

## СИНХРОНИЗАЦИЯ СИСТЕМ СВЯЗИ С ПРОГРАММНОЙ ПЕРЕСТРОЙКОЙ РАБОЧЕЙ ЧАСТОТЫ

Богданов А.Е.<sup>1</sup>, Самойлов А.Г.<sup>2</sup>, Самойлов С.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Владимирское КБ «Радиосвязь», <sup>2</sup>Владимирский государственный университет

Бурное освоение телекоммуникационного пространства создаёт определенные трудности при построении новых информационных сетей с радиодоступом. В определенной мере проблема обеспечения высокой достоверности передачи информации может быть решена применением методов расширения спектра используемых радиосигналов. Методы основаны на применении для расширения спектра на передающей стороне и сжатия его на приёмной стороне двоичных цифровых псевдослучайных  $m$ -последовательностей (ПСП) максимальной длины  $L = 2^n - 1$ , где  $n$  – число разрядов генератора псевдослучайной последовательности. Используют и последовательности Голда, получаемые сложением различных  $m$ -последовательностей с одинаковой тактовой частотой.

В работах, посвященных методам расширения спектра, доказано [1-4], что коэффициент расширения спектра сигнала  $N$  определяет меру увеличения отношения сигнала к помехе

$$N = \Delta f / \Delta \Omega,$$

где  $\Delta f$  – ширина полосы частот расширенного спектра,  $\Delta \Omega$  – ширина спектра информационного сигнала.

Наиболее активно в телекоммуникационных сетях используются два метода:

- модуляция несущей псевдослучайной последовательностью (МНПСП);
- метод скачков рабочей частоты или программная перестройка рабочей частоты (ППРЧ).

При рассмотрении разных видов расширения спектра в работе [1] отмечается (в предположении, что шум имеет характер аддитивного белого гауссового), что при сжатии спектра на приёмной стороне при ППРЧ и при МНПСП реализуется одинаковый выигрыш по достоверности передачи информации. Можно показать [2], что эффективность метода ППРЧ во многих случаях может быть выше.

Во – первых, при ППРЧ приёмник обычно имеет переключаемую полосу пропускания, совпадающую по ширине с полосой информационного сигнала -  $\Delta \Omega$ , а при МНПСП полоса пропускания приёмного устройства шире и равна  $\Delta f$ . Отметим также, что выигрыш в помехозащищенности в  $N$  раз возможен только при высокой линейности приёмных трактов систем, которую при ППРЧ реализовать значительно проще, так как полоса пропускания у приёмников таких систем уже чем при МНПСП практически в  $N$  раз.

Во-вторых, в случае использования методов расширения спектра в системах с множественным доступом, значения взаимокорреляционных функций используемых сигналов стремятся минимизировать, но на практике они всегда отличны от нуля. Теоретически обеспечиваемое разработчиками оборудования связи необходимое условие ортогональности сигналов ПСП  $i$ -ой и  $k$ -ой станций разных абонентов

$$\int_0^T S_i(t) S_k(t) dt = \begin{cases} 0, & i \neq k, \\ 1, & i = k, \end{cases}$$

при асинхронной работе сети и из-за задержек по времени распространения сигналов точно не выполняется. Возможности систем с ППРЧ и МНПСП при этом различны.

При МНПСП взаимная корреляция модулирующей ПСП с мешающими сигналами приводит к ухудшению достоверности приёма информации во время всего сеанса связи [3], что может приводить к множественным ошибкам при приёме информации, которые не удастся исправить корректирующими кодами.

При ППРЧ из-за взаимной корреляции страдают только отдельные позиции сигнала (скачки, совпадающие по спектру с другими станциями) и ошибки возможно исправлять. Это можно осуществить применением кодов с исправлением ошибок, либо увеличением скорости переключения радиочастоты до значений, превышающих скорость передачи информации и организацией приёма, например, методом голосования по большинству.

В - третьих, при присутствии в полосе  $\Delta f$  узкополосных непрерывных помеховых сигналов с высокой энергетикой возможно блокирование приёмного устройства мощным сигналом. При блокировании приёмника с МНПСП усилительные каскады приёмного устройства будут находиться в режиме насыщения все время существования мощной помехи, что может привести к полному срыву передачи информации. При ППРЧ приёмное устройство блокируется только на моменты времени совпадения спектров помехи и переключаемого спектра  $\Delta \Omega$ . Полного срыва связи не происходит, а потери достоверности дискретны во времени и их можно уменьшить использованием устройств перемежения информации и кодеков, исправляющих ошибки

Важным условием работы систем с ППРЧ является обеспечение успешного вхождения в связь абонентов сети. Здесь возможны варианты, основанные как на принципе быстрого параллельного поиска на всех парциальных частотах связи, что усложняет реализацию системы, так и на принципе циклического последовательного по парциальным частотам поиска, увеличивающего время поиска.

Для локальных информационных сетей, имеющих ограниченное количество абонентов, можно предложить следующий вариант вхождения в связь. Если при ППРЧ используется  $N$  парциальных частот в отведенном участке спектра шириной  $\Delta f = f_1 - \frac{\Delta\Omega}{2} \div f_N + \frac{\Delta\Omega}{2}$ , то можно заранее выделить для абонентов

одну из частот  $f_k$  в качестве частоты ожидания и передавать на ней в качестве преамбулы последовательность Голда без модуляции передаваемым сообщением.

Сигнал преамбулы запускает генераторы ПСП приемников, генерирующие взаимно не коррелированные последовательности Голда с одинаковым периодом реализации. После приёма преамбулы синтезаторы частоты приёмников начинают управляться по закону изменения конкретной ПСП и приёмники сети связи перестраиваются по спектру синхронно со своими абонентами. Принцип организации связи для 3-х абонентов показан на рис.1.

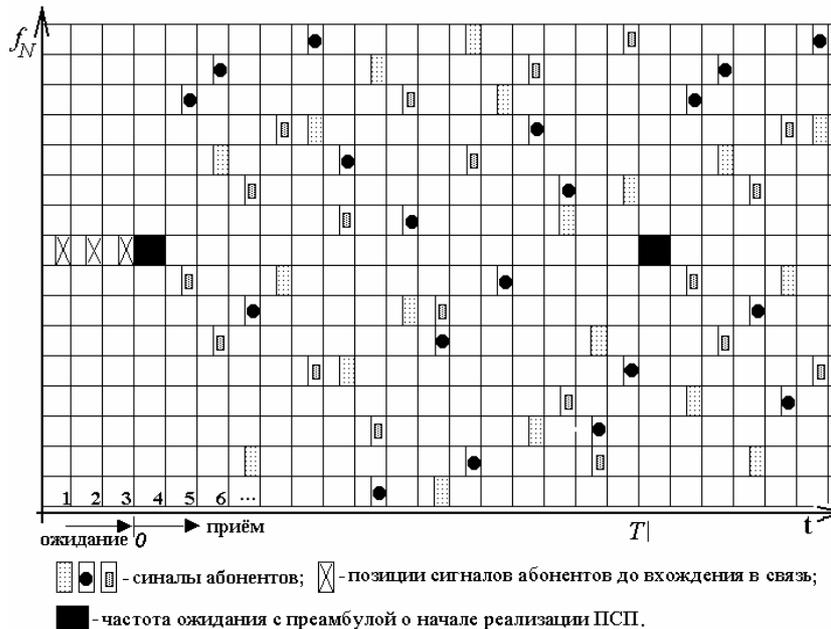


Рис. 1. Частотно – временная матрица сигналов абонентов сети

В качестве примера, на рис. 1 показано, что передача для абонентов началась по окончании момента времени с номером  $t = 3$ . После момента времени  $t = 4$  передатчик заканчивает передачу преамбулы на частоте ожидания и приемники, приняв преамбулу, начинают работать синхронно со своими абонентами. Преамбула передается периодически в первом блоке каждого цикла на частоте ожидания в течение всего сеанса связи. Длительность цикла определяется длиной используемой ПСП и, как правило, превышает в 1000 и более раз период  $T$  тактовой частоты генератора ПСП .

В остальных блоках цикла передаются сигналы данных, группами по  $h$  байт каждый. Число байт в цикле зависит от скорости передачи информации в системе. После приёма одного периода сигнала ПСП остаётся частотно – временное рассогласование между принимаемым и опорным сигналами, определяемое величиной максимального взаимного расхождения счетчиков времени приемного и передающего абонентов за период между двумя коррекциями времени.

Для устранения такой ошибки можно предложить [4] использовать следующую схему, показанную на рис.2 и основанную на усреднении произведения меандра тактовых импульсов генератора ПСП приёмника и протектированной огибающей принимаемого сигнала. Результатом перемножения становится знакопеременный сигнал, постоянная составляющая которого пропорциональна задержке входного сигнала относительно тактовых импульсов генератора ПСП.

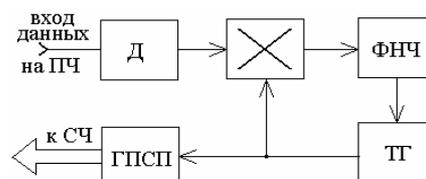


Рис. 2. Схема подстройки задержки сигнала ( Д – детектор, ФНЧ – усредняющий фильтр нижних частот, ТГ – тактовый генератор для генератора псевдослучайной последовательности – ГПСП, СЧ – синтезатор частоты).

Анализ модели следящей схемы подстройки сигнала, выполненный на ЭВМ, показал, что в результате усреднения формируется управляющее напряжение для генератора тактовых импульсов ПСП, сводящее после нескольких циклов ( $3 \div 5$ , в зависимости от параметров ФНЧ) рассогласование к минимуму. Знак сигнала управления ТГ указывает на направление перестройки, а уровень сигнала – на её величину.

При многостанционном доступе выигрыш в помехоустойчивости в некоторой степени уменьшается, как за счёт использования в каждом цикле служебного блока с сигналами преамбулы, так и за счёт ухудшения помеховой обстановки из-за соседних по своей сети станций. Недостатком предложенной схемы синхронизации является также то, что частота ожидания приёмников может оказаться пораженной помехой.

Результаты испытаний построенной аппаратуры доказали высокую эффективность работы предложенной системы связи в условиях воздействия интенсивных помех.

#### Литература

1. Феер К. Беспроводная цифровая связь. Методы модуляции и расширения спектра. / Пер. с англ. под ред. В.П. Журавлева. – М.: Радио и связь, 2000. - 520с.
2. Прокис Д.Ж. Цифровая связь./Пер. с англ. под ред. Д.Д. Кловского. – М.: Радио и связь, 2000.– 798 с.
3. Борисов В.И., Зинчук В.М., Лимарев А.Е., Мухин Н.П., Нахмансон Г.С. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов модуляцией несущей псевдослучайной последовательностью / Под ред. В.И. Борисова. - М.: Радио и связь, 2003. - 640с.
4. Богданов А.Е., Самойлов С.А. Цикловая синхронизация в системах с программной перестройкой частоты // Международная научно-техническая конференция Intermatic-2004, Москва, 2004. - С. 139-141.

