

УДК 621.396.662

А. В. ТКАЧЕНКО, канд. техн. наук, *С. А. КРАСИКОВ*

СТАТИСТИЧЕСКАЯ СЛЕДЯЩАЯ СИСТЕМА РАСПОЗНАВАНИЯ ДВОИЧНЫХ СИГНАЛОВ

Анализ структур приемников различения двух видов сигналов в системах передачи информации (СПИ) показывает, что все широко применяемые методы основаны на использовании устройств сравнения, генераторов сигналов, интеграторов, пороговых, исполнительных, решающих и других устройств [1; 2]. Их применение не всегда отвечает требованиям достоверности приема, универсальности, адаптивности к изменениям параметров распознаваемых сигналов [1].

Использование современных вычислительных систем, способных реализовывать достаточно эффективные алгоритмы распознавания двоичных сигналов, на базе аналого-цифровых преобразователей (АЦП) и микропроцессоров, как правило, нецелесообразно из-за относительно высокой сложности программного обеспечения, отладки, диагностики и, как следствие, низкой надежности и высокой стоимости. Применяемые в них высокоразрешающие АЦП последовательного действия мало пригодны для обработки сигналов, поступающих с большой скоростью [3], которая входит в про-

тиворечие со сложными алгоритмами обработки, требующими значительных временных затрат.

Рассмотрим решение проблемы посредством создания статистической системы распознавания двоичных сигналов, которая реализует решение задачи описания классов [4], причем в данном случае оценка производится согласно критерию минимума полной вероятности ошибки $P_{\text{ош}}$ (критерию идеального наблюдателя) [1; 4]

$$P_{\text{ош}} = P(0)P(1/0) + P(1)P(0/1) \Rightarrow \min, \quad (1)$$

где $P(0)$ — априорная вероятность посылки 0; $P(1)$ априорная вероятность посылки 1; $P(1/0)$ — вероятность ложной тревоги, $P(0/1)$ вероятность пропуска единицы.

Два сигнала 0 и 1 имеют области распределения $S_0(t)$ и $S_1(t)$, где $0 \leq t \leq T$ (T — период сигнала), которые описываются функциями $F_0(t, u)$ и $F_1(t, u)$, u — параметр сигнала

$$S_0(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} F_0(t, u) du; \quad S_1(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} F_1(t, u) du.$$

Найдем непересекающиеся области $S'_0(t)$ и $S'_1(t)$; описываемые функцией

$$F(t, u) = F_1(t, u) - F_0(t, u), \quad (2)$$

соответственно

$$S'_0(t) = \int_{-\infty}^{u_n} F(t, u) du; \quad S'_1(t) = \int_{u_n}^{+\infty} F(t, u) du; \quad F_0(t, u_n) = F_1(t, u_n).$$

Из (2) видно, что $F(t, u)$ принимает отрицательные значения при $u < u_n$ (u_n — величина порога), зададим

$$F_{\text{отн}}(t, u) = F(t, u) + C,$$

где $C \geq -F(t, u)$ для любых t и u , $F_{\text{отн}}(t, u)$ описывает $S'_0(t)$ и $S'_1(t)$ в положительной области и при приеме двоичных сигналов может использоваться как весовой коэффициент для данных t и u .

С целью технической реализации $F_{\text{отн}}(t, u)$ разделим $[0, T]$ и $[u_1, u_{r+1}]$ на k и r равных участков

$$S_0(t_i) \approx \int_{u_1}^{u_{r+1}} F_0(t_i, u) du; \quad S_1(t_i) \approx \int_{u_1}^{u_{r+1}} F_1(t_i, u) du.$$

Тогда $F_{\text{отн}}(t, u)$ задается так:

$$x_{ij} = \int_{u_j}^{u_{j+1}} (F_1(t_i, u) - F_0(t_i, u)) du + C_x = \\ = S_1(t_i, u_j) - S_0(t_i, u_j) + C_x, \quad (3)$$

где $C_x \geq -S(t_i, u_j)$; $S(t_i, u_j) = S_1(t_i, u_j) - S_0(t_i, u_j)$.

Получим дискретный по времени и квантованный по уровню весовой коэффициент (3), на основе которого составляется матрица, задающая $F_{отн}(t, u)$:

$$A_n = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{21} & \dots & x_{k1} \\ x_{12} & x_{22} & \dots & x_{k2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{1r} & x_{2r} & \dots & x_{kr} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Накопление статистических данных в виде (4) производится согласно формуле

$$A_n = \sum_{e=1}^m a_e, a_e = \begin{bmatrix} \Delta x_{11} & \Delta x_{21} & \dots & \Delta x_{k1} \\ \Delta x_{12} & \Delta x_{22} & \dots & \Delta x_{k2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Delta x_{1r} & \Delta x_{2r} & \dots & \Delta x_{kr} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\Delta x_{ij} = \begin{cases} +1, & b_e = 1; \\ -1, & b_e = 0, \end{cases}$$

где m — количество b_e , необходимых для формирования A_n ; a_e — представление элементарного сигнала b_e (0 или 1) известной кодовой комбинации (например, синхронизирующей) по соответствующим координатам i и j (4), (5).

Полученная матрица (4) весовых коэффициентов x_{ij} (3) реализуется в специализированном оперативном запоминающем устройстве (ОЗУ) (рис. 1) на блоках реверсивных счетчиков $СТ_{ij}$ (рис. 2). Набор адреса каждого ij -го блока счетчика производится

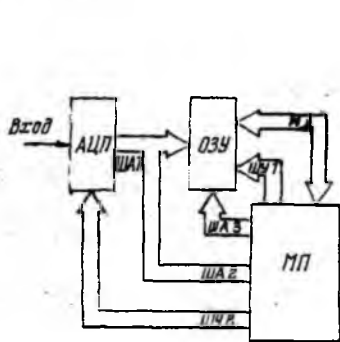


Рис. 1

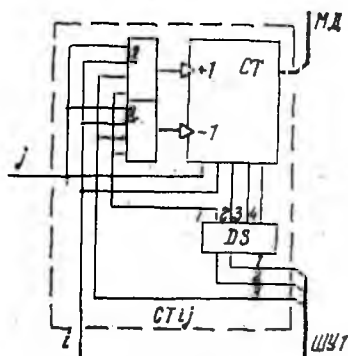


Рис. 2

по координатам с помощью двух дешифраторов специализированного ОЗУ, адрес по уровню набирается через шины адреса (ША) 1, 2, а по времени ШАЗ.

Работа специализированного ОЗУ совместно с АЦП (рис. 1) и микропроцессором (МП) основана на создании в реверсивных счетчиках состояний, соответствующих разности появлений двух видов сигналов 0 и 1 для данных i и j (3) — (5), с использованием известной кодовой комбинации, поступающей в начале кодограм-

мы. При последующем приеме информационной части кодовой комбинации производится считывание сформированных x_{ij} (3) в микропроцессор (рис. 1) для дальнейшей обработки, например,

$$\bar{x} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k x_{ij}. \quad (6)$$

Выполнение (6) не требует значительных временных затрат и заключается в последовательном суммировании всех x_{ij} , выбранных за время T , с последующим делением на k , что аналогично сдвигу суммы на $\log_2 k$ ($k=2^z$, $z=1, 2, \dots$) в сторону младших разрядов. Принятие решения производится согласно правилу

$$\bar{x} < C_x \rightarrow 0, \quad \bar{x} > C_x \rightarrow 1. \quad (7)$$

В состоянии C_x (3) счетчики блоков счетчиков $CTij$ устанавливаются перед приемом известной кодовой комбинации.

Матрица (4) по существу является элементом обучающей системы [5], обучение которой происходит путем многократного (m — кратного (5)) предъявления системе распознавания различных объектов (сигналов) с указанием классов (значений 0 или 1), к которым эти объекты принадлежат.

Применение специализированного ОЗУ (рис. 1, 2) позволяет сократить время обработки сигнала, что особенно важно для высокоскоростных СПИ и большого k . Решение только программными методами подобной задачи требует больше времени (для обработки параметров сигналов), разработки более сложного программного обеспечения, быстродействующего микропроцессорного комплекта со сверхоперативным запоминающим устройством. Достоинство специализированного ОЗУ — его универсальность, т. е. возможность применения для двоичных сигналов любой формы, амплитуды и периода, с использованием управления АЦП через шину управления (ШУ) 2 (рис. 1).

Структурная схема системы (рис. 1) содержит АЦП, специализированное ОЗУ, микропроцессор, ША 1, 2, 3, ШУ 1, 2, магистраль данных (МД). В системе используется АЦП параллельного действия (типа ИС К1107 ПВ1, К1107 ПВ3), микропроцессор реализуется на базе быстродействующих микропроцессорных комплектов (серии К1800, К1804).

Специализированное ОЗУ состоит из двух дешифраторов адреса, соединенных с ША 1, 2 и ША 3 (ША 1 и ША 2 объединены по ИЛИ), а i, j -е выходы дешифраторов соединены с блоком счетчика $CTij$ (рис. 2). Структурная схема блока счетчика содержит реверсивный счетчик, элементы И и ЗАПРЕТ, дешифратор счетчика (DS), МД и ШУ1, которая состоит из трех линий — первые две реализуют четыре режима работы специализированного ОЗУ, третья подает известную кодовую комбинацию в режиме набора статистических данных (формирования x_{ij}).

Статистическая система распознавания двоичных сигналов работает в четырех режимах:

режим установки в исходное состояние, т. е. приведение всех счетчиков специализированного ОЗУ в состояние C_x (3), осуществляется путем подачи со второго выхода дешифратора блока счетчика (рис. 2) единичного импульса, формируемого первыми двумя шинами ШУ1, этот режим, как и все последующие, осуществляется микропроцессором;

режим загрузки, т. е. последовательная запись в каждый счетчик рис. 2 известного x_{ij} через МД, при этом на третьем выходе дешифратора блока счетчика единичный потенциал, а адреса набираются микропроцессором через ШАЗ и ША2;

режим набора статистических данных, т. е. непосредственное формирование A_n согласно (5), при этом по третьей линии ШУ1 подается известная кодовая комбинация (последовательность b_e), адрес по времени набирается микропроцессором через ШАЗ, по уровню через ША1 от АЦП, на вход которого поступает известная кодовая комбинация из канала связи (входных устройств) на вход системы, в этом режиме на первом выходе дешифратора блока счетчика единичный потенциал, который открывает элементы И и ЗАПРЕТ;

режим считывания подразделяется на два подрежима считывания при приеме информационной кодовой комбинации, набор адреса по времени производится микропроцессором, а по уровню — АЦП, на вход которого поступает информационная кодовая комбинация из канала связи. В этом режиме на четвертом выходе дешифратора блока счетчика единичный потенциал, при наборе адреса код состояния реверсионного счетчика выдается через МД (6), (7), подрежим последовательного считывания для дальнейшего хранения и использования x_{ij} осуществляется аналогично предыдущему подрежиму, только адрес по уровню набирается микропроцессором через ША2.

Описанный алгоритм работы системы имеет недостаток — условия приема информационной кодовой комбинации основаны на статистических данных принятой до этого известной кодограммы, т. е. ставится условие, что параметры входных сигналов за время приема всей кодовой комбинации изменяются незначительно [1]. В противном случае возникает необходимость периодического обучения (настройки) системы новым условием приема. Разделение режимов набора статистических данных и считывание при приеме информационной кодовой комбинации устраняется при использовании кодов, исправляющих ошибки, корректирующая возможность которых близка к 100 %, т. е. соответствует характеристикам канала связи СПИ.

В этом случае смена содержимого специализированного ОЗУ производится по формуле

$$A_{n+1} = A_n + \bar{a}_{n-s-m} + a_{n-s}, \quad (8)$$

s — минимальное количество разрядов кода, необходимых для исправления (например, при трехкратном повторе каждой элементарной посылки $s=3$), m — зависит от скорости изменения пара-

метров принимаемых сигналов, технической скорости передачи и требований по достоверности распознавания.

Формула (8) определяет порядок обновления содержимого специализированного ОЗУ, который состоит в последовательном проведении для каждого t_i режима набора статистических данных, при котором производится вычитание a_{n-s-m} и сложение a_{n-s} (5) и режима считывания при приеме информационной кодовой комбинации корректирующего кода [1].

Для обеспечения работы статистической следящей (СС) системы в ОЗУ (ЗУ) микропроцессора необходимо хранить параметры $s+m$ двоичных сигналов ($(s+m)$ k -слов) и m -разрядную (исправленную) кодовую комбинацию.

Рассмотрим эффективность СС-системы в сравнении с устройством для дискретного приема сигналов «в целом» [2] по показателю математического ожидания полной вероятности ошибки $\bar{P}_{\text{ош}}$ (1) высокочастотного стробирования каждой элементарной посылки униполярного сигнала с пассивной паузой.

Число стробирующих импульсов за время T равно 5, а коэффициент $k_a = u/t$ есть $\text{tg } \alpha$ (α — угол наклона вершины сигнала, при этом в канале связи действует помеха, описываемая функцией нормального распределения

$$F_0(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{u^2}{2\sigma^2}}, \quad F_1(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(u-E)^2}{2\sigma^2}},$$

$$\sigma = 1,$$

причем за исходное положение уровня приема примем оптимальный порог согласно критерию идеального наблюдателя для среднего (третьего) стробирующего импульса в устройстве для дискретного приема сигналов «в целом», в СС-системе этому импульсу соответствует третье измерение АЦП за время T .

На рис. 3 приведены графики зависимости $\bar{P}_{\text{ош}}, (k_a), a_{0,05\text{с}}$ — математическое ожидание вероятности ошибки при стробировании, а $a_{0,05\text{с}}$ — с использованием СС-системы для $P_{\text{ош}}=0,05$ среднего стробимпульса, соответственно $a_{0,005\text{с}}$ и $a_{0,005\text{сс}}$ для $P_{\text{ош}}=0,005$.

Из приведенных зависимостей видно, что СС-система на 4—100 % понижает $\bar{P}_{\text{ош}}$ по сравнению со стробированием, $k_a \approx 0,3—0,7$ при условии оптимального порога приема среднего стробирующего импульса.

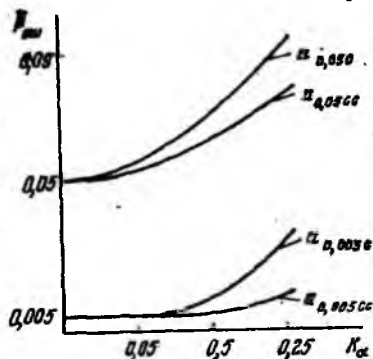


Рис. 3

СС-система позволяет производить оценку цифрового сигнала [2] (состояние канала связи СПИ), x (6) анализируется по отношению к C_x (7) методом вычитания, в этом случае величина $C_x - x$ определяет область псевдоошибок (неуверенного приема).

Статистическая следящая система распознавания двоичных сигналов, обладая описанными преимуществами, может применяться в любых системах, где решается задача распознавания.

Список литературы: 1. Пенин П. И. Системы передачи цифровой информации. М., 1976. 368 с. 2. Беллами Дж. Цифровая телефония/Пер. с англ. М., 1986. 544 с. 3. Серебрякова Л. В. Адаптивные аналого-цифровые преобразователи в измерительной технике//Контрольно-измер. техника. 1987. № 38. С. 3—7. 4. Горелик А. Л., Скрипкин В. А. Методы распознавания. М., 1977. 222 с.

Поступила в редколлегию 08.02.89