

Optimization of controlling and interpolation algorithms for mechatronic systems with two degrees of freedom

At mechatronic systems positioning the current location information is the necessary part of the control algorithms. The required trajectory expressed by different interpolation methods and its accurate monitoring are important parameters for determining the control system quality.

Keywords: control algorithms, mechatronic systems, interpolation methods

Получено 12.10.10

УДК 621.396.62

А. Н. Копысов, кандидат технических наук, доцент;

И. З. Климов, доктор технических наук, профессор;

М. В. Тюлькин, аспирант

Ижевский государственный технический университет

**ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ РАЗНЕСЕННОГО ПРИЕМА
ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННЫХ СИГНАЛОВ ДЕКАМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА**

Представлены результаты имитационного моделирования систем разнесенного приема частотно-временных сигналов декаметрового диапазона. Приводятся результаты натурных испытаний алгоритмов разнесенного приема, полученные на трассах протяженностью 30 и 210 км.

Ключевые слова: частотно-временные сигналы, исследования КВ-систем, алгоритмы пространственного разнесения

Актуальность. Основополагающим моментом при передаче сигналов по каналам со случайными параметрами является ее достоверность и надежность. Для достижения максимальной достоверности и надежности хорошо применим способ разнесенного приема. Разнесенный прием является одним из наиболее результативных методов повышения надежности связи. Разнесенный прием состоит в том, что решение о переданном сообщении принимается на основе рассмотрения нескольких принятых копий сигнала, разнесенных в пространстве, во времени, по частоте и т. д. и отличающихся вследствие этого характером искажений. Метод пространственного разнесения получил наибольшее распространение и состоит в том, что один и тот же сигнал одновременно принимается на несколько антенн, расположенных в пространстве на некотором расстоянии друг от друга. Пространственный метод разнесения был взят за основу нашего исследования. В работе рассматривались два алгоритма: алгоритм автоматического выбора наилучшего из каналов и алгоритм, основанный на равновесном сложении двух сигналов.

Имитационное моделирование. Моделирование распространения сигналов проводилось при помощи имитатора КВ-канала связи [1], в котором устанавливалось отношение сигнал/шум в пределах от -10 до $7,5$ дБ с шагом $2,5$ дБ, согласно рекомендации ITU-R F.1487 [2]. При проведении моделирования выбирались различные состояния ионосферного канала связи, представленные в таблице, а также рассматривался вариант распространения сигналов в канале с аддитивным белым гауссовским шумом (далее АБГШ), рассматривался случай среднеширотных трасс.

Таблица. Моделируемые состояния ионосферного канала связи

Канал связи	Доплеровское рассеяние частоты, Гц	Задержка между лучами, мс	Время моделирования, час
Спокойные условия	0,1	0,5	10
Умеренные условия	0,5	1	2
Возмущенные условия	1	2	1

В качестве информационных сигналов использовались сигнальные конструкции, представляющие собой частотно-временные сигналы (далее ЧВС) [3, 4] (рис. 1, 2). В основе ЧВС лежит использование для переноса информации нескольких различных временных реализаций этих сигналов, разделение которых на приеме осуществляется с помощью их селекции по форме путем использования банка согласованных фильтров.

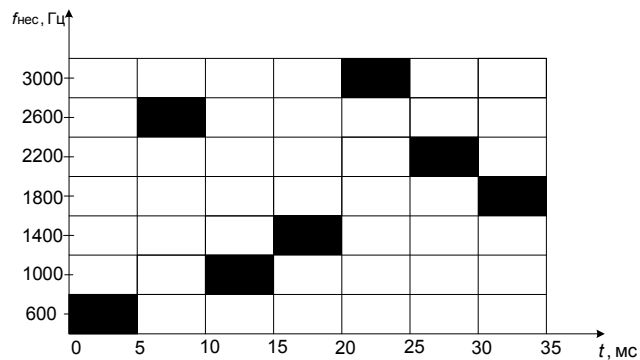


Рис. 1. Частотно-временное представление ЧВС

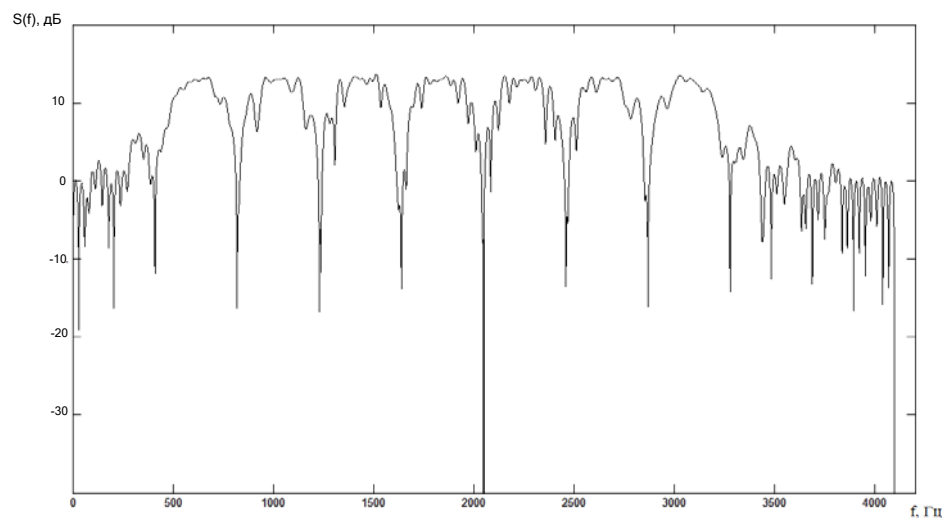


Рис. 2. Спектр частотно-временного сигнала

При проведении имитационного моделирования распространения ЧВС через КВ-каналы связи использовался имитационный стенд (рис. 3). На первом компьютере воспроизводилась ранее записанная тестовая радиогамма ЧВС, после передачи сигнала через имитатор КВ-канала связи полученный образец сохранялся на второй компьютер с указанием времени и условий распространения. После набора достаточного объема реализаций проводилось оценивание вероятности битовой ошибки на символ (далее BER) при приеме и обработке частотно-временного сигнала.

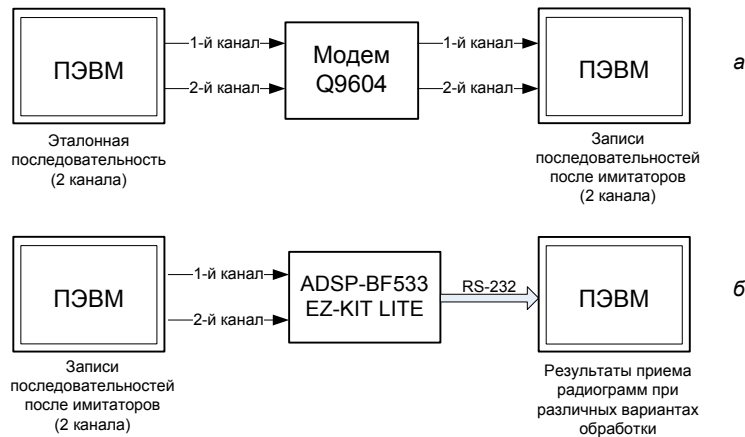


Рис. 3. Структура имитационного стенда: а – подключение при наборе сигналов, переданных через имитатор канала связи; б – подключение при работе алгоритмов разнесенного приема ЧВС

Для реализации алгоритмов разнесенного приема сигналов использовался отладочный модуль ADSP-BF533 EZ-KIT Lite [5], который обрабатывал записанные сигналы с помощью программных демодуляторов. В ходе исследований проводился анализ алгоритмов равновесного сложения и автоматического выбора наилучшего из двух некоррелированных сигналов, прошедших через два независимых канала имитатора КВ-канала связи. На рис. 4, 5 представлены структурные схемы исследованных методов обработки сигналов ветвей разнесения.

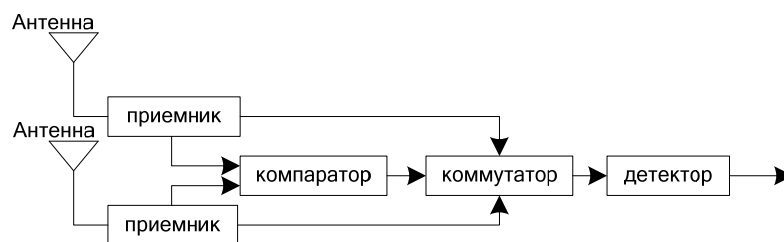


Рис. 4. Структурная схема приемника, реализующего работу алгоритма автоматического выбора наилучшего сигнала

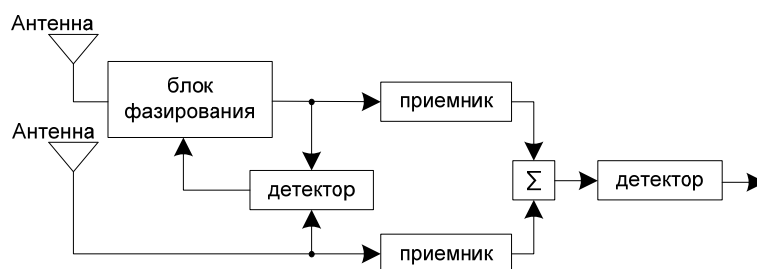


Рис. 5. Структурная схема приемника, реализующего работу алгоритма равновесного сложения

Полученные в ходе имитационного моделирования результаты представлены на рис. 6...10. При обработке результатов экспериментов выяснилось, что алгоритм равновесного сложения начинает проигрывать алгоритму автовыбора при отношении сигнал/шум более 2,5 дБ. Объяснением тому стало обнаружение сбоев в работе алгоритма поиска и синхронизации. После проведенной коррекции алгоритма были получены результаты, не противоречившие теоретическим показателям [6] (рис. 7).

По результатам исследований было установлено, что использование алгоритмов разнесенного приема сигналов, полученных от двух некоррелированных имитаторов КВ-каналов связи, позволяет увеличить вероятность правильного приема в целом. При этом для ОСШ -2,5 дБ вероятность ошибки на символ снижается с величины 20,3...24,7 % до значения 6,2...9,4 % для алгоритма автоматического выбора наилучшего и до величины 4,7...5,8 % для случая алгоритма равновесного сложения сигналов.

Проведенные лабораторные исследования показывают, что благодаря использованию разнесенного приема можно достигнуть выигрыш в отношениях сигнал/шум до 7,5 дБ.

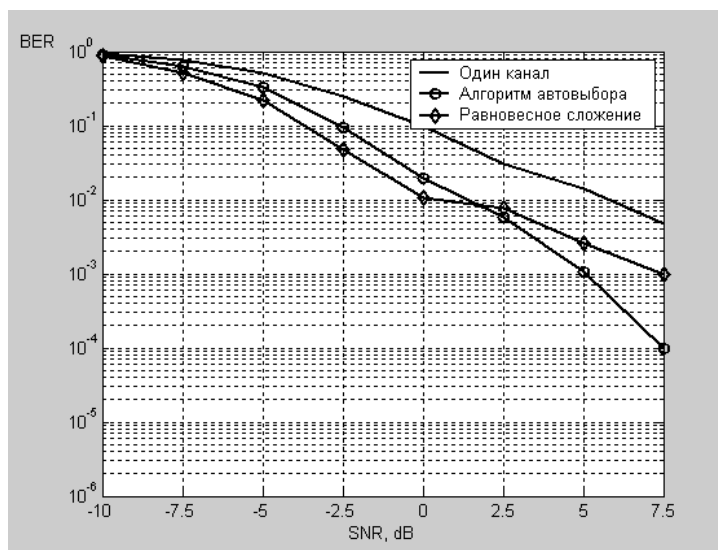


Рис. 6. Вероятность битовой ошибки для возмущенного состояния ионосферного канала связи до коррекции системы синхронизации

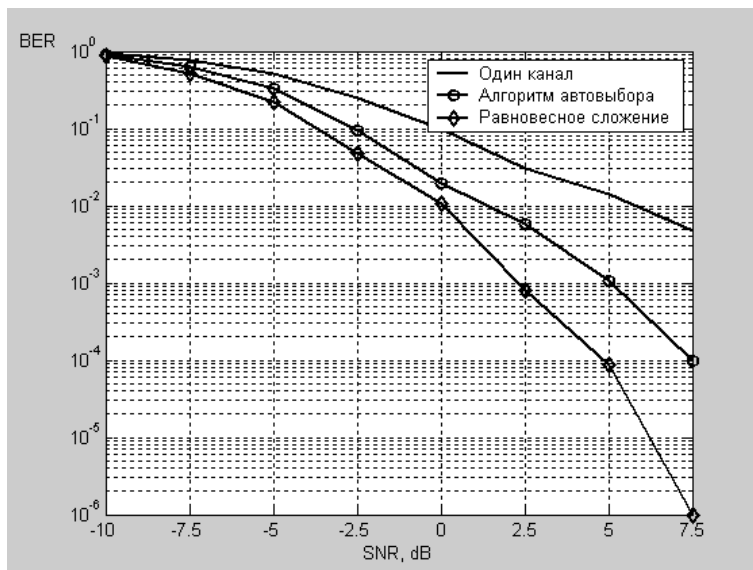


Рис. 7. Вероятность битовой ошибки для возмущенного состояния ионосферного канала связи после коррекции системы синхронизации

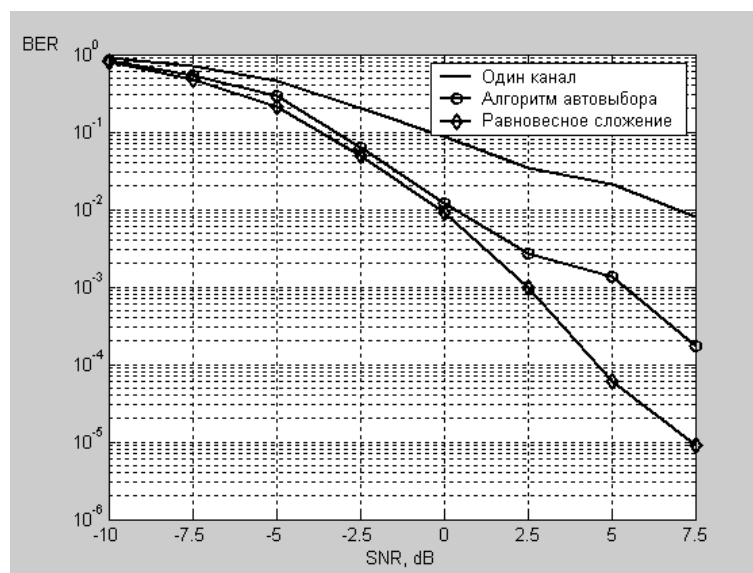


Рис. 8. Вероятность битовой ошибки для умеренного состояния ионосферного канала связи

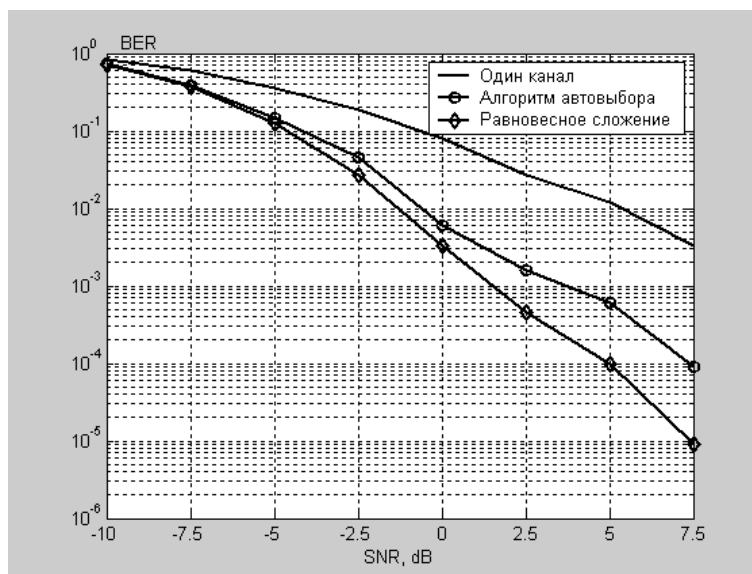


Рис. 9. Вероятность битовой ошибки для спокойного состояния ионосферного канала связи

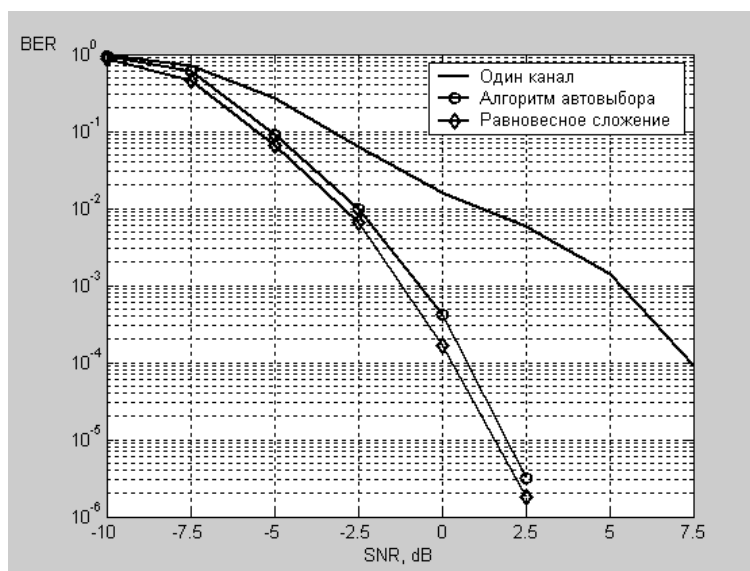


Рис. 10. Вероятность битовой ошибки в канале с АБГШ

Трассовые испытания. Помимо лабораторных испытаний, были проведены серии трассовых испытаний на среднеширотных трассах протяженностью 30 и 210 км. На рис. 11 показан вариант подключения макетов радиостанций, реализующих разносенный прием частотно-временных сигналов.

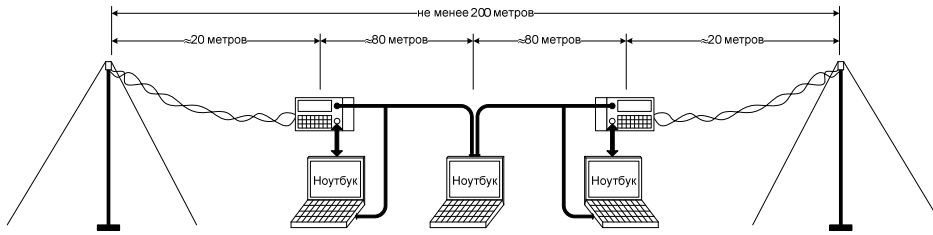


Рис. 11. Схема подключения аппаратуры для получения записей эфира в точке разнесения приемных антенн

В точке пространственного разнесения радиостанциями производилось выделение принятой информации с последующей реализацией алгоритма автоматического выбора наилучшего сигнала. Параллельно в точке разнесения антенн проводилась запись сигналов от двух станций на ноутбук в виде стереосигнала. После чего с использованием отладочного модуля ADSP-BF533 EZ-KIT Lite, реализующего алгоритм равновесного сложения сигналов, проводилось выделение принимаемой информации. Распределение выигрыша, достигаемого при реализации алгоритмов пространственного разнесения, показано на рис. 12.



Рис. 12. Выигрыш в отношении сигнал/шум для реализаций, полученных 9 июля 2009 года

Полученные в ходе трассовых испытаний статистические данные позволили оценить величину выигрыша за счет использования равновесного сложения сигналов от двух станций. Было установлено, что выигрыш составил от 3,81 до 6,59 дБ относительно худшего сигнала (при разнесении антенн на расстояние 100 м) и от 3,49 до 13,94 дБ относительно худшего сигнала станции (при разнесении антенн на расстояние 200 м).

По результатам трассовых испытаний было установлено, что использование процедуры автоматического выбора наилучшего сигнала также позволяет получить выигрыш в отношении сигнал/шум. Его величина изменяется в диапазоне 4,68...6,77 дБ относительно худшего сигнала (при разнесение антенн на расстояние 100 м) и 3,49...13,94 дБ относительно худшего сигнала станции (при разнесение антенн на расстояние 200 м).

Заключение

Проведенные исследования позволяют оценить эффективность применения пространственного разнесения приемных антенн и используемых в этом случае алгоритмов. Анализ полученных результатов показал, что алгоритм автоматического выбора наилучшего сигнала и алгоритм равновесного сложения имеют близкие величины выигрыша.

Полученные в ходе натурных испытаний результаты показывают, что применение систем разнесенного приема позволяет эффективно бороться с эффектами, характерными для дециметровых каналов связи, на дальностях характеризующихся как зоны молчания. В целом разнесенный прием позволяет существенным образом улучшить характеристики помехоустойчивости приема и надежность цифровых систем радиосвязи.

Список литературы

1. MDM-Q9604 Modem. User Guide. Rockwell Collins, Inc. – 2007. – P. 173.
2. ITU-R F.1487. Use of High Frequency Ionospheric Channel Simulators. – 2000. – P. 11.
3. Варакин Л. Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. – М. : Радио и связь, 1985. – 384 с.
4. Копысов А. Н., Климов И. З., Тюлькин М. В. К вопросу об исследовании частотно-временного сигнала в многолучевом канале связи // Вестн. ИжГТУ. – 2009. – № 4. – С. 125–127.
5. ADSP-BF533 EZ-KIT Lite Evaluation System Manual. Analog Devices, Inc. – 2006. – P. 88.
6. Феер К. Беспроводная цифровая связь. Методы модуляции и расширения спектра : пер. с англ. под ред. В. И. Журавлева. – М. : Радио и связь, 2000. – 520 с.

* * *

A. N. Kopysov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Izhevsk State Technical University

I. Z. Klimov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Izhevsk State Technical University

M. V. Tyulkin, Postgraduate Student, Izhevsk State Technical University

Study of Diversity Reception Algorithm for HF Time-Frequency Signals

The results of diversity reception system simulation for HF time-frequency signals are presented. The environmental test results of the diversity reception algorithms performed at 30 and 210 km distances are given.

Keywords: time-frequency signals, testing of HF system, diversity reception algorithms

Получено 02.11.10