

ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМЫ СИНХРОНИЗАЦИИ СЛОЖНЫХ СОСТАВНЫХ СИГНАЛОВ

к.т.н. В.Н. Харченко, А.А. Лаврут
(представил д.т.н., проф. Г.П. Кулемин)

Предлагается принцип построения системы синхронизации сложных составных сигналов инвариантных к статистике помех, позволяющий уменьшить время вхождения в синхронизм. Приведены некоторые результаты расчета параметров и характеристик предлагаемой системы синхронизации.

При построении многоадресных систем связи, обеспечивающих высокие качественные показатели в условиях воздействия негауссовских помех, широко используются сигналы с большой базой, определяемой как произведение длительности сигнала (T_c) на эффективную ширину спектра ($\Delta F_{эфс}$)

$$B_c = T_c \cdot \Delta F_{эфс}. \quad (1)$$

Увеличить длительность сигнала, не снижая скорости передачи, возможно, используя M -ичный алфавит сигналов. При этом длительность сигнала из M -ичного ансамбля ($T_{см}$) будет равна

$$T_{см} = T_c \cdot \log_2 M. \quad (2)$$

Существуют три основные задачи, возникающие при проектировании систем связи, использующих сигналы с большой базой:

- 1) построение больших ансамблей сигналов с хорошими взаимокорреляционными свойствами;
- 2) уменьшение времени синхронизации;
- 3) уменьшение сложности реализации устройств согласованной фильтрации и принятия решения.

Упростить решение этих задач возможно, используя составные сигналы, т.е. дискретные сигналы, элементами которых, в свою очередь, являются сложные сигналы. Применение таких сигналов позволяет не только улучшить взаимокорреляционные свойства сигналов, но и упростить их обработку за счет двухэтапной процедуры фильтрации: согласованной фильтрации элементов составного сигнала и последующей цифровой фильтрации составного сигнала в целом с использованием отсчетов сигналов, взятых в моменты времени, соответствующие максимальным значениям сверток его элементов. В два этапа осуществляется и процедура синхронизации, что позволяет суще-

ственно уменьшить время вхождения в синхронизм. Поскольку большинство систем функционируют в условиях априорной неопределенности относительно статистики воздействующих помех необходимо использовать такие процедуры синхронизации, которые были бы инвариантны к данной статистике или слабо зависели от нее.

Синхронизация составного сигнала осуществляется в два этапа: на первом этапе производится тактовая синхронизация, а на втором - цикловая. Процедура тактовой синхронизации заключается, во-первых, в определении зоны сильной корреляции принимаемого элемента сложного составного сигнала и, во-вторых, в оценке временного положения максимума свертки элемента.

Для определения зоны сильной корреляции предлагается следующий алгоритм. Тактовый интервал составного сигнала разбивается на L подтактов, каждому из которых присваивается свой номер (адрес) (рис. 1).

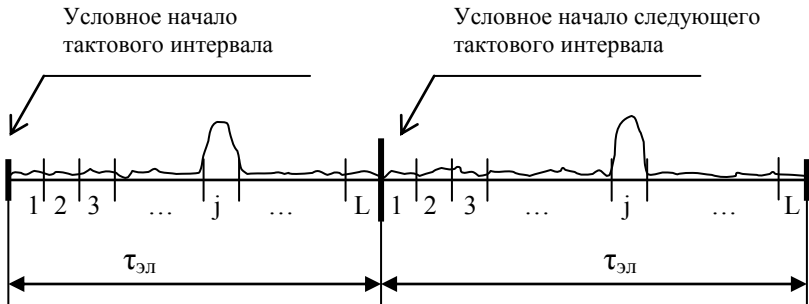


Рис. 1. Условное разбиение тактового подинтервала

Определяется и запоминается адрес j -го подтакта, где фиксируется максимальное значение наблюдаемого процесса. Если предположить, что свертка элемента составного сигнала появляется в j -м подинтервале, то с вероятностью q именно в этом подинтервале будет наблюдаться максимальное значение наблюдаемого процесса. Для обеспечения заданной достоверности правильного решения об адресе подинтервала, где присутствует свертка элемента. Процедура повторяется до тех пор, пока не будет зафиксирован m раз подряд адрес j -го (или любого другого) подтакта.

Время вхождения в синхронизм определяется количеством тактов k , при котором интервал сильной корреляции будет обнаружен с заданной степенью достоверности. Очевидно, что при $k < m$ обнаружение невозможно, т.е.

$$P_{\Sigma}(k < m) = 0.$$

При $k = m$

$$P_{\Sigma}(k = m) = P_{\text{np}}^m,$$

где P_{np} – вероятность правильного решения о том, что значащий момент находится в j -м подинтервале. Если $m \leq k \leq 2m$, то несложно показать, что

$$P_{\Sigma}(k) = P_{\text{np}}^m + (k - m) \cdot Q, \quad (3)$$

где $Q = P_{\text{np}}^m (1 - P_{\text{np}})$ – вероятность того, что в интервале наблюдения, предшествующем m -кратному подряд достоверному обнаружению, было принято неправильное решение.

При $k > 2m$ воспользоваться формулой (3) не представляется возможным, поскольку возникает вероятность достоверного обнаружения m -кратного повторения адреса j -го интервала несколько раз. Учесть это при вычислениях возможно, если применить рекуррентную формулу

$$P_{\Sigma}(k) = P_{\text{np}}^m + mQ + Q \sum_{j=1}^{k-2m} [1 - P_{\Sigma}(m-1+j)] \quad (4)$$

или

$$P_{\Sigma}(k) = P_{\text{np}}^m + (k - m)Q - Q \sum_{j=1}^{k-2m} P_{\Sigma}(m-1+j). \quad (5)$$

При этом полная вероятность того, что за k тактов будет достоверно обнаружен интервал сильной корреляции, определяется выражением:

$$P_{\Sigma}(k) = \begin{cases} 0 & \text{при } k < m; \\ P_{\text{np}}^m + (k - m)Q & \text{при } m \leq k \leq 2m; \\ P_{\text{np}}^m + (k - m)Q - Q \sum_{j=1}^{k-2m} P_{\Sigma}(m-1+j) & \text{при } k > m, \end{cases} \quad (6)$$

где все величины были описаны ранее.

Вероятность правильного решения о том, что значащий момент находится в j -м подинтервале, вычисляется аналогично оптимальному некогерентному различению L ортогональных сигналов и определяется формулой [1]

$$P_{\text{np}} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{(Z-h_L)^2}{2}} [F(Z)]^{L-1} dZ, \quad (7)$$

где

$$F(x) = \int_{-\infty}^x e^{-\frac{y^2}{2}} dy - \text{интеграл вероятности,}$$

а h_L зависит от отношения энергии сигнала к спектральной плотности шума при приеме элемента сигнала.

Очевидно, что для реальных радиолиний значение h_L может быть существенно меньше единицы, что предполагает необходимость дополнительного накопления энергии элементов в подтакте с использованием цифрового рециркулятора. Учитывая тенденцию к нормализации помех при накоплении, а также то, что количество независимых отсчетов шума, попадающих в подтатовый интервал, равно

$$N_{\text{инт}} = \frac{B_{\text{эл}}}{L},$$

где $B_{\text{эл}} = \tau_{\text{эл}} \cdot \Delta F_{\text{эл}}$ - база элемента сигнала;

$\tau_{\text{эл}}$ - длительность элемента, с;

$\Delta F_{\text{эл}}$ - эффективная ширина спектра элемента,

то отношение энергии сигнала к спектральной плотности шума на выходе рециркулятора может быть представлено в виде [2, 3]:

$$h_L^2 = \frac{h^2}{1-d} \cdot \frac{h^2}{4 \left(2 \frac{B_{\text{эл}}}{L} + h^2 \right)}, \quad (8)$$

где d - параметр экспоненциальной весовой функции рециркулятора ($0 < d < 1$);

$h^2 = (2E_{\text{эл}}/N_0)^2$ - отношение энергии элемента сигнала к спектральной плотности шума на входе устройства тактовой синхронизации;

$E_{\text{эл}} = P_c T_{\text{эл}}$ - энергия элемента составного сигнала;

P_c - мощность сигнала на входе устройства синхронизации.

Поскольку интеграл в формуле (7) в элементарных функциях не выражается, то для его взятия численными методами была использована аппроксимация интеграла вероятности [4]:

$$F(Z) = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{Z^2}{2}} (a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 + a_4 t^4 + a_5 t^5) + E(x), \quad (9)$$

где

$$|E(x)| < 7,5 \cdot 10^{-8}; \quad Z \geq 0; \quad t = \frac{1}{1+pZ};$$

$P = 0,2316419$; $b_1 = 0,319381530$; $b_2 = -0,356563782$; $b_3 = 1,781477937$; $b_4 = -1,821255978$; $b_5 = 1,330274429$.

В качестве примера в табл. 1 приведены результаты численного расчета времени синхронизации (количества тактовых импульсов k),

выполненного по формулам (6 - 9) для указанной достоверности вхождения в синхронизм ($P_{\text{синхр}}$). Для этого были выбраны следующие параметры системы:

- 1) база элемента $N_{\text{эл}} = 512$;
- 2) число подтактов $L = 128$;
- 3) параметр экспоненциальной весовой функции $d = 0,99$;
- 4) количество повторений $m = 3$;
- 5) отношение энергии элемента сигнала к спектральной плотности шума на входе устройства тактовой синхронизации $h^2 = 0,5; 1; 1,5; 2$.

Алгоритм цикловой синхронизации аналогичен изложенному выше и отличается только тем, что количество подинтервалов наблюдения совпадает с количеством элементов составного сигнала.

Таблица 1

Результаты расчета времени вхождения в синхронизм

h^2	h_L^2	Количество тактов, k		
		$P_{\text{синхр}} = 0,5$	$P_{\text{синхр}} = 0,9$	$P_{\text{синхр}} = 0,99$
0,5	0,735294	4754	15719	> 30000
1	2,2778	113	370	737
1,5	5,92105	14	40	79
2	10	5	12	22

Таким образом, предлагаемые принцип и методика расчета вероятностно-временных характеристик системы тактовой синхронизации позволяют оптимально выбирать параметры системы связи, использующие сложные составные сигналы, для различных условий функционирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Витерби Э.Д. Принципы когерентной связи. Пер. с англ./ Под ред. Б.Р. Левина. – М.: Сов. радио, 1970. – 392 с.
2. Пестряков В.Б. Шумоподобные сигналы в системах передачи информации. – М.: Сов. радио, 1969. – 424 с.
3. Лезин Ю.С. Оптимальные фильтры и накопители импульсных сигналов. – Изд. 2-е, перераб. и дополн. – М.: Сов. радио, 1969. – 448 с.
4. Справочник по специальным функциям с формулами, графиками и математическими таблицами. Пер. с англ./ Под ред. М. Абрамовица и И. Стиган. – М.: Наука, 1979. – 832 с.

Поступила в редколлегию 12.09.2001