УДК 621.391.7

АДАПТИВНА ПРОЦЕДУРА ПІДВИЩЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ ПРИЙОМУ

В.В. Косенко[1], М.Ф. Сидоренко[2], І.А. Лебедєва[1]
([1]Харківський університет Повітряних Сил, [2]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 слабко 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 спостерігаємий 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

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

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 завадової обстановки в КЗ), швидко сходитися 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 $x = (x_1, ..., x_d)$, де $-\infty < x_i < \infty$; y – додатковий вектор ознак $y = (x_0, x_1, ..., x_d)^T$; X(n) і Y(n) – векторні випадкові змінні, що є функціями номера кроку n і засновані навчаючою послідовністю у відповідних просторах x и y; w(n) є 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:

$$V(n+1) = V(n) + \rho_n \cdot Q(n)\,, \tag{2}$$

де ρ_n – величина n-го кроку, а

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

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:

$$J(v) = E(-v^{T} Q \mid V = v). \tag{4}$$

Одержимо для (4) інший вираз, що призводить безпосередньо до адаптивної процедурі: 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 ϑ_i є область рішення, що відповідає класові w_i, тоді (4) можна записати у вигляді

$$J(v) = |w| \cdot \left[M_1(v) + M_2(v)\right], \tag{5}$$

де |w| - довжина вектора w;

$$M_1(v) = P(w = w_1, y \in \vartheta_2)E\left(\frac{v^T y}{w}\middle|V = v, w = w_1, y \in \vartheta_2\right); \qquad (6)$$

$$M_2(v) = P(w = w_2, y \in \vartheta_1)E\left(\frac{-v^T y}{w}\middle|V = v, w = w_2, \lambda \in \vartheta_1\right). \qquad (7)$$

Візьмемо до уваги те, що $v^T y/|w|$ – відстань між x і границею області ϑ_2, що є гіперплощиною. Це відстань позитивна при $x \in \vartheta_2$. Аналогічно, величина $-v^T y/|w|$ є відстанню між x і границею області ϑ_1, що є гіперплощиною. Це відстань позитивна при $x \in \vartheta_1$. Для випадку двох класів обидві границі збігаються. Таким чином, $M_i(v)$ є перший момент помилки функції $f_i(x)$.

Незважаючи на те, що дана процедура асимптотично точна для лінійно роздільних умовних за класом щільностей $\{p(x|w_i)\}$, її асимптотика може значно відрізнятися 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,

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

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 $n \to \infty$, оскільки J(v) = 0 при v = 0. У результаті напрямок вектора W(n) при $n \to \infty$ часто стає недостатньо визначеним. Таким чином, асимптотичне поводження 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

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

Припустимо, що безперервна диференцуєма 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

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

де

$$\nabla J(v) = \text{градієнт } J(v). \qquad (11)$$

Тоді для будь-якого досить малого ρ_n послідовність $\{J(v^*)\}$ буде монотонно спадною, що сходиться при $n \to \infty$ 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 ρ_n, випадкової змінної Z(n) і реєстраційних функцій. Наприклад, якщо ρ_n зменшується занадто швидко при збільшенні n, те 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 завадової обстановки в КЗ, чим підвищується завадостійкість 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.*

Надійла 18.04.2005

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