

## Исследование способов передачи видеоданных по гидроакустическому каналу связи

Д.А. Востриков, В.Н. Скакунов

Волгоградский государственный технический университет, Волгоград

Исторически сложилось так, что для передачи цифрового видео, локальной навигации и ориентирования в водной (океанической) среде используются не электромагнитные волны, как в воздушной среде, а акустические - распространяющиеся в толще воды на большие расстояния, по причине сильного затухания электромагнитных волн в соленой морской воде. То есть основным каналом связи под водой стал гидроакустический канал. Однако, законы распространения звука в водной среде весьма сложны. Скорость звука существенно меняется как по вертикали (изменение температуры, солёности и давления), так и по горизонтали (фронтальные зоны, циклонические вихри, линзы, течения).

Наиболее важная акустическая характеристика океанической среды - скорость звука, вертикальная и горизонтальная изменчивости которой в основном определяют характер распространения звука в данном районе. Максимальные относительные градиенты скорости звука по вертикали на три порядка превышают максимальные относительные горизонтальные градиенты. Скорость звука в океане меняется в пределах 1450 - 1540 м/с. Значение скорости зависит в основном от температуры, солёности, давления (глубины). Так, повышение температуры воды на 1<sup>0</sup>С увеличивает скорость звука на (2 - 4) м/с, повышение солёности на 1‰ примерно на 1 м/с, а повышение давления на 1 атм. примерно на 0,2 м/с. В тоже время, вертикальное изменение температуры до глубин в нескольких сотен метров обычно достигает (10-20) <sup>0</sup>С, а солёность в океане близка к 35‰, меняется слабо и, как правило, лишь в приповерхностном слое. Поэтому вертикальный профиль скорости звука в верхних слоях океана в основном повторяет вертикальный профиль температуры [1].

Диапазон колебаний гидроакустических волн чрезвычайно велик и простирается от инфразвуковых (единицы герц) до ультразвуковых колебаний (частотой в десятки и сотни килогерц).

В гидроакустическом канале происходит значительное затухание энергии звуковых колебаний. Это особенно заметно на высоких частотах. Вместе с тем за счет генерирования больших мощностей (до мегаватт), а также использования гидрологических особенностей океана (подводный звуковой канал, например) при использовании современных гидроакустических средств удается достичь дальности действия акустической связи в сотни и тысячи километров [1].

Гидроакустический канал связи можно охарактеризовать, как канал, обладающий следующими характеристиками:

- 1) большие доплеровские смещения сигнала даже при небольших скоростях движения;
- 2) значительные доплеровские расширения частотной полосы сигнала (из-за суммирования лучей с неодинаковыми доплеровскими смещениями);
- 3) сильно ограниченную полосу частот, пригодную для связи на дальностях;
- 4) продолжительную реверберацию;
- 5) узкую полосу частотной когерентности;
- 6) короткое время когерентности канала связи;
- 7) сильную рефракцию сигнала, сопровождаемую рассеиванием на поглощающих границах со случайными характеристиками шероховатости.

Краткое перечисление факторов, влияющих на распространение акустических волн под водой, характеризует сложность процесса передачи и восстановления гидроакустических сигналов. Тем не менее, на сегодняшний день акустика представляет собой основной инструмент дистанционного исследования океана, в частности, основное средство передачи информации между подводными абонентами, как при аналоговой, так и при цифровой связи:

1) тепловой шум, обусловленный молекулярным движением в среде, особенно сказывающийся на высоких частотах (выше 50 кГц) в глубокой воде;

2) шум поверхности моря, связанный с волнением. Он является доминирующим источником собственных шумов в открытом глубоком море. Уровень шума зависит от состояния моря. Частотный диапазон простирается от 100 Гц до 50 кГц;

3) биологические шумы, производимые щелкающими креветками и другими морскими животными, скапливающимися в большом количестве и издающими звуки значительной интенсивности;

4) шумы технического происхождения, в том числе от далеких судов, от промышленных источников и от близлежащих шумных гаваней, часто являются основными источниками помех на частотах ниже 1 кГц;

5) шум дождя и близкие штормы;

6) береговой шум прибоя, шуршание песка и гальки береговых пляжей;

7) шумы течений, обусловленные потоками, протекающими над скалами на дне, и изменениями гидростатического давления, вызываемыми волнами;

8) шумы, производимые землетрясениями, вулканами, микросейсмами и отдаленными штормами.

Для передачи цифрового видеосигнала от источника (видеокамера подводного абонента) через гидроакустический канал связи к получателю (видеодисплей) возникает ряд задач, которые необходимо решить. Прежде всего, необходимо выбрать алгоритм компрессии (кодирования) и декомпрессии (декодирования), при которых несжатый цифровой видеосигнал сокращается до размеров, подходящих для его передачи и хранения, а затем восстанавливается для отображения на видеодисплее [2]. Кроме того, следует разработать экспериментальную установку, где в качестве излучателя и приемника в звуковой области используются электродинамические и пьезоэлектрические излучатели и гидрофоны, а в ультразвуковой - пьезоэлектрические и магнитострикционные датчики.

Задачу компрессии (кодирования) – декомпрессии (декодирования) можно решить, используя методы сокращения информационной избыточности цифровых изображений [3]. Классификация методов приведена на рис. 1.



Рис. 1 - Классификация методов сокращения информационной избыточности цифровых изображений

Следует обратить внимание, что обратимое сжатие всегда приводит к снижению объема выходного потока информации без изменения его информативности, т.е. без потери

информационной структуры. Более того, из выходного потока, при помощи восстанавливающего алгоритма, можно получить входной. В свое время под необратимым сжатием подразумевают такое преобразование входного потока данных, при котором выходной поток, основанный на определенном формате информации, представляет достаточно похожий по внешним характеристикам на входной поток объект, однако отличается от него объемом. Степень сходства входного и выходного потоков определяется степенью соответствия некоторых свойств объектов (т.е. сжатой и несжатой информацией в соответствии с некоторым определенным форматом данных), представляемого данным потоком информации [3].

Известно, что в большинстве случаев номинальная скорость передачи данных по гидроакустическому каналу связи составляет 14-28 кбит/с. Если передавать видеоданные с подводного абонента с частотой 25 кадров/с не сжимая выходной поток, то задержка сигнала на один кадр будет очень велика, и составляет величину порядка 17 секунд. Поэтому при передаче видеоданных следует выбирать такую частоту кадрирования и метод сокращения информационной избыточности цифровых изображений, при совокупности которых время задержки сигнала будет минимальным и составлять порядка 9-10 секунд. Если использовать один из алгоритмов без потерь, то можно обеспечить коэффициент архивации изображения примерно в два раза. В то же время сжатие с потерями оперируют с коэффициентами 10-200 раз. Из представленных на рис. 1 методов сокращения информационной избыточности цифровых изображений в результате проведенных исследований был выбран фрактальный метод сжатия с потерей качества. Прямой и обратный ход (сжатие и восстановление) этого метода не эквивалентны по затратам. Прямое преобразование (сжатие) - значительно дольше, обратное преобразование (восстановление) - гораздо быстрее. Алгоритм фрактального сжатия - несимметричный алгоритм. Коэффициент симметричности (отношение времени архивации ко времени разархивации) колеблется в пределах 1000-10000.

К достоинствам фрактального метода можно отнести:

- 1) высокие коэффициенты сжатия;
- 2) высокую скорость обратного преобразования;
- 3) возможность дальнейшего структурного анализа изображения.

При этом фрактальный метод обладает следующими недостатками:

- 1) зависимостью результатов работы метода от принципов отбора базовых элементов и доменов.
- 2) коэффициент сжатия зависит от повторяемости базовых элементов.

В качестве экспериментальной установки для исследования передачи цифрового видеосигнала в гидроакустическом измерительном бассейне предлагается использовать конструкцию, приведенную на рис. 2.

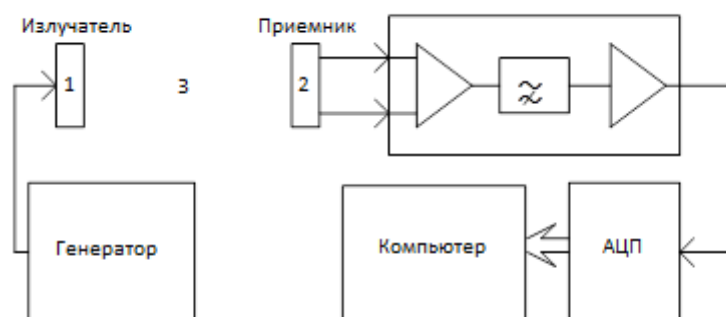


Рис. 2—Конструкция установки для передачи цифрового видеосигнала: 1 - излучающий пьезоэлемент, 2 – приемный пьезоэлемент, 3 – водная среда.

Для задач передачи видеосигнала необходимо устройство, с помощью которого можно было бы получить колебания от генератора и излучающего пьезоэлемента и иметь возможность их преобразовать в выходные данные канала связи. Помимо генератора одним из основных элементов

такой системы должен быть аналого-цифровой преобразователь (АЦП), преобразующий и передающий данные в компьютер для обработки видеосигнала. Ввиду специфики гидроакустического канала связи АЦП должен иметь возможность оцифровывать сигналы с частотой до 100 кГц и иметь разрядность 16 бит.

Функции генератора сигналов могут быть реализованы на микроконтроллерах, имеющих достаточные вычислительные ресурсы и встроенные цифро-аналоговые и аналого-цифровые преобразователи. По многим параметрам этим требованиям отвечают, например, микроконтроллеры семейства ADuC8XX компании Analog Devices. В частности, контроллер ADuC845 содержит процессорное ядро i8052, два 10-канальных 24-разрядных сигма-дельта АЦП, 12-разрядный ЦАП и 62 килобайта FLASH памяти. Контроллеры семейства ADuC7XX, построенные на основе 32-разрядных процессорных ядер ARM7TDMIc RISC-архитектурой имеют гораздо большую производительность, но уступают семейству ADuC8XX по точности преобразования информации – многоканальные 12-разрядные ЦАП и АЦП. Близкие значения основных параметров встроенных АЦП и ЦАП имеют также микроконтроллеры семейств MSP430 и TMS320 компании TI.

При необходимости для формирования сигналов произвольной формы и заданной частоты могут использоваться специализированные контроллеры. Высокие характеристики обеспечивают контроллеры AD9850 компании Analog Devices. Работа генератора, в этом случае, основана на методе прямого цифрового синтеза (DDS), позволяющего генерировать цифровым способом множество частот из одного источника опорной частоты. Главным преимуществом этого метода является быстрая и точная регулировка выходной частоты и фазы с высокой разрешающей способностью.

Тем не менее, с целью упрощения конструкции экспериментальной установки при сохранении возможности относительно простых способов регулировки амплитудных, частотно-фазовых характеристик элементов измерительной части экспериментальной установки были выбраны схемы преобразователей информации и корректирующих цепей, выполненных на отдельных интегральных схемах и дискретных электронных компонентах.

На рис.2 показано, что двухканальный быстродействующий 16-разрядный АЦП с кэш-памятью (далее просто АЦП) служит для оцифровки и ввода в компьютер аналоговых сигналов в полосе частот от 0 до 125 кГц и амплитудой до 2.5 В. Взаимодействие схемы с компьютером осуществляется через последовательную шину (USB-порт). Структурная схема АЦП представлена на рис. 3.

Условные обозначения, принятые на рис. 3: ТГ - тактовый генератор, К- коммутатор сигналов управления, БС – блок счетчиков адреса, ОЗУ – кэш память, БФ – блок формирования и согласования сигналов, ВБ – выходные буферные регистры, АЦП1, АЦП2 – аналого-цифровые преобразователи со схемой обвязки.

АЦП может работать в двух режимах: в режиме записи оцифрованного сигнала в кэш-память и в режиме чтения данных из кэш-памяти и передачи их в компьютер. Генератор ТГ вырабатывает тактовые импульсы малой скважности с возможностью изменения частоты от 133.3 до 250.0 кГц, которые поступают на схему коммутации, задающей режимы работы схемы и управляемой с USB-порта через входные формирователи импульсов (блок формирователей – БФ). Тактовые импульсы в режиме записи поступают непосредственно в блок счета адреса. В режиме чтения тактовый генератор выключен, а счетчики блока счета адреса тактируются сигналами управления с USB-портом компьютера. В блоке БС должна быть предусмотрена регулировка ширины временного окна оцифровки сигнала, которое может принимать следующие значения: 256, 512, 1024, 2048, 4096, 8192, 16384 или 32768 точек.

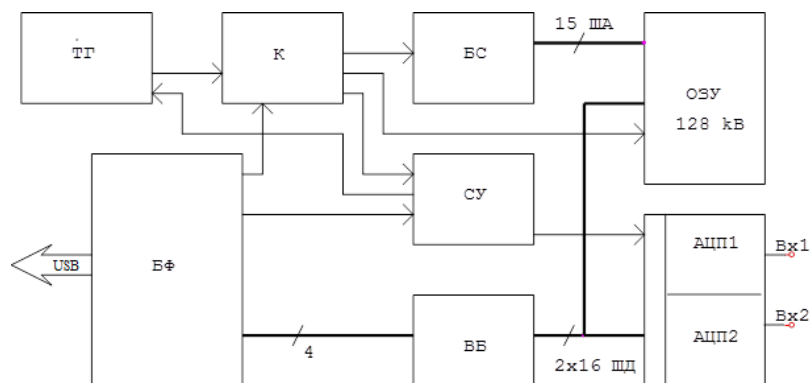


Рис. 3 – Структурная схема двухканального 16-разрядного быстродействующего АЦП с кэш-памятью.

Принцип работы устройства. Схема управления (СУ) предназначена для формирования сигналов непосредственно для двух микросхем АЦП. На блок АЦП подается принимаемые аналоговые сигналы и сигналы управления с блока СУ. Выходные данные АЦП записываются в ОЗУ (режим записи). В схеме используется ОЗУ емкостью 128 кбайт, по 32768 16-разрядных слов на канал. Сигналы записи /чтения формируются в блоке коммутации. В режиме чтения данные из ОЗУ через выходные буфера (ВБ) поступают в USB-порт компьютера.

Для проверки основных режимов работы устройства были разработаны макеты генератора сигналов и измерительной части системы, созданы программные средства поддержки обмена данными по USB-порту, цифровой обработки сигналов и пользовательский интерфейс.

## Литература

1. Урик Р. Д., Основы гидроакустики, пер. с англ., Л., 1978
  2. Тропченко А.Ю., Тропченко А.А. Методы сжатия изображений, аудиосигналов и видео: Учебное пособие – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 108 с.
- 3KebkalA.G.Data-linkProtocolforUnderwaterAcousticNetworks [Электронный ресурс]: IEEEConferenceProceedingsOCEANS 2005 Europe / A.G. Kebkal, K.G. Kebkal, M. Komar – 80 Min / 700 MB. – Publisher: Pis-cataway, NJ, USA: IEEEOperationsCentre, 2005. MTS/IEEE Proceedings OCEANS 2005 Europe, Brest, France, 20-23 June 2005, "Today's Technology for a sustain-able future"