

## **АДАПТИВНА ПРОЦЕДУРА ПІДВИЩЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ ПРИЙОМУ**

В.В. Косенко<sup>1</sup>, М.Ф. Сидоренко<sup>2</sup>, І.А. Лебедева<sup>1</sup>  
(<sup>1</sup>Харківський університет Повітряних Сил, <sup>2</sup>НТ СКБ „ПОЛІСВІТ”, Харків)

*Пропонується адаптивна процедура обчислення лінійних вирішальних функцій, яка сприяє підвищенню завадостійкості прийому у мережах передачі даних.*

***адаптивна процедура, лінійна вирішальна функція, завадостійкість прийому, мережа передачі даних***

**Вступ.** Розмір зони невизначеності прийняття рішення першої вирішальної схеми (ВС) впливає на завадостійкість прийому [1], тому що рівень порога стираючого каналу і розмір зони стирання однозначно зв'язані з ймовірностями трансформації і помилкового стирання. Метод підвищення завадостійкості прийому в умовах невизначеності, запропонований Чейзом [1], пропонує упорядкування прийнятих символів за їхньою надійністю і вибір з них до 10 найменш надійних символів для спеціальної обробки. Така процедура названа "чейзінгом" і застосовується, в основному, для декодування у каналах зв'язку (КЗ) з досить слабким рівнем шумів. Чейзінг є загальним методом, за допомогою якого характеристики майже будь-якого алгоритму декодування блокових кодів можна поліпшити за рахунок додаткових витрат часу на обчислення. Однак даний метод прийняття нежорстких рішень не вирішує проблему вибору і регулювання рівня порога в процесі прийому інформації в реальних КЗ мереж передачі даних (МПД), на які впливають потужні слабо корельовані перешкоди внаслідок появи надмірно великої кількості стертих символів, або заміни заборонених комбінацій дозволеними в процесі чейзінгу. При цьому помилки кінцевого результату декодування обумовлені неоптимальністю вибору порога першої ВС.

Деякі методи вибору рівня порога ВС розглянуті в [2] і зводяться до рішення задачі оптимізації системи, зокрема методи оптимізації рівня порога за критеріями Неймана-Пірсона, а також за мінімумом і максимумом [3]. Однак, практичне застосування даних методів у реальних КЗ МПД не дозволяє досягти потрібного теоретично розрахованого позитивного ефекту, а вплив у КЗ нестаціонарних перешкод затрудняє регулювання рівня порога в процесі прийому. Таким чином, методи підвищення завадостійкості прийому, засновані на використанні сигналу стирання, вимагають рішення задачі оптимізації рівня порога першої ВС, тобто мінімізації ймовірностей трансформації і помилкового стирання

при будь-яких змінах характеристик КС [4 – 5]. Математичне формулювання проблеми зводиться до рішення задачі автоматичної класифікації: необхідно віднести вектор  $x$  до одного із  $s$  класів множини  $\{w_i\}$ , причому компоненти вектора  $x$  є "зведенням" про спостережуваний об'єкт. Найпростіше нетривіальне математичне формулювання цієї задачі виникає у випадку, коли  $s = 2$  (через дискретність сигналу, що приймає значення "0", або "1") і лінійна вирішальна функція

$$f(x) = w^T \cdot x + \text{const}, \quad (1)$$

відносить вектор  $x$  до класу  $w_1$  при  $f(x) > 0$  і до класу  $w_2$  при  $f(x) < 0$  із припустимо малим числом неправильних класифікацій. При цьому процедура обчислення лінійних ВР повинна бути адаптивною (тобто реагувати на будь-які зміни заводової обстановки в КЗ), швидко сходиться до локального мінімуму помилки і виконуватися без апріорного припущення щодо виду статистичного розподілу векторів  $x$  у кожному класі  $w_i$  [6, 7]. Розробка такої адаптивної процедури і є **метою даної статі**.

**Основна частина.** Нехай  $x$  є  $d$ -мірний вектор ознак  $x = (x_1, \dots, x_d)$ , де  $-\infty < x_i < \infty$ ;  $y$  – додатковий вектор ознак  $y = (x_0, x_1, \dots, x_d)^T$ ;  $X(n)$  і  $Y(n)$  – векторні випадкові змінні, що є функціями номера кроку  $n$  і засновані навчальною послідовністю у відповідних просторах  $x$  і  $y$ ;  $w(n) \in$  клас, до якого належить  $Y(n)$ ;  $w = \{w_i\}$  – алфавіт класів (у нашому випадку  $w = \{w_1, w_2\}$ );  $V(n)$  – векторна випадкова змінна, що задана рекурсивно таким чином:

$$V(n+1) = V(n) + \rho_n \cdot Q(n), \quad (2)$$

де  $\rho_n$  – величина  $n$ -го кроку, а

$$Q(n) = \begin{cases} Y(n), & \text{якщо } w(n) = w_2; \\ -Y(n), & \text{якщо } w(n) = w_1; \\ 0, & \text{в інших випадках.} \end{cases} \quad (3)$$

Вираз (2) є різновидом методу градієнтного спуску [7], при якому шукається мінімум функції втрат  $J(v)$ , тобто процедура знаходження такого мінімуму зводиться до визначення рекурсивної функції  $V(n)$ , яка сходиться (стохастично) до нуля градієнта функції втрат  $J(v)$ . Така рекурсивна функція може бути отримана методами стохастичної апроксимації:

$$J(v) = E(-v^T Q | V = v). \quad (4)$$

Одержимо для (4) інший вираз, що призводить безпосередньо до адаптивної процедури: нехай  $f_i(x) = P(w_i) p(x|w_i)$ , де  $P(w_i)$  – апріорна імовірність того, що  $w = w_i$  і  $p(x|w_i)$  – умовна щільність розподілу  $X = x$  при  $w = w_i$ . Нехай  $\mathcal{D}_i$  є область рішення, що відповідає класові  $w_i$ , тоді (4) можна записати у вигляді

$$J(v) = |w| \cdot [M_1(v) + M_2(v)], \quad (5)$$

де  $|w|$  - довжина вектора  $w$ ;

$$M_1(v) = P(w = w_1, y \in \mathcal{G}_2) E \left( \frac{v^T y}{w} \middle| V = v, w = w_1, y \in \mathcal{G}_2 \right); \quad (6)$$

$$M_2(v) = P(w = w_2, y \in \mathcal{G}_1) E \left( \frac{-v^T y}{w} \middle| V = v, w = w_2, \lambda \in \mathcal{G}_1 \right). \quad (7)$$

Візьмемо до уваги те, що  $v^T y / |w|$  – відстань між  $x$  і границею області  $\mathcal{G}_2$ , що є гіперплощиною. Це відстань позитивна при  $x \in \mathcal{G}_2$ . Аналогічно, величина  $-v^T y / |w|$  є відстанню між  $x$  і границею області  $\mathcal{G}_1$ , що є гіперплощиною. Це відстань позитивна при  $x \in \mathcal{G}_1$ . Для випадку двох класів обидві границі збігаються. Таким чином,  $M_1(v)$  є перший момент помилки функції  $f_1(x)$ .

Незважаючи на те, що дана процедура асимптотично точна для лінійно розділних умовних за класом щільностей  $\{p(x|w_i)\}$ , її асимптотика може значно відрізнятись від мінімуму імовірності помилки у випадку щільностей, що перекриваються. З іншого боку, мінімум суми  $M_1(v) + M_2(v)$  має місце при деякому значенні  $v$  ( $v_e$ ), яке часто є дуже близьким [6] до того, яке забезпечує мінімальну імовірність помилки значенню  $v = v_p$ . Дійсно, коли  $f_1(x)$  і  $f_2(x)$  симетричні відносно один одного і, отже,

$$f_2(x) = f_1(b - x), \quad (8)$$

де  $b$  – центроїд  $f_1(x) + f_2(x)$ , то  $v_e$  і  $v_p$  збігаються.

Введення  $|w|$  у вираз для  $J(v)$  (5) як множника дає можливість зробити суттєвий розподіл точок мінімумів функцій  $J(v)$  і  $v(p)$ , навіть коли  $v_e$  і  $v_p$  збігаються. Використання (5) призводить також до зсуву  $W(n)$  вбік малих значень вектора  $w$  при  $n \rightarrow \infty$ , оскільки  $J(v) = 0$  при  $v = 0$ . У результаті напрямок вектора  $W(n)$  при  $n \rightarrow \infty$  часто стає недостатньо визначеним. Таким чином, асимптотичне поведіння даної процедури з пропорційним збільшенням може бути незадовільним у випадках, коли щільності, умовні за класом, перекриваються. Для подолання цього недоліку процедури використовується функція втрат у вигляді

$$J(v) = M_1(v) + M_2(v). \quad (9)$$

Припустимо, що безперервна диференцуема функція  $J(v)$  має єдиний мінімум, що досягається при значенні  $v^*$  і у неї відсутні локальні мінімуми. Основна процедура градієнтного спуску для такої функції  $J(v)$  є рекурсивним рівнянням

$$v_{n+1} = v_n - \rho_n \nabla J(v_n), \quad (10)$$

де  $\nabla J(v)$  = градієнт  $J(v)$ . (11)

Тоді для будь-якого досить малого  $\rho_n$  послідовність  $\{J(v^*)\}$  буде монотонно спадною, що сходиться при  $n \rightarrow \infty$  до  $J(v^*)$ . Для випадку «зашумлюваних» функцій, тобто функцій  $J(v)$ , що залежать від однієї або декількох випадкових перемінних необхідно застосування стохастичної апроксимації. Тоді стохастична збіжність  $\{V(n)\}$  до  $v^*$  залежить від вибору  $\rho_n$ , випадкової змінної  $Z(n)$  і реєстраційних функцій. Наприклад, якщо  $\rho_n$  зменшується занадто швидко при збільшенні  $n$ , то  $V(n)$  не сходиться до  $v^*$ .

Описана адаптивна процедура була застосована для систем зв'язку з метою оптимізації рівня порога перших ВС двійкових стираючих каналів шляхом вироблення на її основі керуючого впливу, пропорційного зміні вхідних параметрів демодульованого сигналу. При цьому мінімізуються імовірності трансформації і помилкового стирання символу при зміні заводої обстановки в КЗ, чим підвищується заводостійкість прийому в цілому.

**Висновок.** За описаним алгоритмом побудови адаптивної процедури в залежності від рівня перешкод у каналі зв'язку на виході пристрою виробляється сигнал, рівень якого пропорційний зміні перешкоди, що діє в даний момент часу в каналі зв'язку. Цей сигнал регулює ширину смуги "стирання" детектора якості. Для оптимізації рівня порога перших вирішальних схем слід застосовувати математичний метод градієнтного спуску, що призводить до цієї ж процедури з вирівняними помилками. Простота технічної реалізації даної процедури дозволяє застосовувати її в перших вирішальних схемах без їхнього значного ускладнення і збільшення часу прийняття рішення.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Берлекэмп Э.Р. Техника кодирования с исправлением ошибок. ТИИЭР. – 1980. – Т.68, № 5. – С. 24 – 58.
2. Обнаружение и исправление ошибок в дискретных устройствах. / Под. ред. В.С. Толстякова. – М.: Сов. радио, 1972. – 297 с.
3. Шувалов В.П. Косвенные методы обнаружения ошибок. – М.: Связь, 1972. – 362 с.
4. Кучук Г.А. Оцінка втрат у системах з обмеженим очікуванням // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ, 2004. – Вип. 4. – С. 133 – 137.
5. Rosenblatt F. The perceptron: a probabilistic model for information storage in the brain // IEEE Trans. El. Comp.. – 1958. – Vol. 65, № 6. – P. 386 – 408.
6. Кучук Г.А. Минимизация загрузки каналов связи вычислительной сети // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ, 1998. – Вип. 1(5). – С. 149-154.
7. Вассель Г.Н., Склански Дж. Адаптивный непараметрический классификатор // ТИИЭР. – 1976. – № 8. – С. 52 – 62.

Надішла 18.04.2005

**Рецензент:** доктор технічних наук, професор О.М. Фоменко,  
Харківський університет Повітряних Сил.