

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ АДАПТИВНОГО
ОЦІНЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РАДІОКАНАЛІВ ЗВ'ЯЗКУ

Штілька О.О., Жук С.Я.

Проведено порівняльний аналіз пристроїв оцінювання параметрів радіоканалів зв'язку на базі градієнтного методу та калмановської фільтрації за точносними характеристиками та обчислювальними витратами.

Вступ. Постановка задачі

Більшість реальних каналів зв'язку (КЗ), в тому числі і радіоканали, володіють деякою пам'яттю [1]. Прикладом таких каналів може бути радіоканал з багатопроменевим розповсюдженням сигналу. Кожна із можливих траєкторій розповсюдження сигналу може розглядатися як самостійний канал зі своїм часом затримки і коефіцієнтом передачі по амплітуді. Результуючий сигнал в точці прийому утворюється як сума сигналів, які розповсюджуються по всім можливим променям розповсюдження.

В ряді систем зв'язку, характеристики каналу не відомі в повному обсязі і змінюються з часом. При цьому для більш достовірного прийому інформації актуальною є задача проектування пристроїв, які б визначали характеристики КЗ, відслідковували зміну цих характеристик і змінювали б відповідно свої характеристики, тобто були адаптивними. Широке розповсюдження при синтезі адаптивних оцінювачів параметрів КЗ отримав підхід навчання з вчителем [2], при якому передається відома навчачою послідовність.

Теоретичне обґрунтування

На рис. 1 наведена структурна схема КЗ у вигляді трансверсального фільтру, який дозволяє моделювати багатопроменеве розповсюдження. Крім того, на рис.1 показано пристрій оцінювання параметрів каналу і процес формування похибки $e(k)$ між сигналом на виході КЗ $y(k)$ і його оцінкою $\hat{y}(k)$.

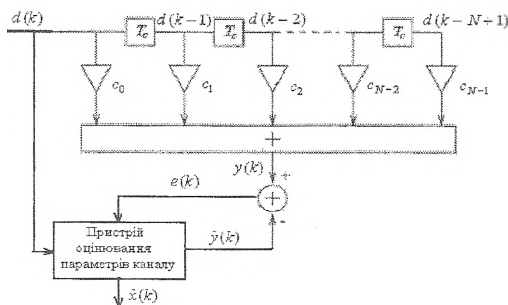


Рис. 1

Для визначення оцінки параметрів каналу зв'язку $\hat{x}(k) = \{\hat{c}_0(k), \hat{c}_1(k), \dots, \hat{c}_{N-1}(k)\}$, найбільш широко застосовуються підходи на базі градієнтного методу пошуку екстремуму та калмановської фільтрації. Помилка $e(k)$ на виході пристрою оцінювання параметрів каналу:

$$e(k) = y(k) - \hat{y}(k) = y(k) - H(k)\hat{x}(k), \tag{1}$$

де $H(k) = \{d(k), d(k-1), \dots, d(k-N+1)\}$ - вектор вибірок навчаючої послідовності

Критерієм якості оцінювання виступає мінімум середнього квадрату помилки $J = E[e^2(k)]$. В градієнтному методі [3] пошук оцінки $\hat{x}(k)$, яка забезпечує мінімум J , проводиться шляхом обчислення його градієнту $\nabla(k-1)$ за формулою [1]:

$$\hat{x}(k) = \hat{x}(k-1) + \mu(-\nabla(k-1)), \quad (2)$$

де μ - визначає швидкість і стійкість процесу адаптації.

На практиці, отримати аналітичні вирази J неможливо. Тому розроблена значна кількість різновидів алгоритмів на базі градієнтного методу, які відрізняються способами пошуку оцінки градієнта ∇ . За методом найменших квадратів оцінкою J виступає квадрат похибки $e^2(k)$. Відповідно:

$$\hat{\nabla}(k) = \left[\frac{\partial e^2(k)}{\partial w_0} \quad \dots \quad \frac{\partial e^2(k)}{\partial w_{N-1}} \right]^T = -2e(k)H(k). \quad (3)$$

З урахуванням (3) алгоритм оцінювання коефіцієнтів (2) приймає вид:

$$\hat{x}(k) = \hat{x}(k-1) + 2\mu e(k)H(k) \quad (4)$$

Недоліком розглянутого підходу є евристичний характер визначення оцінок критерію якості і, відповідно, градієнта. Цей недолік відсутній в алгоритмі оцінювання параметрів КЗ $\hat{x}(k)$ на основі методу калмановської фільтрації, який є оптимальним за критерієм мінімуму середнього квадрату помилки. Математичну модель процесу вимірювання навчаючої послідовності на виході КЗ з невідомими параметрами та адитивним гаусівським шумом можна представити у вигляді:

$$x(k) = x(k-1); \quad (5)$$

$$y(k) = H(k)x(k) + v(k), \quad (6)$$

де $x(k) = \{c_0, \dots, c_{N-1}\}^T$ - вектор стану (характеризує КЗ); $v(k)$ - вектор некорельованої гаусівської послідовності з нульовим математичним очікуванням і кореляційною матрицею R (характеризує адитивні помилки).

На відміну від звичайної постановки задачі фільтрації [4], рівняння (5) описує вироджену послідовність $x(k)$, бо невідомі параметри КЗ на інтервалі навчання не змінюються, що зазвичай виконується на практиці. Оптимальний алгоритм оцінювання вагових коефіцієнтів $x(k)$ (5), при наявності спостережень $y(k)$ (6) можна представити як:

$$\hat{x}(k) = \hat{x}(k-1) + K(k) \cdot (y(k) - H(k) \cdot \hat{x}(k-1)), \quad (7)$$

де $K(k)$ - коефіцієнт підсилення фільтру, який обчислюється з рівнянь

$$K(k) = P(k-1)H^T(k)(H(k)P(k-1)H^T(k) + R)^{-1}; \quad (8)$$

$$P(k) = P(k-1) - K(k)H(k)P(k-1), \quad (9)$$

де $P(k)$ - кореляційна матриця похибок оцінки коефіцієнтів $\hat{x}(k)$.

Оцінки вектора стану вираховуються рекурентно, по мірі надходження нових даних. При цьому, як видно з (7), для розрахунку $\hat{x}(k)$ немає необхідності запам'ятовувати всі попередні значення вимірів $\{y(k-1), y(k-2), \dots, y(k-N)\}$, так як вся інформація про них міститься в оцінці $\hat{x}(k-1)$, отриманій на попередньому кроці.

Результати експериментальних досліджень

Аналіз алгоритмів (4) і (7)...(9) було проведено на модельному прикладі. Для випадку коли канал зв'язу описується лінійним фільтром з кінцевою імпульсною характеристикою третього порядку з коефіцієнтами $x = \{0, 0.5, 1\}$. Тестова послідовність формувалась на основі моделі $d(k) = \rho d(k-1) + \omega(k)$. При цьому дисперсія Q_ω шуму $\omega(k)$ визначалась як $Q_\omega = \sigma^2(1 - \rho^2)$. Параметри моделі тестової послідовності $\rho = 0.9$, $\sigma = 1$, дисперсія помилок вимірювання $R = 0.01$.

На рис. 2 штриховою лінією показано фактичне СКВ $\hat{\sigma}_e$ помилки e отриманої методом Монте-Карло для алгоритму (4), а суцільною лінією для алгоритму (7)...(9). Як видно, час перехідного процесу для алгоритму (7)...(9) менший ніж у алгоритму (4). На сороковому такті, коли перехідний процес для алгоритму (7)...(9) закінчився, СКВ $\hat{\sigma}_e$ помилки менше ніж у алгоритму(4) в 5 разів. Тобто, алгоритм (7)...(9) забезпечує менший час перехідного процесу і більшу точність оцінювання параметрів каналу x .

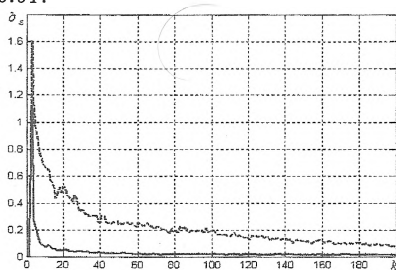


Рис.2

Порівняємо характеристики розглянутих методів по необхідному об'єму розрахунків і пам'яті при реалізації

Таблиця 1

їх на мікропроцесорах, працюючих в реальному масштабі часу. В цьому випадку одною із найважливіших характеристик алгоритму являється час затрачений на розрахунок однієї ітерації алгоритму. Але час витрачений на розрахунок пропорційний швидкодії мікропроцесора, тому порівняння проведемо по потрібній кількості операцій множення та додавання для реалізації цих методів. Для порівняння використаємо канал, функція передачі якого описується трансверсальним фільтром N порядку. Спочатку розглянемо метод найменших квадратів. Для розрахунку коефіцієнтів фільтру для корекції за допомогою методу найменших квадратів

Змінна	Розмір	Кільк. комірок
$\hat{W}(k)$	$N \times 1$	N
$K(k)$	$N \times 1$	N
$H(k)$	$1 \times N$	N
R	1	1
$x(k)$	1	1
$P(k)$	$N \times N$	N^2

потрібно виконати $2N + 1$ операції множення та $2N$ операцій додавання. Комірок пам'яті потрібно $2N + 2$. Витрати для фільтра Калмана щодо комірок пам'яті наведено у табл.1. Для розрахунків параметрів каналу за допомогою фільтра Калмана потрібно $N^2 + 3N + 2$ комірок пам'яті. Кількість операцій множення та додавання для одного кроку калмановської фільтрації наведено в табл.2. При цьому потрібно буде виконувати одну операцію ділення.

Таблиця 2

Операція	Операцій множення	Операцій додавання
$K(k) = P(k-1)H^T(k)/(H(k)P(k-1)H^T(k) + R)$	$N^2 + 2N$	N^2
$P(k-1) - K(k) \cdot H(k) \cdot P(k-1)$	$2N^2$	$2N^2 - N$
$W(k-1) + K(k)(y(k) - H(k)W(k-1))$	$2N$	$2N$
Всього	$3N^2 + 4N$	$3N^2 + N$

Слід зауважити, що при використанні відомої навчаючої послідовності, коефіцієнт підсилення фільтра $K(k)$ не залежить від спостереження $y(k)$ і може бути розрахований і занесений у пам'ять. Це значно зменшує обчислювальні витрати до $2N$ операцій множення та $2N$ операцій додавання.

Висновки

Алгоритм оцінювання параметрів КЗ на основі калмановської фільтрації забезпечує в 7 разів менший час перехідного процесу і в 4...6 разів більшу точність оцінювання параметрів каналу в перехідному режимі ніж алгоритм оцінювання на основі градієнтного методу. В загальному випадку це потребує більших обчислювальних витрат. Але при використанні відомої навчаючої послідовності, обчислювальні витрати зменшуються і не перевищують витрати для реалізації алгоритму (4).

Література

1. Прохис Джон Цифровая связь. – М.: Радио и связь. 2000. – 800с
2. Стратонович Р.Л. Принципы адаптивного приема. М.: Сов. радио, 1973. 143 с.
3. Уидроу Б., Стирнз С. Адаптивная обработка сигналов. М.: Радио и связь, 1989. 440 с.
4. Тихонов В.И., Харисов В.Н. Статистический анализ радиотехнических устройств и систем. – М.: Радио и связь, 1991. 608с.

Ключові слова: фільтр Калмана, градієнтний метод, навчаюча послідовність	
Шпилька А.А., Жук С.Я.	Shpilka A.A., Zuk S.Ja.
Сравнительный анализ алгоритмов адаптивной оценки параметров радио-каналов связи	The comparative analysis algorithms of the adaptive estimate radio channels connect parameters.
Проведен сравнительный анализ устройств оценивания параметров радиоканалов связи на базе градиентного метода и калмановской фильтрации по точности и по вычислительным затратам.	The comparative analysis of the estimation devices for radio communications channels is conducted on the basis of the gradient method and Calman filtration using the precision and calculate characteristics