

Костров В.В., Киров Д.В.

Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
 602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23
 E-mail: kirov.dm@yandex.ru

Особенности временной синхронизации цифровых приемников в условиях многолучевого распространения

Современные гидроакустические системы асинхронной связи и передачи данных используют цифровые сигналы и методы их обработки. Следует отметить, что цифровые методы модуляции и цифровой обработки сигналов (ЦОС) занимают ведущее место в современных радиотехнических устройствах и системах [1-2] благодаря гибкости, возможности быстрой адаптации, надежности и высокого качества работы. На аппаратуру ЦОС возлагается вся обработка сигналов с выхода аналоговой части приемника гидроакустических сигналов, которая сводится к демодуляции принимаемого сигнала, декодированию (если исходное сообщение подвергалось кодированию), и выделению информационного содержания. Однако, чтобы получить высококачественные характеристики приема информации, необходимо решить задачу вхождения в связь, т.е. засинхронизировать приемник и принимаемый сигнал. Некоторые вопросы оптимизации цифровых систем вхождения в связь, а также частные случаи вхождения в связь по частоте и задержке рассматривались, например в [2-5]. В данном докладе исследуются принципы символьной (блочной) синхронизации при кодировании информации сложными сигналами и использовании оценки временного положения преамбулы.

Целью данной работы является анализ особенностей временной синхронизации сигналов в асинхронных каналах связи с многолучевым распространением.

В системах цифровой связи со слабовыраженной многолучевостью сигнал представляет непрерывный поток информационных символов, в который с определенной периодичностью вставляются синхро блоки или синхросимволы, отличающиеся кодированием от всех возможных информационных символов. Такие сигналы образуют преамбулу, т.е. вводную или вступительную часть принимаемой информации. Как правило, преамбула не несет информационного содержания, а образует те метки времени, которые используются при выделении информации, поэтому в любом случае применение синхросимволов приводит к снижению скорости передачи информации. Для такого случая на рис. 1а представлена последовательность принимаемых сигналов. В многолучевом канале распространения возникает явление реверберации, когда после окончания импульсного сигнала на приемник поступают отраженные от различных объектов копии сигнала с затухающей амплитудой (рис. 1б). Реверберация отрицательно сказывается на качестве приема. Чтобы снизить влияние реверберации, длительность информационного символа выбирают таким образом, чтобы накладывающиеся на него эхо-сигналы занимали не более 25%. Из-за увеличения длительности информационного символа это ограничение также снижает скорость передачи информации. Другим способом снижения влияния многолучевого распространения является использование защитного интервала, в течение которого передача сигнала не осуществляется, тем самым облегчается прием информационных символов (рис. 1в).

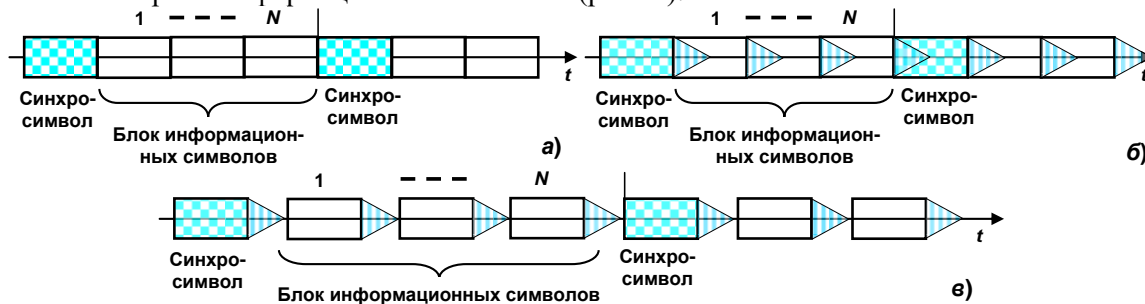


Рис. 1. Варианты приема сигналов временной синхронизации

Вариант с защитным интервалом требует значительного временного ресурса, однако обеспечивает, по сравнению с вариантом рис. 1б, более надежную защиту от взаимных интерференционных помех и снижение энергетических затрат на излучение сигнала передатчиком. При приеме в цифровом приемнике формируются строб-импульсы, синхронные по частоте с тактовой частотой передачи информационных символов. Естественно, что временное положение строб-импульсов полностью определяется полученной в результате обработки оценки временного положения преамбулы (синхро-символа). По существу оценка временного положения синхронизирующего символа принимается за начало передачи очередного блока информации. Эти оценки должны обеспечивать устойчивую и достаточно надежную символьную (блоковую) синхронизацию, поэтому блок оценки временного положения синхро-символа необходимо оптимизировать. Обобщенная структурная схема временной синхронизации представлена на рис. 2.

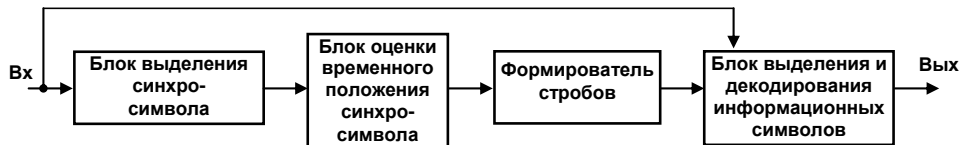


Рис.2. Обобщенная структурная схема временной синхронизации

Данная структура исследовалась методом математического моделирования. В качестве синхро-символов и информационных символов использовались фазокодомодулированные сигналы с фазовой манипуляцией, модулированные псевдослучайными последовательностями ансамбля Голда. Модель многолучевого сигнала формировалась как сумма случайного числа сигналов (числа лучей) со случайными начальной фазой и амплитудой, причем для основного луча амплитуда считается максимальной. Надежность синхронизации в первую очередь связана с качеством выделения (обнаружения) синхро-символа, данная процедура осуществляется с помощью пороговой обработки [6]. На рис. 3 представлены характеристики обнаружения многолучевого сигнала (под цифрой 1 для случая слабых искажений; под цифрой 2 – средние искажения; под цифрой 3 – сильные искажения). Вероятность ложной тревоги при моделировании составляла $F = 10^{-4}$. Для сравнения под цифрой 0 приведена характеристика обнаружения нефлюктуирующего сигнала со случайной начальной фазой (исходная модель сигнала). Анализ графиков показывает, что потери в пороговой мощности сигнала при вероятности правильного обнаружения $D = 0,5$ в различных ситуациях составляют: 1) слабые искажения – 1,8 дБ; 2) средние искажения – 2,7 дБ; 3) сильные искажения – 4,1 дБ.

Следует отметить общую тенденцию проявления влияния степени многолучевого распространения сигналов на характеристики обнаружения: флюктуации амплитуды сигнала растут и, как следствие, увеличивается пороговое значение отношения сигнал шум.

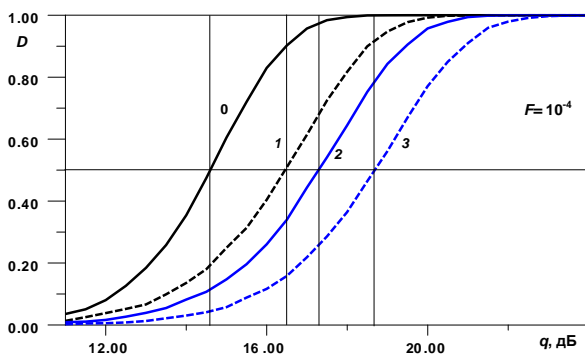


Рис. 3. Характеристики обнаружения многолучевого сигнала

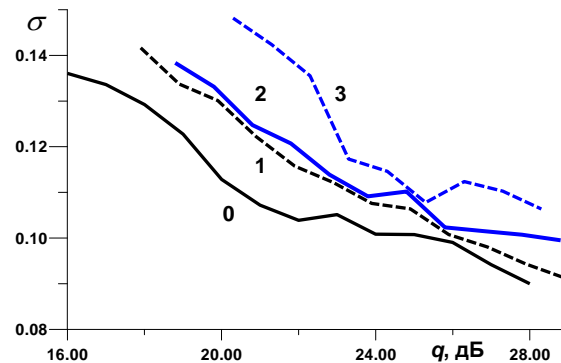


Рис. 4. Среднеквадратическая ошибка временной синхронизации

Результаты моделирования блока оценивания временного положения синхро-символа приведены на рис. 4, где представлены зависимости нормированной относительно длительности элемента кода среднеквадратической ошибки (СКО) от отношения сигнал-шум.

Оценивание временного положения преамбулы осуществлялось методом максимального правдоподобия с использованием 2-х полустробиов. После обработки сигнала с учетом его многолучевого распространения производится выбор глобального максимума, который гарантирует исключение ложных срабатываний по боковым лепесткам сичро-символа. Далее в районе точки глобального максимума определяется точка перехода наблюдаемой последовательности через 0 (производная последовательности в этой области меняет знак с минуса на плюс), которая принимается за оценку временного положения синхро-символа.

Как и следовало ожидать, при увеличении отношения сигнал-шум точность оценивания увеличивается, СКО уменьшается и стремится к минимальному значению СКО, которое обусловлено дискретизацией временной координаты. Можно также отметить, что на результаты моделирования заметно влияет число лучей в канале распространения, которое в процессе моделирования принималось случайной величиной. При известном доплеровском смещении частоты точность оценивания временного положения преамбулы однозначно определяет точность оценивания времени прихода информационных символов, что существенно облегчает задачу синхронизации.

Разработка и исследование системы синхронизации, моделирование базовых алгоритмов в условиях многолучевого распространения сигналов позволили сделать следующие выводы:

1. Прием сообщений большой длительности приводит к нарушению внутренней синхронизации цифрового приемника и принимаемого сигнала. Особенно сильно это проявляется при взаимном относительном движении приемника и излучателя.

2. Нарушение синхронизации приводит к нежелательным эффектам (возрастание порога обнаружения лучей в многолучевом сигнале, рост влияния эффекта наложения результатов свертки, снижение точности определения временного положения синхро-символа, появление аномальных оценок) приводят к росту вероятности ложной классификации информационных символов и снижению качества приема.

3. Анализ показал, что точность синхронизации существенно зависит от гидродинамической обстановки, числе лучей, различий между временем прихода этих лучей. Взаимное движение приемника и излучателя также приводит к ошибкам временной синхронизации, а значение СКО может существенно превысить полученные в результате моделирования.

В результате выполненных исследований разработаны рекомендации по выбору параметров алгоритмов при обработке преамбулы, а также методика выбора структуры и параметров устройства оценивания временного положения сложного сигнала в условиях многолучевого распространения. Предложено для повышения устойчивости синхронизации сигналов использовать двумерный цифровой экстраполирующий фильтр.

Литература

1. Маркович И.И. Цифровая обработка сигналов в системах и устройствах. – Ростов н/Д: Издательство Южного федерального университета, 2012. – 236 с.
2. Цифровые радиоприемные системы: Справочник / М.И. Жодзишский, Р.Б. Мазепа, Е.П. Овсянников и др. / Под ред. М.И. Жодзишского. – М.: Радио и связь, 1990. – 208 с.
3. Лосев В.В., Бродская Е.Б., Коржик В.И. Поиск и декодирование сложных дискретных сигналов / Под ред. В.И. Коржика. – М.: Радио и связь, 1988. – 224 с.
4. Mengali U., D'Andrea A.N. Synchronization Techniques for Digital Receivers. – N.Y. Plenum Press, 1997. – 530 p.
5. Кловский Д.Д. Теория электрической связи. – М.: Радиотехника, 2009. – 646 с.
6. Маркович И.И. Методы и алгоритмы цифровой пространственно-временной обработки гидроакустических сигналов в многолучевых эхолотах и локаторах препятствий // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2014. Т. 7. № 2. С.58-71.