

ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В УСЛОВИЯХ АПРИОРНОЙ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ ПАРАМЕТРОВ АКУСТИЧЕСКОГО КАНАЛА СВЯЗИ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ АДАПТИВНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

М. С. БОЧАРОВ, М. И. СКИПА

Отделение гидроакустики МГИ НАН Украины, г. Одесса, Украина

This report is devoted questions of distribution of the hydroaudio signals subject to influence of interferences and factors which worsen their passing and reception. Also questions of influence of a priori uncertainty of parameters of the channel of distribution of audio signals on efficiency of their coordinated reception in shallow areas of coastal allowed bands are considered. Also questions of designing of broadband hydroaudio systems with correlative processing of the difficult, specially synthesized signals with application of adaptive modeling of a data link are considered.

ВВЕДЕНИЕ

Исследование и наблюдение за водной средой в настоящее время в основном осуществляется контактным способом, что в свою очередь налагает ряд ограничений на процесс исследования. Реализация технических средств дистанционного акустического наблюдения за водной средой обладает более широкими возможностями. Дистанционные системы имеют более высокое пространственное разрешение с возможностью снятия динамических характеристик неоднородностей, также обладают мобильностью и автономностью.

При реализации автономных систем дистанционного наблюдения возникает задача передачи потока данных телеметрии и дистанционного управления удалённым объектом. Для решения этих задач требуется более глубокое исследование особенностей распространения гидроакустических сигналов в условиях влияния неблагоприятных факторов (естественные и техногенные источники аддитивных акустических шумов, многолучевое распространение, влияние неоднородностей), а также влияние априорной неопределённости параметров канала распространения акустических сигналов на эффективность их согласованного приёма в мелководных районах прибрежных зон.

Использование методов адаптивной обработки сигналов и адаптивного моделирования параметров канала связи в задачах согласованного приёма позволяет существенно повысить эффективность передачи данных, однако требует некоторых вычислительных операций и алгоритмической работы системы. Современная техническая база электронных компонентов позволяет реализовать такие системы с небольшими капиталовложениями но со значительными возможностями реализации. Разработка методик реализации действующих систем и алгоритмов их работы способствует построению эффективно работающих систем и позволяет внести вклад в развитие информационной гидроакустики.

1. ПАРАМЕТРЫ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО КАНАЛА СВЯЗИ

Согласно современным представлениям о факторах, ограничивающих эффективность гидроакустических систем в реальных условиях, к числу наиболее существенных относятся маскирующие влияние помех, воздействующих на приёмную антенну. К естественным источникам акустических помех относятся такие процессы как

взаимодействие ветра с водной поверхностью, прибой, обтекание струями поверхности дна и др. препятствий, жизнедеятельность обитателей моря и пр. К техногенным помехам относятся шумы судоходства, портов и др. Спектрально – корреляционные характеристики полезных сигналов, как правило, несколько отличаются от соответствующих характеристик помех, что позволяет их селективировать при помощи согласованной фильтрации.

Согласованный фильтр с точки зрения оптимального приёма [1] представляет собой пассивный четырёхполюсник с передаточной характеристикой:

$$M(jw) = (S(jw))^* / G(w), \quad (1)$$

где: $(S(jw))^*$ - комплексно сопряженный спектр полезного сигнала;

$G(w)$ - энергетический спектр помехи в точке приёма

Применение согласованного фильтра позволяет максимально повысить величину отношения мощностей сигнала и помехи на его выходе, поэтому при проектировании гидроакустических систем, как правило, стремятся как можно точнее реализовать режим согласованного приёма. При существенной простоте идеи о согласованной фильтрации, практическая реализация удаётся лишь приближенно.

Для того чтобы приёмный тракт гидроакустической системы обладал свойством согласованного фильтра необходимо, чтобы его передаточная функция описывалась выражением (1). Последнее возможно, лишь, в случае если точно известны и числитель и знаменатель. Параметры акустических помех, как правило, медленно меняющиеся функции времени, что позволяет их регистрировать за время паузы между последующими циклами приёма полезного сигнала и осуществлять их компенсацию. В условиях мелкого моря распространение полезного сигнала является многолучевым, и число лучей зависит от поля скорости звука на трассе источник – приёмник [2]. При многолучевом распространении звуковой сигнал проходя по различным траекториям попадает в точку приёма с различной степенью запаздывания (Рис. 1), что ухудшает условия согласованного приёма.

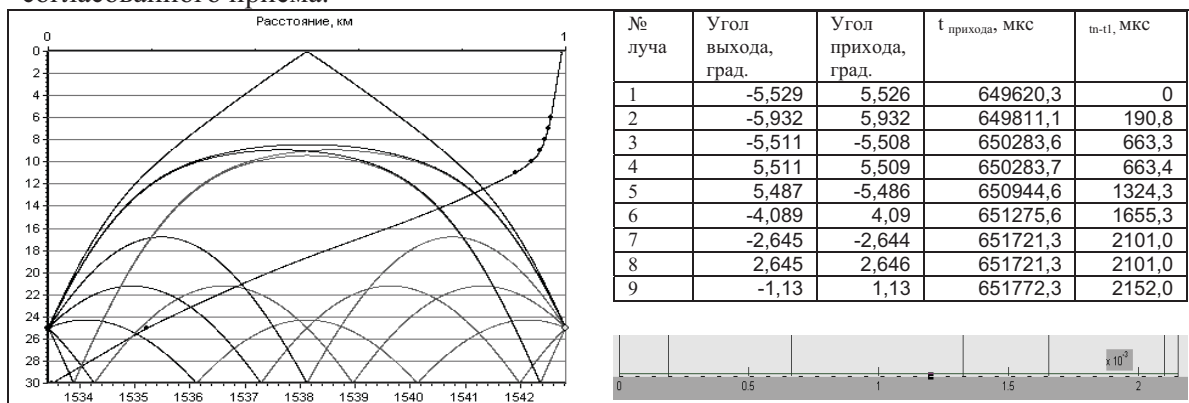


Рис.1

Так для частного случая показанного на рис.1 транспортное запаздывание первого приходящего луча составляет порядка 667 мс, а время многолучёвости из 9 разрешенных лучей составляет порядка 2,1 мс для расстояния в один километр. Полученные данные можно использовать для построения модели гидроакустического канала связи.

Исходя из рассмотренных выше факторов, влияющих на прохождение сигнала в гидроакустической среде, можно представить общую модель гидроакустического канала

связи Рис.2 в котором учитывается влияние аддитивных и мультипликативных помех и эффекта многолучёвости.

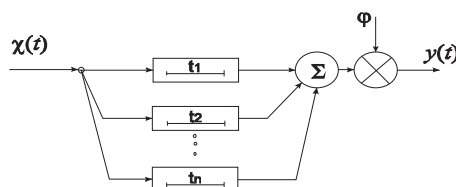


Рис. 2

2. СИНТЕЗ СИСТЕМЫ СВЯЗИ С ПРИМЕНЕНИЕМ АДАПТИВНОГО ФИЛЬТРА

Задача, связанная с многолучевым распространением и состоящая в том, что переданный сигнал поступает в приемник несколькими путями, тем самым создавая помеху в виде эха, которая показана на рис. 1, требует особого подхода в реализации системы согласованного приёма. Для её решения применим метод широкополосной передачи двоичных сигналов по многолучевому каналу с высоким уровнем шумов.

В широкополосной связи каждый вид информации, будь то нуль или единица, передается в виде последовательности закодированных символов. При этом единица может быть представлена конкретной последовательностью, например длиной 16 бита. Тогда нуль представляется другой последовательностью длиной 16 бита. Приемник находит корреляционные функции последовательностей и, в зависимости от максимумов этих функций, декодирует последовательности в единицы или нули. Кодовые последовательности единицы и нуля являются псевдослучайными и строятся таким образом, чтобы они были ортогональными и каждая имела автокорреляционные функции с максимальным значением при нулевом запаздывании и близким к нулю в остальных случаях. Такими свойствами обладают последовательности максимальной длины, которые широко используются для решения задач связи [3]. Эти последовательности имеют очень широкий спектр даже при регулярном правиле чередования нулей и единиц. Это позволяет удовлетворять условие оптимального приёма выраженного в формуле (1). Системы такого вида являются очень эффективными при наличии мощной широкополосной аддитивной помехи, а также при мультипликативных помехах.

Однако на широкополосную систему рассматриваемого вида оказывает отрицательное воздействие многолучевость. В результате многолучевого распространения в приемнике отклики от различных лучей линейно суммируются, что приводит к искажениям. Совместное использование адаптивных и широкополосных методов фильтрации позволяет разделять лучи, т. е. по существу исключить влияние многолучевости.

Проектирование ЦФ в представлении большинства разработчиков прочно ассоциируется с процедурой синтеза структуры ЦФ частотной селекции, причем наиболее простой его разновидности, предназначенной для выделения (подавления) одной априорно заданной полосы частот. Все остальные разновидности ЦФ - многокаскадные структуры с прореживанием по времени и по частоте, фильтры Винера и Калмана, адаптивные - считаются своего рода экзотикой. Некоторое время назад такое мнение могло бы быть оправдано, так как на адаптивную фильтрацию необходимо затратить некоторые вычислительные ресурсы, что являлось дорогостоящим либо нереализуемым из-за отсутствия таковых. Однако современная промышленность

выпускает широкий спектр контролеров и микропроцессорных систем, которые позволяют решать практически любые задачи обработки сигналов.

Сущность адаптивной цифровой фильтрации [4] состоит в следующем: для обработки входного сигнала используется обычный КИХ-фильтр, импульсная характеристика которого не постоянна, как в цифровых фильтрах частотной селекции, она также не изменяется по априорно заданному закону, как в цифровом фильтре Калмана. Импульсная характеристика корректируется с поступлением каждого нового отсчета таким образом, чтобы свести к минимуму среднеквадратическую ошибку фильтрации на данном шаге. Под адаптивным алгоритмом понимается рекуррентная процедура пересчета вектора отсчетов импульсной характеристики на предыдущем шаге в вектор "новых" отсчетов импульсной характеристики для следующего шага. Общая структура адаптивного фильтра показана на рис. 3. Входной дискретный сигнал $x(k)$ обрабатывается дискретным фильтром, в результате чего получается выходной сигнал $y(k)$, этот выходной сигнал сравнивается с образцовым сигналом $d(k)$ и разность между ними образует сигнал ошибки $e(k)$.

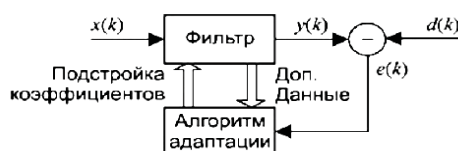


Рис.3

На рис. 4 приведена блок-схема широкополосной системы связи, с применением адаптивного фильтра, функционирующей в сложном зашумлённом канале связи с многолучевостью.

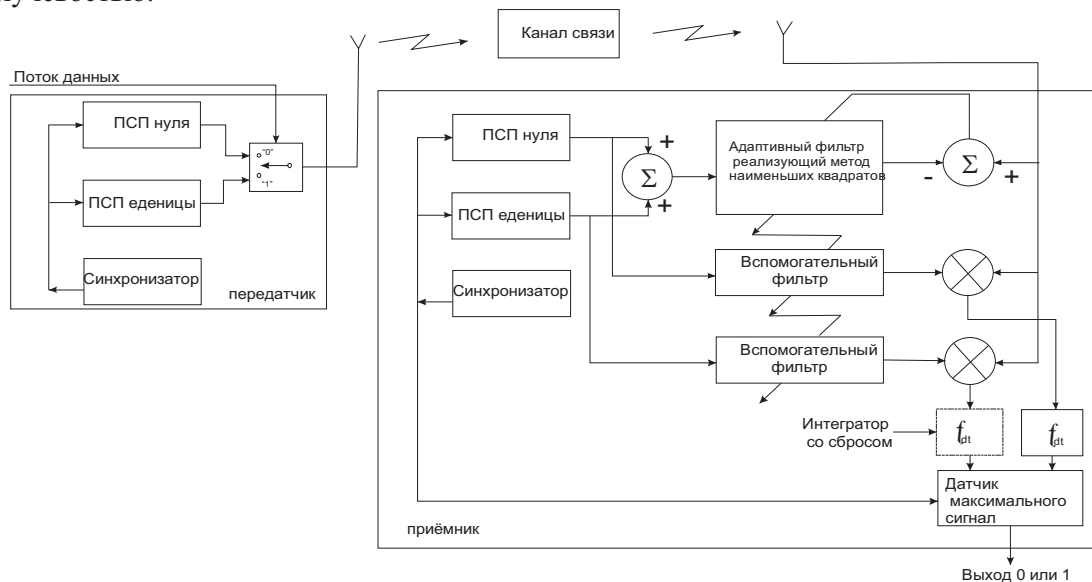


Рис.4

Данная схема работает следующим образом, в передающей части в соответствии с передаваемой информацией передаётся псевдослучайная последовательность единицы либо нуля и формируется информационный сигнал. Последовательности, как единицы,

так и нуля формируются одновременно, синхронизируясь при помощи устройства синхронизации, и повторяются в соответствии с информационной последовательностью. Коммутатор обеспечивает передачу последовательностей от начала до конца.

С учётом задержки на приёмник поступает этот же сигнал, смешанный с аддитивным шумом канала. Устройство синхронизации приёмника формирует отсчёты с той же скоростью что и передающего, однако импульсы сдвинуты по фазе из-за задержки в канале. В приёмнике вычисляется взаимокорреляционная функции последовательностей нуля и единицы с принятой зашумлённой последовательностью и при правильной синхронизации на выходе одного из корреляторов формируется максимальное значение. Так как величина задержки в канале неизвестна, фазу устройства синхронизации можно постепенно менять, добиваясь максимального отклика на корреляторах. Решение о принятом сигнале принимается по наибольшему отклику одного из двух корреляторов.

Для борьбы с эффектом многолучевого распространения, который может привносить межсимвольную интерференцию, применяется адаптивный фильтр с применением метода наименьших квадратов, который моделирует и постоянно приспособливает модель многолучевого канала. Адаптация фильтра осуществляется по критерию максимума СКО, которая представляет собой разность между сигналом на выходе канала и адаптивной моделью [5]. Другими словами адаптивный фильтр формирует на выходе сигнал максимально приближённый к тому, который поступает на вход приёмника.

Основным требованием к системе является то, что длительность псевдопоследовательности должна быть больше по времени эффекта многолучевости, а постоянная времени адаптивного фильтра должна быть, по крайней мере, не меньше временного интервала многолучевости. Для канала с высоким уровнем шумов процесс адаптации должен быть медленным. При этом он наиболее эффективен, если канал стационарен или не стационарен с медленно меняющимися параметрами.

3. ПЕРСПЕКТИВЫ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ СВЯЗИ НА СОВРЕМЕННОЙ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЕ

Практическая реализация в пакете визуального моделирования динамических систем Simulink системы математических вычислений MatLab модели адаптивной широкополосной системы передачи данных показала её устойчивую работу и хорошую эффективность при высоком уровне шума и многолучевом распространении сигнала. Также системы показала её хорошую работу в условиях сезонной изменчивости гидрологии так и в условиях суточной, которые в свою очередь моделировались с переносом реальных параметров транспортных запаздываний лучей и их количества при различных изменениях гидрологии.

Получение в ходе моделирования результаты и алгоритмы работы системы позволяют реализовать её на современной элементной базе. К примеру, задачи возложенные на систему могут реализовать процессоры цифровой обработки сигналов, такие как TIGER, SHARK фирмы Analog Devices; TMS320C – Texas Instruments . Показатели производительности некоторых из них представлены в Табл.1

Табл.1

	TMS320C6701-166 МГц		TMS320C6416-600 МГц	
	При передаче данных	Без передачи данных	При передаче данных	Без передачи данных
Корреляционная функция (1024 x 1024)	27 мс	27 мс	1,7 мс	1,7 мс
БПФ 1024 комплексных точки	160 мкс	160 мкс	11 мкс	11 мкс
FIR-фильтр с 35 отводами	393 мкс	393 мкс	25,7 мкс	25,7 мкс

ВЫВОДЫ

Показано, что применение методов адаптации позволяет проектировать гидроакустические системы эффективного приёма информации независимо от сезонных и географических особенностей распространения акустических сигналов. При компьютерном моделировании показана работоспособность системы при многолучевом распространении сигнала с медленно меняющимися параметрами при наличии шумов.

Рассмотренные в работе вопросы способствуют построению эффективно работающих систем обладающих высокой помехозащищённостью, которые с высокой вероятностью исключают ложный приём и показывают хорошую работу устройств в условиях отношения сигнал/шум по входу значительно меньше единицы. Рассмотрены подходы технической реализации систем гидроакустической связи и передачи данных с применением современной технической и элементной базы для обеспечения неконтактных методов наблюдения за водной средой и дистанционного акустического наблюдения с более широкими возможностями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г.Дженкинс, Д. Ваттс. Спектральный анализ и его приложения. – М.: Мир, 1971 – 317 с.
2. И.Б. Андреева. Физические основы распространения звука в океане. – Л.: Гидрометеоиздат, 1975. – 188 с.
3. Б. Склар. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. – М.: Вильямс, 2003. – 1104 с.
4. Адаптивные фильтры: Пер. с англ. /Под ред. К.Ф.Н. Коузена и П.М. Гранта. - М.: Мир, 1988. – 392 с.
5. Л.М. Гольденберг и др. Цифровая обработка сигналов. Справочник. – М.: Радио и связь, 1985 – 312 с.