \Delta H$$

де H_0 - точне значення матриці каналу, невідоме в приймачі; ΔH - похибка оцінки матриці. Дослідження показали [2], що зі збільшенням похибки вимірювання матриці каналу ΔH ймовірність помилки зростає, що веде до зниження швидкості передачі інформації. У більшості випадків похибки виміру виникають за рахунок завад у каналах. Тому, у разі виникає актуальна наукова задача виділення цього сигналу із суміші його з шумом.

Основна частина

Аналіз літератури за статистичними моделями матриці каналу в системі радіодоступу МІМО показав [1,2], що процеси в радіоканалі МІМО є марківсько-гауссівськими випадковими процесами.

Для оцінки випадкових процесів Калманом і Бьюсі розроблено досить ефективну оптимальну в гауссівському та лінійному наближенні процедуру, яка отримала назву «фільтра Калмана-Бьюсі». В основі цієї процедури лежить математична модель у вигляді рівняння стану. Для дискретного уявлення рівняння стану має вигляд:

$$h_0(k+1) = F(k+1, k)h(k) + G(k+1, k)\xi(k), \quad (1)$$

де $h_0(k)$ - елемент матриці каналу на k -му кроці; $\xi(k)$ - породжувальний білий гауссів шум з нульовим середнім; $F(k+1, k) = \exp\{-\alpha\Delta t_k\}$ - коефіцієнт стану, $\alpha = 1/\tau_{kop}$, τ_{kop} - інтервал кореляції, $\Delta t_k = k - (k-1)$ - крок, $G(k+1, k) = \sqrt{\sigma^2 \exp\{-\alpha\Delta t_k\}(1 - \exp\{-\alpha\Delta t_k\})}$ - коефіцієнт збудження; σ^2 - дисперсія процесу h_0 .

Алгоритм (1) зазвичай доповнюється рівнянням спостереження. Модель спостереження задається лінійним алгебраїчним співвідношенням:

$$h(k) = h_0(k) + \Delta h(k), \quad (2)$$

де $\Delta h(k)$ - похибки оцінки матриці ΔH (шум спостереження є білим гауссівським шумом з нульовим середнім).

Сама ж процедура оцінки $\hat{h}_0(k)$ має такий вигляд:

$$\hat{h}_0(k) = F(k, k-1)\hat{h}_0(k-1) + K(k)[h(k) - F(k, k-1)\hat{h}_0(k-1)], \quad (3)$$

де $K(k)$ - коефіцієнт, що забезпечує стійкість і оптимальну швидкість збіжності алгоритму до стану, що встановився.

Цей коефіцієнт у фільтрі Калмана-Бьюсі підлягає рекурсивному обчисленню на кожному кроці згідно алгоритму:

$$K(k+1) = P(k)N_{\Delta h}^{-1}(k), \quad (4)$$

де $N_{\Delta h}(k)$ - спектральна густина потужності шуму спостереження;

$P(k)$ - апостеріорна дисперсія помилки оцінки, що підлягає рекурсивному обчисленню на кожному кроці відповідно до алгоритму:

$$P(k+1) = F(k+1)V(k)F^T(k+1) + G(k)N_{\xi}(k)G^T(k), \quad (5)$$

де $N_{\xi}(k)$ - спектральна густина потужності породжувального шуму;

$V(k)$ - апіорна дисперсія помилки оцінки.

Рівняння для апіорної дисперсії має вигляд:

$$V(k+1) = [I - K(k)]P(k+1), \quad (6)$$

Як критерій ефективності використовується значення $\hat{h}_0 - h_0$ для отримання вибіркової оцінки апостеріорної дисперсії:

$$P = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (h_0(k) - \hat{h}_0(k))^2, \quad (7)$$

де n - об'єм вибірки.

На рис. 2 представлена структурна схема алгоритма оцінки (3).

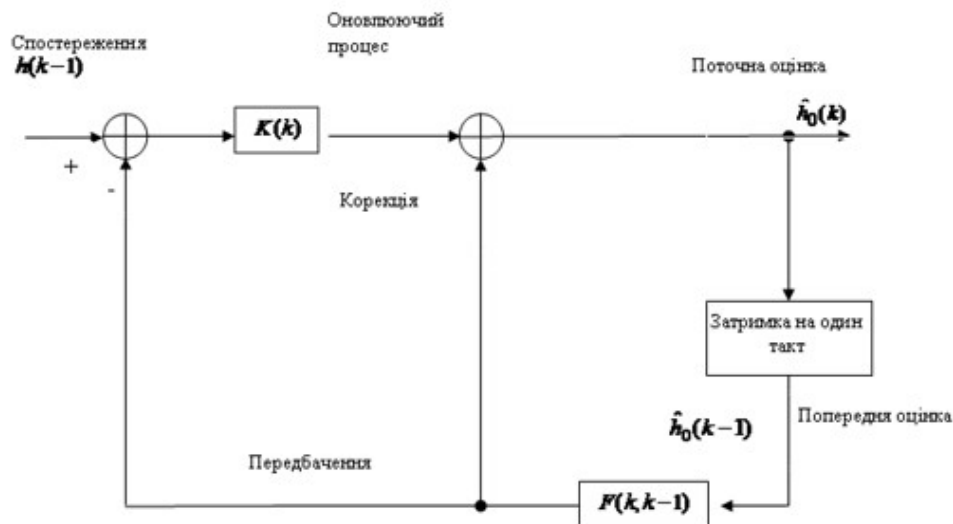


Рис. 2. Структурна схема дискретного алгоритма оцінки
фільтра Калмана-Бьюси

За допомогою математичного моделювання проведено аналіз ефективності процедури оцінки (3).

Моделювання виконано в припущенні, що всі канали між N_t передавальними і N_r приймальними антенами є незалежними релеєвськими каналами. Тобто комплексний коефіцієнт передачі з будь-якої передавальної антени в будь-яку приймальну - це комплексна випадкова величина. Середні значення дійсної і уявної частин її дорівнюють нулю, а їх дисперсії дорівнюють 1/2. Сумарна дисперсія дійсної і уявної частин при цьому дорівнює 1. Всі випадкові величини змінюються в часі і являють собою марковсько-гаусівський процес $h_0(t)$. Похибки матриці ΔH являють собою білий гаусівський шум з дисперсією, яка змінювалася від 0,025 до 1. На рис. 3 наведено залежності апостеріорної дисперсії помилки оцінки від значення похибки матриці ΔH . Крива 1 відповідає вибірковій апостеріорній дисперсії помилки оцінки отриманої відповідно до (7). Крива 2 відповідає апостеріорній дисперсії помилки оцінки отриманої відповідно до (5) у встановленому режимі.

З наведених залежностей видно, що при значенні $\Delta H = 0,1$ теоретично помилка знижується до 0,02 (тобто на порядок), вибіркова помилка становить 0,09. При $\Delta H = 0,5$, що відповідає

тотожності дисперсій помилки і самої дисперсії матриці каналу, теоретично помилка знижується до 0,08, вибіркова ж помилка становить 0,16. При $\Delta H = 1$ теоретично помилка знижується до 0,16, вибіркова ж помилка становить 0,215. Проведені дослідження показали, що запропонована процедура оцінки матриці каналу за допомогою процедури Калмана-Бьюсі дозволить значно підвищити точність вимірів.

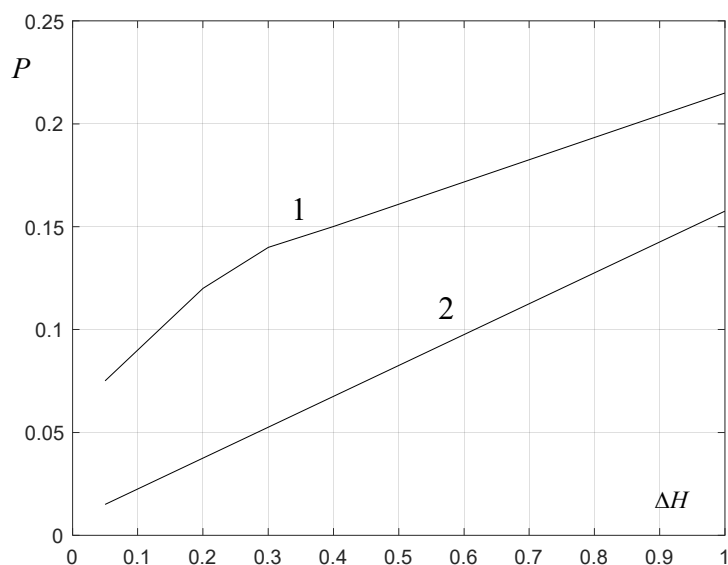


Рис. 3 Залежності апостеріорної дисперсії помилки оцінки P від похибки матриці ΔH

Висновки

Для оцінки матриці каналу систем безпроводового радіодоступу з використанням технології МІМО запропоновано оптимальну в гауссівському та лінійному наближеннях процедуру Калмана-Бьюсі. Проведені дослідження показали, що процедура оцінки матриці каналу за допомогою процедури Калмана-Бьюсі дозволить значно підвищити точність вимірювань.

Література

1. Коляденко Ю.Ю., Ахмед Джаміль Муслим Анализ эффективности использования МІМО технологии в WІMAX системах в условиях помех // Радиотехника. Всеукр. межвед. научн.-техн. сб. 2009. Вып. 159. С.110-116.
2. Коляденко Ю.Ю., Коляденко А.В. Математическая модель радиоканала для МІМО-систем [Електронний ресурс] // Проблеми телекомунікацій. 2012. No.2 (7). С. 91–109. Режим доступу: http://pt.journal.kh.ua/2012/2/1/122_kolyadenko_mimo.pdf.