

Раздел III. Защита телекоммуникаций

УДК 534.2:533

И.А. Кириченко, П.П. Пивнев, И.Б. Старченко

К ВОПРОСУ ОБ ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПО ВОЛНОВОДНОМУ КАНАЛУ В МОРСКОЙ СРЕДЕ С ДИСПЕРСИЕЙ*

Рассмотрены вопросы построения гидроакустических систем связи для работы в естественных волноводах и морских средах с дисперсией. Выполнено моделирование процесса нелинейного взаимодействия многокомпонентного сигнала в средах с физической дисперсией. Для обеспечения безопасности передачи данных предложено использовать в качестве источника хаотический генератор.

Акустический волновод; физическая дисперсия; взаимодействие волн; хаотический генератор.

I.A. Kirichenko, P.P. Pivnev, I.B. Starchenko

TO THE QUESTION OF DATA TRANSMISSION SECURITY ON WAVEGUIDE IN THE SEA MEDIUM WITH DISPERSION

The questions of design of hydroacoustical communication systems for operation in natural waveguides and sea mediums with dispersion were considered in the paper. Simulation of the process of nonlinear interaction of multicomponent signal in the mediums with physical dispersion was conducted. The chaotic generator was suggested to use as a source for providing of data transmission security.

Acoustical waveguide; physical dispersion; wave's interaction; chaotic generator

Системы гидроакустической связи имеют очень большое значение при решении задач управления, взаимодействия и т.д. К ним предъявляется ряд требований: обеспечение заданной дальности при фиксированной надежности связи и пропускной способности, обеспечение скрытности, секретности, оперативности вхождения в связь. Эффективность систем связи зависит прежде всего от выбора видов сигналов, используемых для передачи информации, способа кодирования, характеристик канала передачи информации и параметров гидроакустических средств связи [1].

Канал передачи информации в гидроакустике является специфическим и определяет основные информационные параметры – скорость передачи информации и пропускную способность канала. Систему передачи информации (рис. 1) в общем случае можно представить как множество принятых сообщений $\{v\}$, которое связано с множеством переданных сообщений $\{u\}$ посредством операторов преобразования в кодирующем устройстве T_{code} , среде T_{med} и приемном устройстве T_{deco}

$$\{v\} = T_{deco} \left\{ T_{med} \left\{ T_{code} \{u\} \right\} \right\}$$

* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (госконтракт № 16.740.11.0327).

Подводная коммуникация имеет многочисленные применения для исследователей, морских коммерческих операторов и организаций защиты. Типичные протоколы организации сети, предназначенные для электромагнитных беспроводных коммуникаций, не будут хорошо работать в подводных акустических сетях из-за различий в характеристиках электромагнитного и акустического каналов. Поскольку звуковые волны намного медленнее, чем электромагнитные волны, время задержки в связи много больше. Также электромагнитные волны не могут распространяться на длинные расстояния в морской воде, поэтому акустические методы обеспечивает самый очевидный выбор канала для подводных коммуникаций.

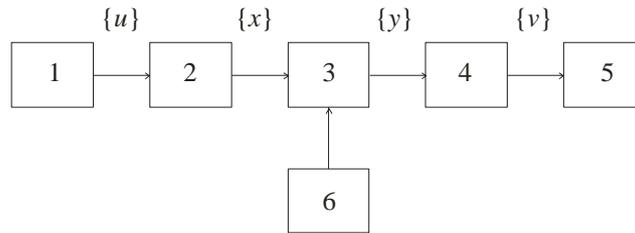


Рис. 1. Структура гидроакустической системы передачи информации:
 1 – источник сообщения; 2 – кодирующее устройство; 3 – гидроакустический канал; 4 – декодирующее устройство; 5 – получатель сообщений;
 6 – источник помех

Типичные протоколы организации сети, предназначенные для электромагнитных беспроводных коммуникаций, не будут хорошо работать в подводных акустических сетях из-за различий в характеристиках электромагнитного и акустического канала. Хотя акустические волны эффективно использовались для коммуникаций «точка–точка» в вертикальных глубоководных каналах, они имеют ограниченное применение на мелководье. Влияние нестационарного многолучевого распространения и негауссовского шума являются двумя главными факторами, которые ограничивают акустические коммуникации в мелкой воде. Нестационарное многолучевое распространение увеличивает межсимвольную интерференцию и вызывает частотно-зависимое замирание (фейдинг), таким образом, ограничивая скорость передачи данных. Большинство беспроводных протоколов связи разработано для аддитивного белого гауссовского шума. Применение таких протоколов в мелкой воде, где шумовые характеристики значительно отличаются, может быть неоптимальным. Из-за многолучевого распространения и шумовых характеристик, упомянутых выше, эффективные скорости передачи данных снижаются и потеря пакетов также много выше.

Для решения задачи эффективного и безопасного, с точки зрения сохранности информации, использования гидроакустического канала в данной работе предлагается рассмотреть проблему с двух сторон. Во-первых, с точки зрения перспектив использования нелинейного взаимодействия акустических волн (параметрических антенн) в волноводах, во-вторых, предложить для использования в качестве источника сообщения (рис. 1) генератор хаотических сигналов.

Для реализации технических устройств, использующих распространение акустических волн в волноводах с дисперсией, необходимо исследовать характеристики взаимодействия волн в круглом волноводе (трубе). Рассмотрим возможность уменьшения влияния дисперсии на результат взаимодействия акустических волн путем использования многокомпонентных сигналов и задержек взаимодействующих волн в многокомпонентных сигналах.

Рассмотрим случай взаимодействия между компонентами 10-компонентного сигнала накачки в круглом волноводе с акустически жесткими стенками. Зависимость фазовой скорости звука от частоты для круглого волновода с акустически жесткими стенками находится по формуле [2]

$$c(f) = c_0 \left[1 - \left(\frac{2\pi f_{кр}}{2\pi f} \right)^2 \right]^{-1/2},$$

где $f_{кр}$ – критическая частота нормальной волны $\left(f_{кр} = \frac{\alpha_{01} c_0}{d} \right)$; d – диаметр волновода; c_0 – скорость звука в среде; $\alpha_{01} \approx 1,21$.

В волноводе распространяющиеся волны не испытывают дифракционной расходимости. Следовательно, будем рассматривать задачу взаимодействия волн в волноводе для недифрагирующих гауссовых пучков.

В этом случае осевое распределение амплитуды звукового давления m -й компоненты волны разностной частоты (ВРЧ) находится по формуле [3]

$$P_m = \sum_{k=1}^{n-m} i \frac{\varepsilon K_m}{2c^2 \rho} P_k P_{k+m} \int_0^z \frac{\exp(-\alpha z(1 - i\Delta D_m))}{\left(1 - i \frac{z-y}{L_{dm}} \right)} dy,$$

где n – количество компонент; m – номер компоненты сигнала разностной частоты ($m_{max}=n-1$); P_k, P_{k+m} – амплитуды взаимодействующих волн; ε – нелинейный параметр; $L_{dm} = \frac{a^2 m \Omega}{4c_0}$ – длина зоны дифракции m -й компоненты ВРЧ.

Вычисление характеристик сигнала ВРЧ можно производить, используя выражение [3]

$$P_- = \sum_{m=1}^{n-m} P_m.$$

В зависимости от размеров трубы и значений частот взаимодействующих волн, возможно несколько случаев расположения рабочих частот относительно диапазона частот с ярко выраженной дисперсионной характеристикой.

Рассмотрим два случая:

- 1) частоты накачки лежат в области малой дисперсии, а частоты ВРЧ в области сильной дисперсии;
- 2) частоты накачки лежат в области сильной дисперсии, а частоты ВРЧ в бездисперсионной области.

Рассмотрим первый случай на примере круглого волновода с акустически жесткими стенками диаметром 1,2 м.

Зависимость фазовой скорости от частоты для этого случая приведена на рис. 2. На этом же рисунке вертикальными линиями обозначены положения компонент частот накачки и разностных частот для диапазона частот накачки 120–147 кГц и диапазона частот ВРЧ 3–27 кГц.

Видно, что для различных значений компонент ВРЧ фазовые скорости существенно различаются, а для компонент накачки фазовые скорости различаются незначительно.

Проведем анализ, как влияет положение компонент на частотной оси на характеристики генерируемого сигнала волн разностной частоты.

При анализе будем наблюдать изменение амплитуды ВРЧ от расстояния. Амплитуду выразим в относительных величинах P_n , которые равны отношению в каждой точке по расстоянию амплитуды ВРЧ в среде с дисперсией к максимальному значению амплитуды ВРЧ в среде без дисперсии, а расстояние выразим в длинах зон затухания на средней частоте волн накачки.

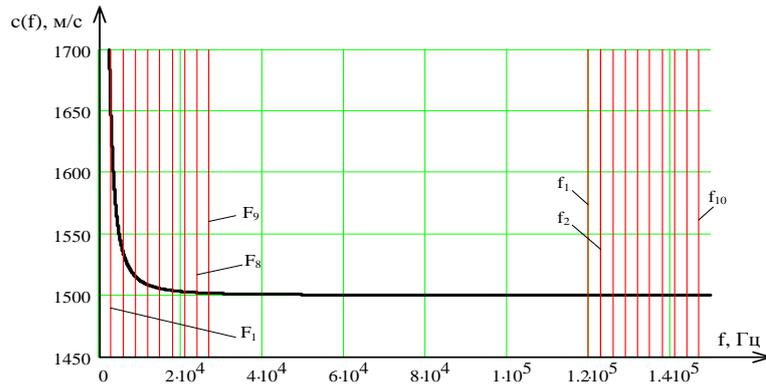


Рис. 2. Зависимость фазовой скорости от частоты для волновода

На рис. 3 представлено осевое распределение ВРЧ, полученное при взаимодействии двух первых компонент сигнала накачки, и осевое распределение ВРЧ для двух первых компонент сигнала накачки без дисперсии.

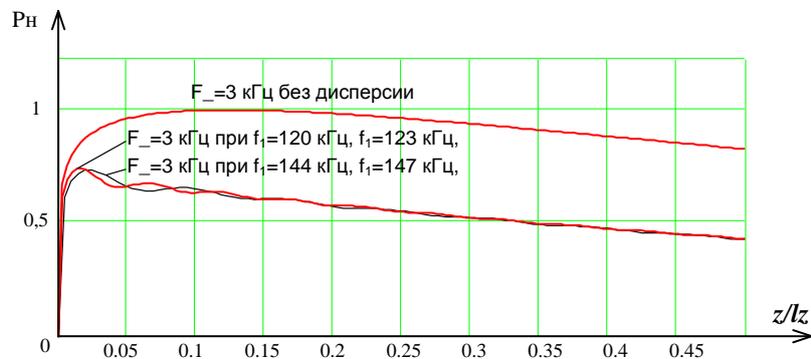


Рис. 3. Осевые распределения ВРЧ с частотой 3 кГц

На представленных на рис. 3 осевых распределениях амплитуд звуковых давлений ВРЧ видны осцилляции амплитуд звуковых давлений ВРЧ, которые возникают из-за разности в фазовых скоростях волн накачки и волны разностной частоты. Физически это означает, что перекачка энергии из волн накачки в волны разностной частоты уменьшается из-за разности скоростей распространения, т.е. накопление сигнала ВРЧ (сложение генерируемых в каждой точке пространства волн в фазе) происходит медленнее так как фазы генерируемых сигналов в различных точках пространства разные. Периодичность обусловлена периодичностью изменения фазы генерируемых сигналов.

Для формирования сигнала волн накачки со сложением в фазе волн разностной частоты при взаимодействии различных компонент волн накачки необходимо знать либо фазу сигнала, либо его задержку в конкретной точке относительно какой-либо компоненты.

На рис. 4 и 5 представлены задержки компонент сигнала разностной частоты и компонент сигнала накачки соответственно. Угол наклона задержек зависит от угла наклона дисперсионной кривой. Задержки между различными компонентами сигнала различны, так как зависимость фазовой скорости от частоты нелинейная.

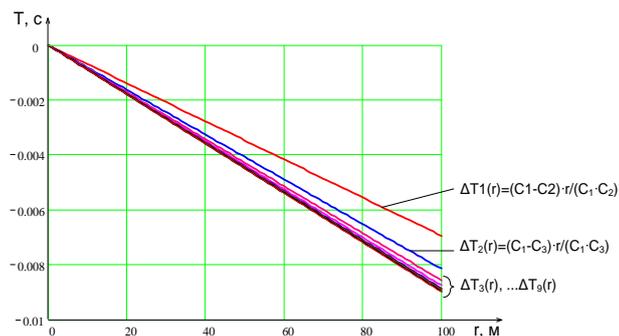


Рис. 4. Задержки компонент сигнала ВРЧ

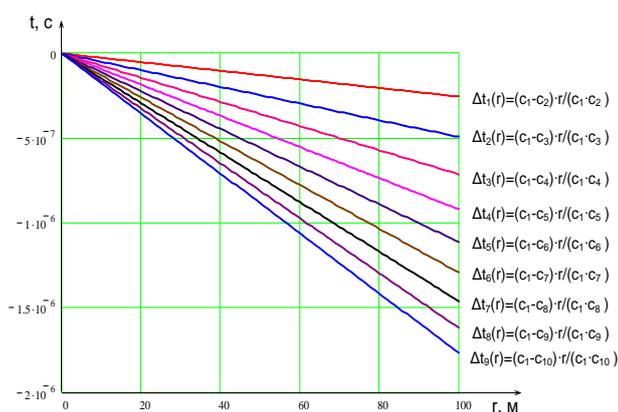


Рис. 5. Задержки компонент сигнала накачки

Длительность многокомпонентного сигнала ВРЧ в круглом волноводе в области дисперсии увеличивается из-за разности в фазовых скоростях компонент.

Таким образом, различные компоненты сигнала ВРЧ приходят в точку пространства в различное время, что приводит к изменению формы сигнала.

Если излучить многокомпонентный сигнал с такими задержками, чтобы компоненты сигнала ВРЧ начали распространяться с задержками, представленными на рис. 4, то в точке L, лежащей на оси излучения, компоненты сигнала ВРЧ «догонят» друг друга.

Так, например, в точку, лежащую на оси излучения на расстоянии 20 м от излучателя, компоненты ВРЧ придут в разное время (времена прихода показаны на рис. 6).

Теперь сформируем сигнал накачки таким образом, чтобы компоненты сигнала ВРЧ начали распространяться с задержками, представленными на рис. 4.

Компоненты такого сигнала ВРЧ придут в точку L , лежащую на расстоянии 20 м от излучателя, одновременно, т.е. произойдет максимальное сжатие сигнала ВРЧ в этой точке. Следовательно, имеется возможность управления компонентами сигнала и их результирующей.

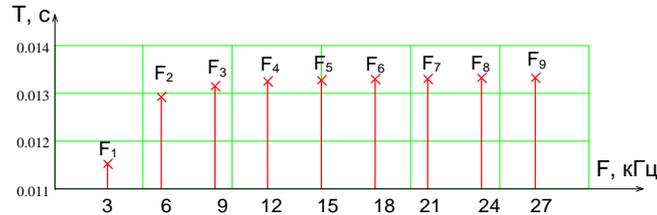


Рис. 6. Времена прихода компонент сигнала ВРЧ в точку L , лежащую на расстоянии 20 м от источника

Таким образом, можно сделать вывод, что хотя идеальные характеристики параметрической антенны в волноводе будут подобны идеальным характеристикам обычной системы, использующей такую же антенну на низких частотах, реальные характеристики параметрической антенны могут быть много лучше, чем у обычных систем, потому что параметрическая система способна к многолучевой многокомпонентной фильтрации, тогда как обычная система является однопольной.

Что касается второго аспекта проблемы, то в последние годы возник существенный интерес к эксплуатации хаоса в системах связи [4, 5]. Из-за его случайного поведения и широкополосных характеристик, хаотическая динамическая система может быть очень полезна для целей разделения. Хаос не только переносит спектр информационного сигнала, но также действует и как ключ шифрования. Таким образом, без знания типа нелинейности, на которой базируется передача (хаотическая динамика), чрезвычайно трудно для несанкционированного пользователя, знающего о передаче, получить доступ к информации. Кроме того, такие сигналы являются потенциально устойчивыми к несовершенствам канала типа многолучевого распространения или глушению.

Генераторы хаоса просты в построении как нелинейные цепи с немногими стандартными (готовыми) компонентами. Простота этих генераторов и непериодичность хаотических сигналов делает эти сигналы значительно интересными для использования в коммуникации.

Основные методы модуляции динамического хаоса с целью введения в него информационной компоненты (например, зондирующих сигналов) представлены на рис. 7.

При хаотическом маскировании (рис. 7,а) информационная компонента S аддитивно смешивается с хаотическим процессом x , при этом для целей скрытой передачи сообщения (либо скрытого лоцирования) уровень этой компоненты должен быть существенно меньшим.

Метод нелинейного подмешивания (рис. 7,б), обеспечивающий лучшую скрытность даже при значительно более высоком уровне сигнала, отличается введением информации в контур обратной связи хаотической системы. Это – основной метод модуляции, применяемый в системах телекоммуникации на хаотической несущей.

Метод переключения хаотических режимов (рис. 7,в) находит применение в системах передачи цифровой информации. При передаче логической единицы здесь в канал поступает один из хаотических процессов, а при передаче нуля – другой.

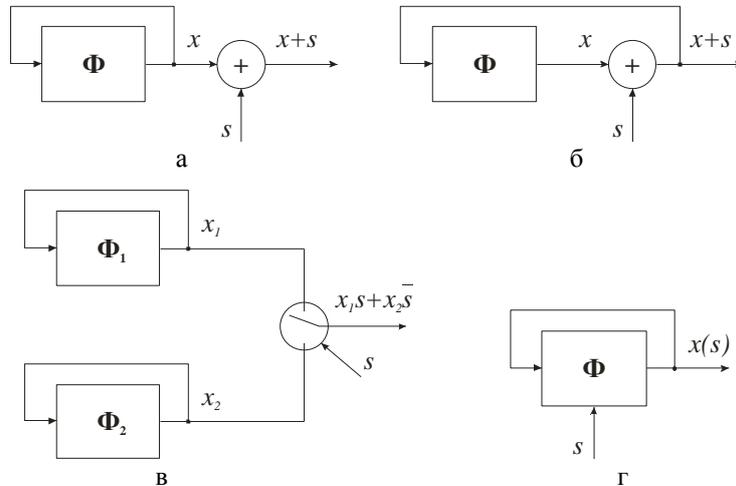


Рис. 7. Обобщенные схемы источников хаотических сигналов

Параметрическая модуляция (рис. 7,г) предполагает вариацию каких-либо параметров хаотической системы (либо их совокупности) под влиянием вводимой информации.

Отметим, что в хаотических системах, в отличие от традиционных систем связи на периодической несущей, частотный спектр передаваемого сообщения может располагаться в той же полосе частот, что и спектр несущего хаотического процесса. Любая из схем, представленных на рис. 7, может использоваться в качестве источника хаотического сигнала (рис. 1) в системе звукоподводной связи. Сочетая возможности параметрических антенн, работающих в естественных волноводах, и хаотических генераторов, можно построить эффективную с точки зрения энергетичности и безопасности передачи данных систему для обеспечения связи по акустическому каналу.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Митько В.Б., Евтютов А.П., Гуцин С.Е. Гидроакустические средства связи и наблюдения. – Л.: Судостроение, 1982.
2. Лепендин Л.Ф. Акустика. – М.: Высшая школа, 1978.
3. Воронин В.А., Тарасов С.П., Тимошенко В.И. Гидроакустические параметрические системы. – Ростов-на-Дону: Ростиздат, 2004. – 416 с.
4. Starchenko I. Chaotic Underwater Communication System Using Parametric Array // Book of Abstracts / 1st International Conference on Underwater Acoustic Measurements: Technologies and Results. IACM/FORTH. – Heraklion, Crete, 2005. – P. 151.
5. Azoul S., Burel G. Design of a chaos-based spread-spectrum communication system using dual Unscented Kalman Filters // IEEE-Communications' 2002, Bucharest, Romania.

Кириченко Игорь Алексеевич

Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: igork@fep.tti.sfedu.ru.

347922, г. Таганрог, ул. Шевченко, 2.

Тел.: 88634371795.

Пивнев Петр Петрович

E-mail: pivnev@fep.tti.sfedu.ru.

Старченко Ирина Борисовна

E-mail: star@tti.sfedu.ru.

Kirichenko Igor Alekseevitch

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: igork@fep.tti.sfedu.ru.

2, Shevchenko street., Taganrog, 347922, Russia.

Phone: +78634371795.

Pivnev Peter Petrovitch

E-mail: pivnev@fep.tti.sfedu.ru.

Starchenko Irina Borisovna

E-mail: star@tti.sfedu.ru.

УДК 681.3

Е.А. Пакулова

**КРИТЕРИИ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ОБЪЕКТА ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ
ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА
И ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ ПОДВИЖНЫХ И СТАЦИОНАРНЫХ ОБЪЕКТОВ**

Основной целью данной статьи является разработка критериев переключения объекта с одной беспроводной технологии связи на другую. Дано краткое описание каждого из критериев, определен алгоритм распределения нагрузки в сети. Определен круг используемых технологий передачи данных.

Беспроводная сеть; стандарта IEEE 802.11g; IEEE 802.16e; IEEE 802.21; UMTS; гетерогенная беспроводная сеть; система мониторинга и диспетчеризации подвижных и стационарных объектов; алгоритм вертикальной передачи данных; триггеры канального уровня модели OSI.

Е.А. Pakulova

**SWITCHING CRITERIONS IN VERTICAL HANDOVER TASKS
IN MONITORING SYSTEM OF MOBILE AND FIXED OBJECTS**

The main subject of this article is development of switching criterions from on wireless technology to another. The concise descriptions of each criterion and load distribution algorithm are given. The spectrum on wireless technologies is specified.

Wireless technology; IEEE 802.11g; IEEE 802.16e; IEEE 802.21; UMTS; heterogeneous wireless network; monitoring system of mobile and fixed objects; vertical handover algorithm; link layer triggers.

За последние годы правительства развитых стран обеспокоились вопросом безопасности движения на дорогах. Появляется все больше программ, ставящих перед собой цели увеличения уровня безопасности граждан на дорогах, уменьшения вероятности пробок на автотранспортных магистралях, контроля передвижения транспортных средств и пр. Для реализации подобных программ в конце XX в. были организованы рабочие группы Европы, США и Азии. Уже сейчас разработаны целые серии стандартов, охватывающие различные области функционирования всей транспортной системы мира. Введено основополагающее понятие интеллектуальной транспортной системы (ITS). Под ITS понимается совокупность вычислительных средств, средств связи, технологий позиционирования и автомати-