

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ ЦИКЛОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ ПРИ НАЛИЧИИ ФАЗОВОЙ НЕСТАБИЛЬНОСТИ С ПОМОЩЬЮ ЦЕПЕЙ МАРКОВА

Волченков А.В., Новиков В.Ю., Чвало В.А.

Ярославский государственный университет им. П.Г.Демидова

В работе рассматривается алгоритм работы системы синхронизации циклов на примере первичного ИКМ мультиплексора. Особенностью является постановка вопроса о неидеальности работы системы тактовой синхронизации в условиях комбинированного воздействия аддитивного и фазового шумов.

После первого шага вхождения в синхронный режим, когда достигнута синхронизация по несущей и символам и из входящего сигнала извлечена логическая информация, на следующем шаге (высший уровень абстракции) определяются начало и конец кодовых слов или кодовых групп слов, т.е. определяются цикл в необработанном потоке принимаемых битов. Эти задачи называются синхронизацией слов или синхронизацией циклов соответственно.

При цифровой передаче для определения различных значений передаваемых битов последние обычно объединяются в циклы. Биты на разных позициях в пределах одного цикла могут быть представлены, например, под каналы различных пользователей, разделенных в одной физической среде с помощью временного разделения каналов (ВРК). Они могут быть отведены под различные телефонные вызовы в 30-канальном цикле европейского первичного ИКМ мультиплексора или же под функции заголовка (контроль ошибок, передача информации управления и т.д.). Значение принимаемых битов или, например, правильное демультимплексирование составляющих сигналов зависит от точного определения цикла.

Любой алгоритм синхронизации циклов состоит из следующих двух основных операций:

- поиск, когда приемное оборудование ведет поиск признаков синхронизации циклов (определение циклов в принимаемом потоке битов);
- удержание, когда приемное оборудование находится в состоянии синхронизации циклов и непрерывно контролирует границы цикла там, где по предположению они должны быть.

При синхронизации циклов используется специальная комбинация символов – синхронизирующее слово (синхрослово), размещенное обычно в начале цикла. Поиск признака синхронизации обычно ведется методом отслеживания синхрослова на всех позициях принимаемого потока битов и его последующего удержания для проверки того, что это слово действительно там, где по предположению начинаются циклы. Очевидно, что в процессе поиска искомое слово может имитироваться любыми другими информационными битами, а при удержании синхронизации оно может быть неверно распознано из-за ошибок в линии передачи. Отсюда идут ошибки в передаче информации и главная задача вопроса – эти ошибки минимизировать.

Анализ случайных процессов, описывающих потерю и восстановление синхронизации, в соответствии с выбранным алгоритмом синхронизации циклов может быть выполнен методами, описанными в работах [1,2], с помощью соответствующей модели Марковской цепи [1,3,4], представленной на рис.1, где P – вероятность верного распознавания синхрослова. Очевидно, что P зависит от различных характеристик алгоритма, условий работы тактовой синхронизации и принимает различные значения в отдельных фрагментах цепи.

Из состояния правильной синхронизации A_1 с удержанием устройство синхронизации циклов, в котором установленный процесс нарушается, может перейти в состояние потери синхронизации B_1 только после α последовательно ошибочно определенных синхрослов. В состоянии B_1 устройство синхронизации находится в процессе поиска и, как только оно находит последовательность битов, эквивалентную искомому синхрослову, переключается в состояние предварительной синхронизации B_2 . Из этого состояния устройств синхронизации циклов, работая на удержание, переходит в нормальное состояние A_1 только после δ последовательно безошибочно принятых синхрослов. Это делается для защиты от ложных синхрослов. После приема первого же ложного синхрослова устройство возвращается обратно в состояние B_1 , и процесс повторяется.

Если устройство синхронизации циклов находится в состоянии A_1 , то любой переход в состояние B_1 расценивается как потеря синхронизации циклов. Такой переход может быть обусловлен:

- ошибками в принимаемом синхрослове
- потерей тактовой синхронизации или проскальзыванием циклов; если тактовая синхронизация действительно потеряна, то работа устройства прекращается и восстанавливается лишь с восстановлением работы системы тактовой синхронизации.

Оценивать работу алгоритма синхронизации цикла можно оценивать по следующим параметрам:

- среднее время установления синхронизации циклов;

- среднее время срыва синхронизации циклов (или по обратной величине – среднее число вынужденных потерь в единицу времени);
- вероятность ложной синхронизации.

Эти параметры можно получить, анализируя соответствующую модель системы синхронизации циклов в виде цепи Маркова.

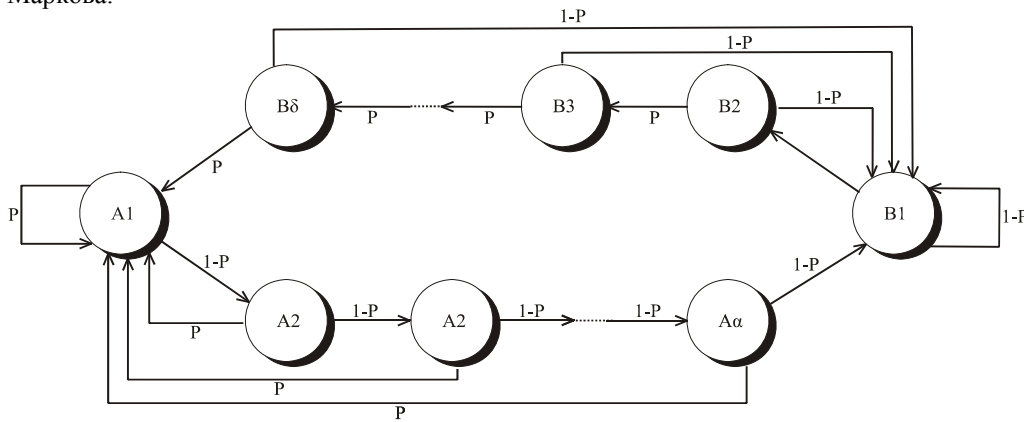


Рис. 1. Граф переходов цепи Маркова

Среднее время установления синхронизации можно получить следующим способом.

Обозначаем через N_k количество шагов, необходимых для достижения состояния A_1 из состояния B_k . Заметим, что из состояния B_k система синхронизации циклов может перейти с вероятностью P в состояние B_{k+1} , откуда она будет работать по тем же принципам, что и в состоянии B_k , только необходимо учесть время перехода из состояния B_k в состояние B_{k+1} . Также с вероятностью $1 - P$ система может перейти в состояние B_1 , соответственно, время достижения точки A_1 будет равно $N_1 + 1$. Таким образом, так как эти события взаимоисключающие, можно записать следующее разностное уравнение:

$$N_k = P * (N_{k+1} + 1) + (1 - P) * (N_1 + 1).$$

Решая это разностное уравнение с граничным условием $N_{\delta+2} = 0$, и подставляя вместо k единицу, получим выражение для времени (или количества шагов) установления синхронизации:

$$N_1 = 1 - P^{\delta+1} / ((1 - P) * P^{\delta+1}).$$

Аналогично получается выражение для времени срыва синхронизации:

$$L_1 = 1 - (1 - P)^{\alpha+1} / (P * (1 - P)^{\alpha+1}).$$

Параметры α и δ зависят от выбора алгоритма системы синхронизации, для первичного ИКМ мультиплектора они равны 3 и 1 соответственно.

Значение вероятности P во многом зависит от характера и интенсивности случайных воздействий (помех), механизма принятия решения о значении бита и точности работы устройства тактовой синхронизации.

Пусть решение о значении состояния бита выполняется вычислением среднего значения дискретных отсчетов сигнала на протяженности всего бита. Дискрет времени можно, например, взять равным дискрету времени работы системы тактовой синхронизации. Очевидно, что наличие аддитивного и фазового шумов негативно должно влиять на характер работы системы.

Возьмем для оценки работы системы цикловой синхронизации модели аддитивного белого гауссовского (АБГШ) и фазового белого гауссовского шумов (ФБГШ) шумов.

Ошибкой работы системы будет считаться превышение некоторого порога (например, нуля) средним значением дискретных отсчетов сигнала (в первичном ИКМ мультиплекторе используется биполярный код без возврата к нулю), последнее высчитывается по формуле:

$$G = \sum_{k=1}^N (f[k] + g[k]), \text{ где } f[k] - \text{значение сигнала в момент дискретизации, } g[k] - \text{значение АБГШ в}$$

момент дискретизации.

При наличии фазового шума значения $f[k]$ могут отличаться от истинных из-за флуктуаций фронтов импульсов. Возможны 4 различные ситуации, дающие различный вклад в ошибку принятия решения о значении бита. Оценка идет второго бита.

Случай 1: Следующие друг за другом биты 1 и 1, смещение фронта импульса влево. Здесь $G' = G$.

Случай 2: Следующие друг за другом биты 1 и 1, смещение фронта импульса вправо. Здесь $G' = G$.

Случай 3: Следующие друг за другом биты **0** и **1**, смещение фронта импульса влево. Здесь $G' = G$.

Случай 4: Следующие друг за другом биты **0** и **1**, смещение фронта импульса вправо. Здесь $G' = G - 2 * j$, где j - количество смещенных дискретов.

Так как появление **0** и **1** равновероятно, в силу особенностей модели фазового шума среднее значение дискретных отчетов сигнала равно $G' = G - 0.5 * j$.

Аналогичны выражения для правого фронта бита **1**, а для бита **0** оно равно $G' = -G - 0.5 * j$, что для расчетов ошибки принятия решения дает идентичные результаты.

Собственно, ошибкой в принятии решения о значении бита **0** будет условие $G' \leq m$, где m - некоторый порог.

Так как при расчете G' присутствуют флуктуационные характеристики, то и само поведение G' будет носить вероятностный характер. Если $g[k]$ распределено по нормальному закону с параметрами $[0, \sigma^2]$, то G' , так как отчеты $g[k]$ независимы, распределено по нормальному закону с параметрами $[G', N\sigma^2]$.

Таким образом, рассматривая вероятности попадания фазовой ошибки в зону влияния определенного дискрета, имеем множество взаимоисключающих вероятностей ошибки, которые суммируются.

Вероятность попадания фазовой ошибки в зону влияния i -го дискрета равна

$$errf_i = \int_{(2i-1)/2}^{(2i+1)/2} \frac{1}{\sigma_f \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma_f^2}\right) dx, \text{ где}$$

σ_f - Среднеквадратичное отклонение фазового шума.

Вероятность ошибки принятия решения о значении бита в данном случае будет равна:

$$erra_i = \int_{-\infty}^m \frac{1}{\sigma_a \sqrt{2\pi N}} \exp\left(-\frac{(x - G')^2}{2N\sigma_a^2}\right) dx.$$

Так как вероятность попадания фазового шума в зону влияния того или иного дискрета носит взаимоисключающий характер, то общая ошибка решения о принятии значения бита будет равна:

$$e = \sum_{i=-N}^N erra_i \cdot errf_i.$$

Теперь можно получить вероятность правильного распознавания синхрослова: $P = (1 - e)^a$, где a - длина синхрослова в битах.

Соответственно вероятность ложной синхронизации будет равна $P = \left(\frac{1}{2}\right)^a$

Зависимость вероятности верного распознавания синхрослова от СКО фазового и аддитивного шумов показана на рис.2. Результаты расчетов среднего времени установления синхронизации представлены на рис. 3.

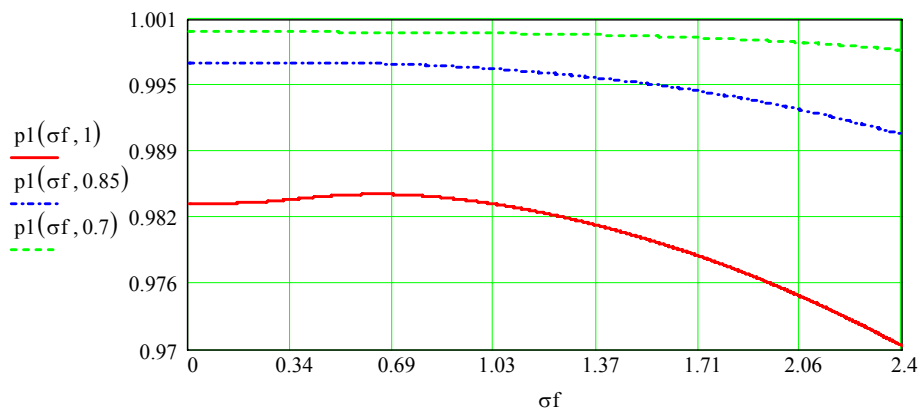


Рис.2. Зависимость вероятности верного распознавания синхрослова от СКО фазового и аддитивного шумов

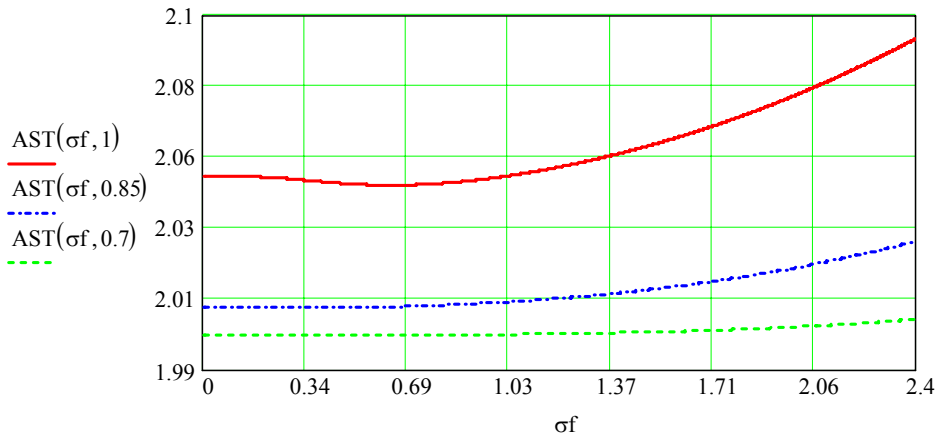


Рис.3. Зависимость среднего времени установления синхронизации от СКО фазового и аддитивного шумов

Литература

1. Брени С. Синхронизация цифровых сетей связи. – М.: «Мир», 2003. – 456 с.
2. Слепов Н.Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи. – М.: Радио и связь, 2000. – 468 с.
3. Тихонов В.И. Марковские процессы. – М.: Советское радио, 1977. – 488 с.
4. Портенко Н.И. Марковские процессы – М.: ВИНТИ, 1989. – 248 с.

CYCLE SYNCHRONIZATION SYSTEM PARAMETERS UNDER PHASE INSTABILITY INFLUENCE USING MARKOV'S CHAINS ANALYSIS

Volchenkov A., Novikov V., Chvalo V.

Yaroslavl State University named by P.G. Demidov

Cycle synchronization system algorithm in case of modulation system are considered. Special features are additive noise and phase instability presence, non-ideal time synchronization device work.

Loss, establishment and restoration cycle synchronization, caused by random noise, can be represented by described work methods[1,2], using corresponding Markov's chain.

Cycle synchronization system algorithm can be characterized by following parameters

- Average cycle synchronization establishment time;
- Average cycle synchronization loss time;
- False synchronization probability.

These parameters can be evaluated during appropriate cycle synchronization Markov's chain model analysis (see the pic. 1).

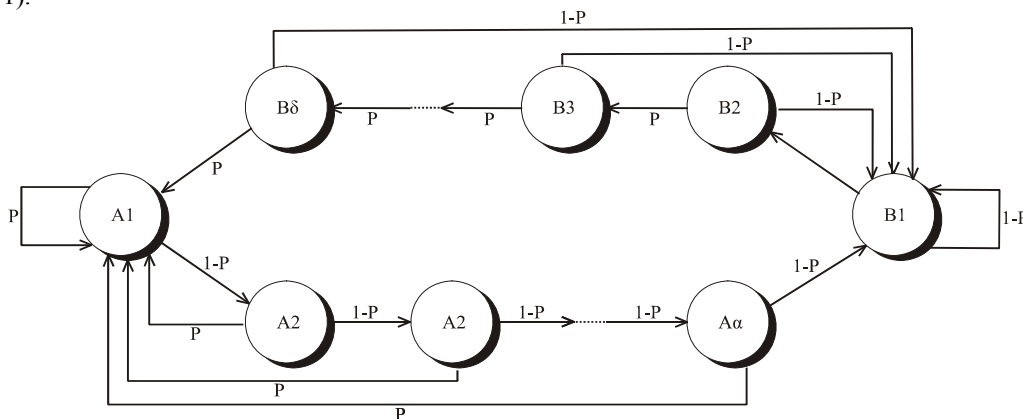


Рис.1. Markov's chain graph

Average cycle synchronization establishment time can be evaluated by following manner. Let us denominate N_k as arriving from B_k state to A_1 state necessary quantity of steps. We can get a subtractive equation on N_k :

$$N_k = P * (N_{k+1} + 1) + (1 - P) * (N_1 + 1).$$

The decision of that equation with $N_{\delta+2} = 0$ boundary condition and $k = 1$ is average cycle synchronization establishment time: $N_1 = 1 - P^{\delta+1} / ((1 - P) * P^{\delta+1})$.

Average cycle synchronization loss time can be evaluated by analogy: $L_1 = 1 - (1 - P)^{\alpha+1} / (P * (1 - P)^{\alpha+1})$.

Probability P depends on noises parameters, bit value decision and time synchronization device work precision.

True sync word decision probability: $P = (1 - e)^a$, where a - Quantity of sync word's bits.

Bit value decision error e depends on noise model definition and decision mechanism.

Bibliography

1. Брени С. Синхронизация цифровых сетей связи. – М.: «Мир», 2003. – 456 с.
2. Слепов Н.Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи. – М.: Радио и связь, 2000. – 468 с.

