

алгоритм коррекции на основании анализа данных о расстоянии до всех опорных маяков. Серия численных экспериментов показала высокую стойкость разработанного метода к систематическим ошибкам измерений. Это говорит о том, что практическое использование второго корректирующего метода возможно без измерения и постоянной корректировки скорости звука в воде.

В настоящее время ведется работа по апробации и улучшению разработанного корректирующего алгоритма с учетом динамика движения АНПА.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Chitre M. Shahabudeen S., Stojanovic M.* Underwater Acoustic Communications and Networking: Recent Advances and Future Challenges // Marine technology society journal. – 2008. – Vol. 42, № 1. – P. 103-116.
2. *Агеев М.Д. и др.* Автономные подводные роботы. Системы и технологии / Под общей ред. М.Д. Агеева. – М.: Наука, 2005. – 400 с.
3. *Kinsey J.C., Eustice R.M. and Whitcomb L.L.* A survey of underwater vehicle navigation. In IFAC Conference of Manoeuvring and Control of Marine Craft, 2006.
4. *Myagotin A.V., Burdinskiy I.N.* A framework of an acoustic navigation network servicing multiple autonomous underwater vehicles [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.actapress.com/Abstract.aspx?paperId=4115>.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор С.В. Сай.

Отческий Семен Александрович – Институт проблем морских технологий Дальневосточного отделения РАН; e-mail: semgog@yandex.ru; 690091, г. Владивосток, ул. Суханова, 5а; тел.: 84232432416; техник.

Бурдинский Игорь Николаевич – e-mail: igor_burdinsky@mail.ru; к.т.н.; доцент.

Otcheskiy Semen Aleksandrovich – Institute of Marine Technology Problems of the Far Eastern branch of the Russian Academy of Sciences; e-mail: semgog@yandex.ru; 5a, Sukhanov street, Vladivostok, 690091, Russia; phone: +74232432416; technician.

Burdinskiy Igor Nikolayevich – e-mail: igor_burdinsky@mail.ru; cand. of eng. sc.; associate professor.

УДК 004.942; 531.761

И.В. Карабанов, И.Н. Бурдинский, А.С. Мионов, М.А. Линник

МОДЕЛЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СЛОЖНОГО ФАЗОМАНИПУЛИРОВАННОГО СИГНАЛА В ГИДРОАКУСТИЧЕСКОМ КАНАЛЕ

Целью данной работы является разработка модели распространения сложного гидроакустического фазоманипулированного сигнала в условиях мелкого моря на основе экспериментальных данных, что должно обеспечить соответствие модели реальным условиям эксплуатации. При выполнении данной работы были описаны математически и далее реализованы программно эффекты гидроакустического канала для условий мелкого моря с использованием экспериментальных данных. Математическая модель позволяет провести анализ работы различных способов обработки при обнаружении сигнала и оценки его параметров. В статье приведены результаты моделирования приема сигнала с использованием разработанной модели.

Гидроакустический канал; обработка сигналов; распространение сигнала; мелкое море; сложные фазоманипулированные сигналы.

I.V. Karabanov, I.N. Burdinskiy, A.S. Mironov, M.A. Linnik

MODEL OF SPREAD SPECTRUM PHASE-SHIFT KEYED SIGNAL PROPAGATION IN UNDERWATER ACOUSTIC CHANNEL

The purpose of this work is to develop an experimental data based model of spread spectrum phase-shift keyed signal propagation in shallow water acoustic channel, and it ensure that model of the real operating conditions. Effects of underwater acoustic channel are described and implemented in software. Developed model allows to analyze performance of signal processing algorithms and to estimate signal data. Results of signal processing modeling is presented.

Underwater channel; signal processing; signal propagation; shallow water; spread spectrum phase-shift keyed signal.

Введение. Сегодня разработка систем передачи данных по каналу не обходится без использования математического моделирования. Данный подход позволяет сократить временные и материальные затраты при проектировании устройств.

Разрабатывая модель распространения сложного фазоманипулированного сигнала в гидроакустическом канале, особое внимание следует уделить условиям мелкого моря, где проходят большинство обзорных и поисковых работ. Мелкое море характеризуется сложными акустическими условиями распространения волн, при этом параметры среды существенно изменяются со временем. Вопросу распространения волн в мелком море посвящено множество научных работ [1, 2, 3] и исследования в этом направлении остаются актуальными в виду растущих требований к качеству функционирования гидроакустических средств.

Целью данной работы является разработка модели распространения сложного гидроакустического фазоманипулированного сигнала в условиях мелкого моря на основе экспериментальных данных, что должно обеспечить соответствие реальным условиям. Предназначение разработанной модели заключается в изучении поведения различных гидроакустических систем, алгоритмов обработки сигналов и дальнейшее совершенствование гидроакустических средств.

Частотная характеристика шумов канала и профиль многолучевости были построены на основе статистической обработки данных реальных экспериментов, проводимых в условиях мелкого моря в 2010 г. в бухте Витязь залива Посьет и в 2011 г. в бухте Патрокл Уссурийского залива Приморского края.

В работе приведены результаты моделирования приема для различных многолучевых ситуаций, различающихся количеством лучей. Также моделировался прием с применением технологии расширения спектра. Рассмотрено влияние на обработку сигнала частоты дискретизации. Сделаны выводы о помехоустойчивости рассматриваемого способа обработки и дальности гидроакустических средств с его использованием.

Описание математической модели. Для описания эффекта многолучевости используется модель Райса [4, 5], поскольку она наилучшим образом подходит для гидроакустического канала, который содержит доминирующую составляющую и множество сравнительно малых микрокомпонентов на стороне приема.

В используемой модели сигнал представляется в виде квадратурных компонент $a(t)$ и $b(t)$, которые являются независимыми узкополосными гауссовыми случайными процессами с математическим ожиданием в нуле [6].

Модель Райса характеризуется наличием доминирующего компонента, его можно описать следующим выражением:

$$r_s(t) = R(t) \cdot \cos[2\pi f_c t - \Phi(t)],$$

где $R(t)$ – огибающая сигнала, $\Phi(t)$ – фазовая характеристика, f_c – несущая частота сигнала.

Огибающая сигнала и фазовая характеристика определяются выражениями:

$$R(t) = \sqrt{[S \cdot \cos(\theta) + a(t)]^2 + [S \cdot \sin(\theta) + b(t)]^2},$$

$$\Phi(t) = \arctan \left[\frac{S \cdot \sin(\theta) + a(t)}{S \cdot \cos(\theta) + b(t)} \right],$$

где S – амплитуда доминирующего компонента (луча прямой видимости), $a(t)$, и $b(t)$ – многолучевые компоненты.

Для построения функции многолучевого профиля использовались экспериментальные данные, полученные в августе 2010 г. и августе 2011 г. В эксперименте 2010 г. в бухте Витязь было всего передано 4980 сигналов. В эксперименте 2011 г. в бухте Патрокл произведено излучение 2970 сигналов, прием которых обеспечивал передвижной пункт обработки. Общее количество измерений в двух экспериментах 7950. При помощи пороговых методов выделялись отдельные лучи и измерялась их мощность. До 95 % принимаемой энергии было сконцентрировано в первых 3–5 многолучевых компонентах сигнала.

Для описания многообразной природы шума в работе применялась аддитивная модель, используемая в виду того, что в большинстве случаев помехи складываются на входе приемника с полезным сигналом [8]. Внешними мешающими помехами могут быть естественные шумы моря, а также сигналы, возникающие при работе других гидроакустических систем. Внутренними помехами являются флуктуационные шумы приемника, нестабильности питающих напряжений и параметров элементов приемника. Гидроакустический шум не является белым [9] и для его генерации используется фильтр, синтезированный на основе экспериментальных данных (равномерный спектр после фильтрации принимает форму близкую к форме спектра реальных шумов тракта передачи). Для измерения частотной характеристики шума канала использовались записи шума, общей длительностью до 130 минут. Данные подвергались статистической обработке, для каждого диапазона частот вычислялись средние значения амплитуд и их дисперсия.

Таким образом, выходной сигнал канала часто можно представить в следующем виде:

$$y(t, \lambda) = s(t, \lambda) + n(t),$$

где $s(t, \lambda)$ – принятый с искажениями полезный сигнал с параметрами λ , $n(t)$ – помеха, представляемая случайным процессом.

Модель генератора шума основана на генераторе случайных чисел с нормальным распределением. Данная структура позволяет генерировать шум заданной спектральной формы и может быть применима для различных передающих трактов.

Уровень шума чаще всего не изменяется существенно в зависимости от пространственных характеристик гидроакустического канала, важным параметром при оценке гидроакустических систем является отношение сигнал/шум (SNR). Данное отношение представляет интерес в виду уменьшения энергии сигнала в процессе распространения и соответственного снижения уровня сигнала относительно уровня шума.

На рис. 1 представлены результаты измерений мощности сигнала и шума в зависимости расстояния [10]. Средняя частота первого сигнала равна 50 кГц, средняя частота второго сигнала равна 5 кГц, при этом полосы обоих сигналов равны 10 кГц. Средняя мощность шума держалась на одном уровне и составила 90 дБ.

Из графиков видно, что потери высокочастотного сигнала куда более существенны с изменением расстояния. Можно сделать вывод, что увеличение дальности системы приема без изменения частотных характеристик возможно либо за счет увеличения мощности излучаемого сигнала, либо за счет увеличения помехоустойчивости алгоритмов приема и обеспечения приема при низких значениях отношения сигнал/шум.

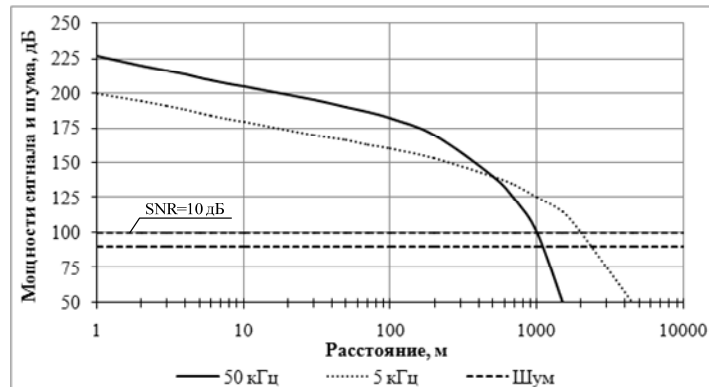


Рис. 1. Потери мощности сигнала и уровень шума в зависимости от расстояния

Оценка работы алгоритмов и систем при различных отношениях SNR, позволяет сравнивать их помехоустойчивость. А при известной мощности излучателя сигнала и уровня шума это позволяет рассчитывать дальность систем, что также было использовано в разработанной модели.

Потери энергии на распространение оценивались при помощи выражений Марша-Шулькина [3]:

$$TL = \begin{cases} 20 \log R + \alpha R + 60 - K_L, & \text{при } R < H \\ 15 \log R + \alpha R + \alpha_t \left(\frac{R}{H} - 1 \right) + 5 \log H + 60 - K_L, & \text{при } H < R < 8H \\ 10 \log R + \alpha R + \alpha_t \left(\frac{R}{H} - 1 \right) + 10 \log H + 64.5 - K_L, & R > 8H \end{cases}$$

где $H = \left[\frac{L+D}{3} \right]^{1/2}$ – ширина зоны молчания, км,

L – толщина изотермического слоя, прилегающего к поверхности, м,

D – глубина моря, м,

R – расстояние (дальность излучения), км,

α – коэффициент поглощения, дБ/км,

α_t – коэффициент затухания в мелком море, дБ,

K_L – фактор аномалии в ближнем поле, дБ.

Расчетные модели потерь на распространение дают возможность оценить дальность работы системы, при известном уровне шумов, мощности излучаемого сигнала и чувствительности приемной антенны.

Программная реализация модели. Структура разработанной модели изображена на рис. 2.

Модель передачи акустического сигнала была реализована при помощи пакета прикладных программ для решения задач технических вычислений Matlab. Достоинства Matlab – это, прежде всего, простота и скорость выполнения матричных операций, высокая оптимизация всех математических функций и наличие многочисленных пакетов программ.

Программа позволяет задавать:

- ◆ размер интервала времени излучения T_0 и положение сигнала внутри данного интервала τ_{sh} ;
- ◆ полосу частот W_N и форму спектра шума, отношение сигнал/шум SNR ;
- ◆ форму многолучевого профиля и количество лучей N_m ;
- ◆ вид генерируемого сигнала:

- ◆ генерация и выбор модулирующей последовательности с заданным числом символов N_s (Баркерровский код, M-последовательность или код Голда);
- ◆ частоту дискретизации F_d ;
- ◆ среднюю (несущую) частоту сигнала F_s ;
- ◆ длительность одного символа, как количество периодов несущей P_s ;
- ◆ амплитуда A_s и фаза генерируемого сигнала φ_s ;
- ◆ длительность сигнала L_s ;
- ◆ путь к wav-файлу для загрузки или сохранения.

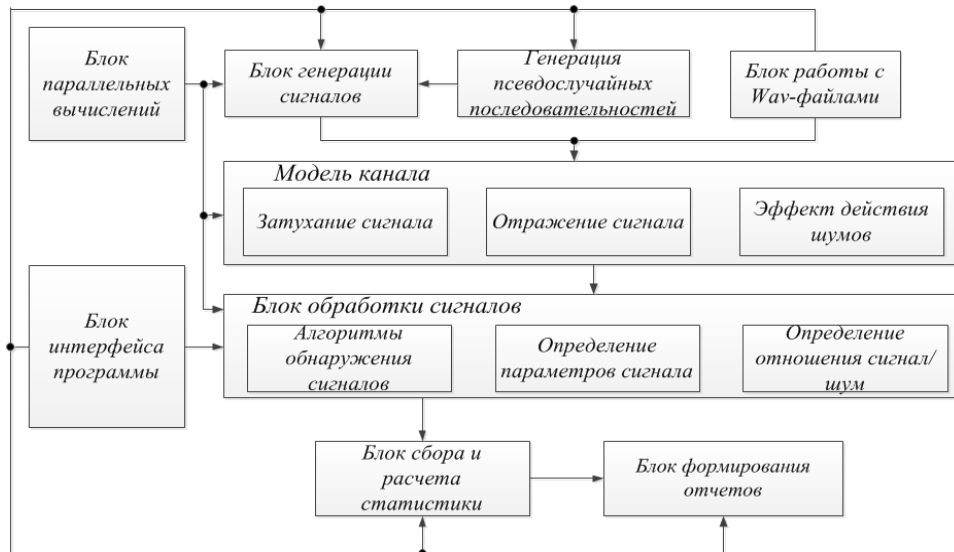


Рис. 2. Структура модели распространения и обработки сигнала

Для сокращения времени вычислений математической модели в ее структуру был добавлен блок параллельных вычислений. Данный блок позволил ускорить обработку данных за счет использования многоядерных, мультипроцессорных вычислительных машин или их сетей. Для достижения данной цели использовались такие средства, как цикл `parfor` или блок `spmd`. Данные средства предполагают предварительное открытие Matlab пула, т.е. выделение необходимого числа процессов (`Matlab workers` или `labs`) на вычислительной машине или сети.

На участок кода внутри цикла `parfor` накладывается ряд требований:

- ◆ каждая итерация цикла должна быть независимой задачей;
- ◆ порядок выполнения задач может быть произволен;
- ◆ запрет объявления новых переменных;
- ◆ нельзя использовать другой вложенный цикл `parfor` или выражение `break`, `return`.

Для того чтобы использовать технологии параллельных вычислений, был подключен модуль `Parallel Computing Toolbox` для Matlab. Для организации распределенной системы вычислений были использованы два модуля `Matlab Admin Center` и `Matlab Distributed Computing Server`. Данные технологии позволяют увеличить скорость работы вычислительных алгоритмов до N раз, где N – число вычислительных ядер. Рост производительности особенно заметен при выполнении громоздких вычислений с длительным временем выполнения.

Применение разработанной модели. Разработанная модель может быть применена для оценки влияния тех или иных факторов на обработку сигнала. Также моделирование позволяет провести анализ работы различных способов обработки при обнаружении сигнала и оценки его параметров.

Было проведено моделирование работы алгоритмов обработки сигнала. Выполнялась математическая конструкция гидроакустического шумоподобного фазоманипулированного сигнала [11], модулированного М-последовательностью с количеством символов 127. Параметры сигнала: средняя частота $f_s = 41666$, ширину спектра $\Delta f = 10$ кГц по уровню 0,1 энергетического спектра. Сигнал подвергался воздействию шума канала. Шум в модели имеет функцию распределения вероятностей амплитуды в соответствии с данными измерений реального гидроакустического канала. При этом начальная фаза принимаемого сигнала это случайная величина с равномерным законом распределения. За успешное детектирование принималось событие обнаружения сигнала в пределах длительности символа последовательности, что соответствует длине сигнала после корреляционной обработки вследствие эффекта сжатия. Симуляция проводилась для диапазона значений сигнал/шум с шагом в 1 дБ.

Для каждого метода обработки сигнала рассчитывалась вероятность успешного детектирования $p_{дет}$ при различных отношениях сигнал/шум, как количество событий успешного детектирования к полному количеству испытаний [12]. При каждом отношении сигнал/шум проводилось 273 испытания, что согласно теореме Муавра-Лапласа, с доверительной вероятностью 0,9 позволяет достаточно точно определить вероятность успешного детектирования с доверительным интервалом 0,05.

Например, моделирование позволило провести анализ технологии формирования спектра применительно к задаче оценки времени запаздывания сложных фазоманипулированных сигналов. Данная технология позволяет использовать эффективно энергию излучаемого сигнала при ограниченной полосе канала передачи. Сложный фазоманипулированный сигнал имеет бесконечный затухающий спектр, однако наибольшая часть энергии сконцентрирована в ограниченной полосе частот. Например, описанный ранее сигнал имеет ширину спектра $\Delta f = 10$ кГц по уровню 0,1 энергетического спектра, в данной полосе сконцентрировано 90,3 % энергии сигнала, оставшаяся энергия сигнала при ограничении полосы канала будет потеряна. Сигнал, излученный по технологии формирования спектра со сглаживанием резких переходов фазы, имеет иное распределение энергии и лишь 0,004 % лежит вне полосы Δf . На рис. 3 изображены спектры сигнала до формирования и после. Такое перераспределение спектра позволяет повысить энергетическую эффективность системы и позволяет передавать до 10 % энергии больше.

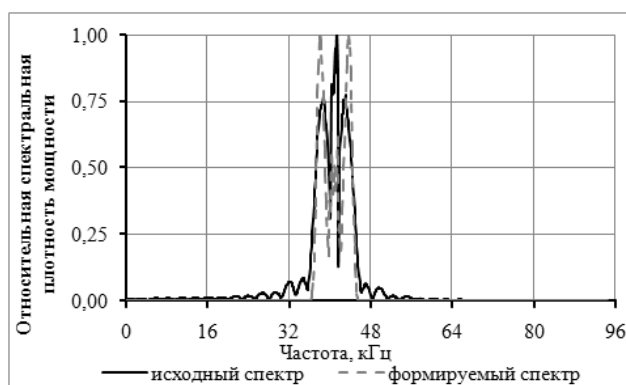


Рис. 3. Спектр сложного сигнала до и после преобразования

Поведение данного метода приема-излучения при низких отношениях сигнал/шум было исследовано при помощи математической модели и приведено на рис. 4.

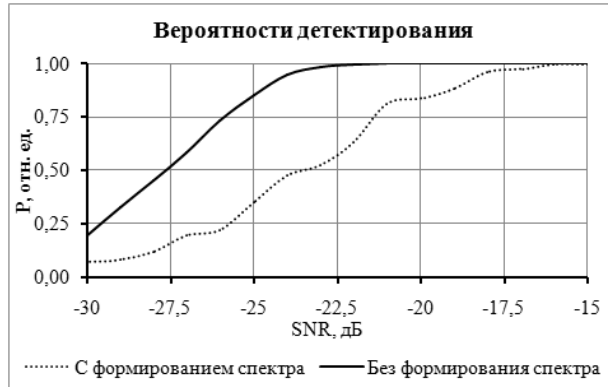


Рис. 4. Результаты моделирования обработки сигнала с формированием спектра

Оценка эффективности данной технологии на примере системы с использованием сложных фазоманипулированных сигналов показала, что повышения помехоустойчивости не произошло. Сложный сигнал искажается, проходя через формирующий фильтр, и на стороне приема необходим обратный фильтр. В среднем по всему диапазону заданной вероятности детектирования наблюдается снижение помехоустойчивости на 5 дБ, что можно объяснить возникновением дополнительных искажений сигнала, препятствующих приему. Был сделан вывод, что формирование спектра не способно улучшить качество системы на основе сложных сигналов, работающих при малых значениях отношения сигнал/шум, и не может быть использовано для решения данной задачи. Для оптимизации работы приемопередающей системы на основе сложных фазоманипулированных сигналов не может быть использована технология формирования спектра.

Оценить влияние на обработку сигнала многолучевой структуры распространения позволил следующий вычислительный эксперимент, в котором сигнал представлялся в виде суперпозиции различного количества копий сигнала, имитирующих отраженные компоненты в соответствии с моделью распространения Райса. Ниже на рис. 5 представлен график вероятности детектирования.

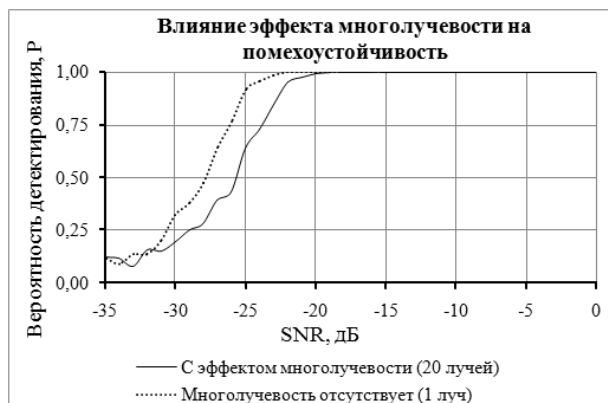


Рис. 5. Зависимость вероятности детектирования от значения SNR при действии эффекта многолучевости

Из рисунка видно, что многолучевая структура сигнала оказывает негативное влияние на прием (в среднем помехоустойчивость приема снизилась на 2 дБ). Влияние эффекта многолучевости на точность детектирования сигнала отображено в таблице 1, показывающей среднюю ошибку оценки временной задержки сигнала при $\text{SNR} > -20$ дБ для различного количества лучей. Ошибка выражена как во временных единицах, так и в сэмплах частоты дискретизации ($f_d = 192$ кГц).

Вычислительный эксперимент показал, что с увеличением количества лучей снижается вероятность детектирования и точность оценки временной задержки. Реальный гидроакустический сигнал на входе приемного устройства является суперпозицией бесконечного числа копий сигнала. Интерференция, возникающая в виду наложения многолучевых компонент, способна значительно ослаблять мощность принятого сигнала в случае отрицательной интерференции, также искажать сигнал во временной и частотной областях в виду его расширения. Учет многолучевой структуры распространения при обработке позволил бы увеличить точность оценки параметра временной задержки и помехоустойчивость обнаружения.

Таблица 1

Средняя ошибка оценки времени запаздывания

	1 луч	2 луча	3 луча	5 лучей	10 лучей	20 лучей
Средняя ошибка, сэмплы	0,014	0,015	0,018	0,027	0,060	0,141
Средняя ошибка, мкс	0,07	0,08	0,09	0,14	0,31	0,74

Для рассмотрения влияния частоты дискретизации на качество обнаружения сложных фазоманипулированных сигналов было введено понятие относительной частоты дискретизации. Относительная частота была определена, как отношение частоты дискретизации к верхней границе полосы частот сигнала: $f^* = \frac{f_d}{f_{\text{верх}}}$. При этом полоса сигнала была принята, как диапазон частот относительно средней частоты сигнала $f_{\text{ср}}$, и распространена от $f_{\text{ниж}} = f_{\text{ср}} - \Delta f/2$ до $f_{\text{верх}} = f_{\text{ср}} + \Delta f/2$, где Δf – это полоса частот сигнала, выбираемая по уровню 0.1 энергетического спектра сигнала.

В табл. 2 представлены значения средней ошибки при оценке временной задержки сигнала при $\text{SNR} > -20$ дБ для различных значений относительной частоты дискретизации f^* .

Таблица 2

Средняя ошибка при параметре f^*

	$f^*=8$	$f^*=6$	$f^*=4$	$f^*=2$
Средняя ошибка, мкс	0,12	0,22	0,40	0,74

Результаты моделирования показали, что с изменением частоты дискретизации вероятности обнаружения сигнала и точности обнаружения в зависимости от отношения сигнал/шум при различном количестве уровней квантования и различных значениях относительной частоты дискретизации не изменялись существенно при соблюдении условия $f^* \geq 2$.

Моделирование позволило оценить дальность гидроакустических средств, работающих в условиях реальных небелых гидроакустических шумов и многолучевости для рассматриваемого алгоритма. Например, акустическое давление описанного ранее сложного фазоманипулированного сигнала равно 2 000 Па (реальная выходная характеристика современной гидроакустической антенны ЛАР1), акустическое давление шумов гидроакустического канала 152 Па (среднее акустическое давление

шума из экспериментальных данных), соответственно отношение сигнал/шум составило $SNR = 11$ дБ. Из данных моделирования известно (рис. 8), что для детектирования сигнала, с вероятностью $p \geq 0,95$, необходимо соблюдать условия $SNR \geq -19$ дБ. В соответствии с эмпирическими расчетными выражениями Марша-Шулькина для мелкого моря дальность приема оценивается до 1 500 метров.

Заключение. Создана математическая модель распространения сложного фазоманипулированного сигнала в гидроакустическом канале. Представлено описание математической модели, а также программная реализация эффектов многолучевой структуры, гидроакустических шумов и потери энергии на распространение.

Математическая модель позволяет провести анализ работы различных способов обработки при обнаружении сигнала и оценки его параметров. В статье приведены результаты моделирования приема сигнала с использованием разработанной модели. В основе приема сигнала лежит алгоритм, состоящий из расчета величины корреляции и использования правила максимума корреляции.

Был проведен анализ использования технологии формирования спектра посредством сглаживающего фильтра, однако вводимые искажения при обратном преобразовании не способны компенсировать выигрыш при передаче и конечная помехоустойчивость снижается.

Моделирование приема с эффектом многолучевости при распространении показали, что с увеличением количества лучей, снижается, как помехоустойчивость, так и точность оценивания параметров сигнала. Данный результат говорит о перспективности введения компенсации многолучевой структуры при обработке сигнала.

Также проводилось исследование влияния изменения частоты дискретизации на качество приема. При этом был обнаружен рост увеличения точности с повышением частоты дискретизации.

Оцениваемая дальность гидроакустических средств, использующих анализируемый алгоритм, составила до 1 500 метров и рассчитывалась исходя из моделирования помехоустойчивости алгоритма при выбранном типе сложного сигнала ($SNR \geq -19$).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кацнельсон Б.Г., Петников В.Г.* Акустика мелкого моря. – М.: Наука, 1997. – 191 с.
2. *Etter P.C - Taylor & Francis.* Underwater Acoustic Modeling. Principles, techniques and applications. – 1995. – 344 p.
3. *Евтютов А.П., Колесников А.Е., Корепин Е. А. и др.* Справочник по гидроакустике. – 2-е изд. – Л.: Судостроение, 1988. – 552 с.
4. *Coates R.F.W. & Owen R.H.* The Ultra Shallow Acoustic Channel: Measurements and Models // Proc. Second European Conf on Underwater Acoustics. – 1994. – Vol. 1. – P. 461-469.
5. Multipath propagation and LTV channel model / Aki Silvennoinen. – Radio Communications. – 2004.
6. *Stojanovic M., Preisig J.* Underwater Acoustic Communication Channels: Propagation Models and Statistical Characterization // IEEE Communications Magazine, Underwater wireless communications, 2009. – С. 84-89.
7. *Chitre M., Potter J., SimHeng O.* Underwater acoustic channel characterisation for medium-ranges shallow water communications // IEEE Oceans '04. MTT/IEEE Techno-Ocean '04, 2004. – С. 40-45.
8. *Wenz G.M.* Acoustic ambient noise in the ocean: spectra and sources // G.M. Wenz. J. Acoust. Soc. Amer. – 1962. – № 34.
9. The Ocean Engineering Handbook / ed. Ferial El-Hawary. CRC Press, 2001.
10. *Coates R.F.W., Ming Zheng, Liansheng Wang.* “BASS 300 PARACOM”: a “model” underwater parametric communication system // IEEE Journal of Oceanic Engineering. – 1996. – Vol. 21, Issue 2. – P. 225-232.
11. *Варакин Л.Е.* Системы связи с шумоподобными сигналами. – М.: Радио и связь, 1985. – 384 с.

12. *Бурдинский И.Н., Карабанов И.В., Линник М.А., Миронов А.С.* Метод порогового детектирования гидроакустического шумоподобного фазоманипулированного сигнала / 13-я Международная конференция «Цифровая обработка сигналов и ее применение – DSPA-2011»: доклады. – М., 2011 – Вып. XIII-1. – С.180-183.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор С.В. Сай.

Карабанов Иван Вячеславович – Институт проблем морских технологий Дальневосточного отделения Российской Академии наук; e-mail: i.v.karabanov@mail.ru; 690091, г. Владивосток, ул. Суханова, 5а; тел.: 84232432416; стажер-исследователь.

Бурдинский Игорь Николаевич – e-mail: igor_burdinsky@mail.ru; к.т.н.; доцент.

Миронов Андрей Сергеевич – e-mail: mirandrei@gmail.com; м.н.с.

Karabanov Ivan Vyacheslavovich – Institute of Marine Technology Problems of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences; e-mail: i.v.karabanov@mail.ru; 5a, Sukhanov street, Vladivostok, 690091, Russia; phone: +74232432416; trainee-tester.

Burdinskiy Igor Nikolayevich – e-mail: igor_burdinsky@mail.ru; cand. of eng. sc.; associate professor.

MironovAndrei Sergeevich – e-mail: mirandrei@gmail.com; junior researcher.

УДК 004.896, 004.932.2, 004.823

С.М. Соколов, А.А. Богуславский, М.Г. Гаврилов, О.В. Трифонов

МЕТОДИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТЕРЕОСИСТЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО ВИДЕНИЯ ДЛЯ НАЗЕМНЫХ МОБИЛЬНЫХ СРЕДСТВ*

Рассматриваются методические аспекты построения стереосистем реального времени, от выбора оптической системы до формирования аппаратно-программной архитектуры вычислительной системы. Анализируются возможности реализации стереосистем реального времени для использования в составе наземных мобильных комплексов. Описываются примеры решения практических задач из области обеспечения движения транспортного средства по дороге, оперативного картографирования, контроля объектов инфраструктуры железной дороги.

Система технического зрения; стереосистемы; калибровка; архитектура бортовых систем; реальное время; навигация.

S.M. Sokolov, A.A. Boguslavsky, M.G. Gavrilov, O.V. Trifonov

METHODICAL AND PRACTICAL ASPECTS OF COMPUTER VISION STEREOSYSTEMS FOR LAND VEHICLES USE

In the paper methodical aspects of the computer real time stereosystems construction, from a choice of optical system up to the formation of hardware-software architecture of the computing system are considered. Possibilities of the real time stereosystems realization for use as a part of land vehicle complexes are analyzed. Examples of the practical problems decision from area of driver assistant system maintenance of a vehicle movement on road, operative mapping, control of the railway infrastructure objects are described.

Vision system; stereosystem; calibration; architecture of onboard systems; real time; navigation.

* Работа выполнена при поддержке РФФИ, гранты №№ 11-08-01045, 11-08-13166-офи_м_РЖД, 12-08-12030-офи_м.