

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

УДК 628.946.22

Э.Д. Павлыгин, К.К. Васильев, С.В. Елягин, С.С. Гаврилов

ВЫСОКОСКОРОСТНЫЕ МОРСКИЕ СИСТЕМЫ СВЕТСИГНАЛЬНОЙ СВЯЗИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Павлыгин Эдуард Дмитриевич, кандидат технических наук. Окончил радиотехнический факультет Ульяновского политехнического института. Первый заместитель генерального директора по науке ФНПЦ ОАО «НПО «Марс». Имеет статьи в области статистических методов обработки сигналов. [e-mail: mars@mv.ru].

Васильев Константин Константинович, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники РФ, член-корреспондент АН республики Татарстан. Окончил радиотехнический факультет и аспирантуру Ленинградского электротехнического института им. В.И. Ульянова (Ленина). Заведующий кафедрой «Телекоммуникации» Ульяновского государственного технического университета. Имеет монографии, учебные пособия и статьи в области статистического синтеза и анализа информационных систем. [e-mail: vkk@ulstu.ru].

Елягин Сергей Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Телекоммуникации» УлГТУ. Окончил радиотехнический факультет УлГТУ. Имеет статьи в области радиотехники и связи. [e-mail: esv2@ulstu.ru].

Гаврилов Сергей Сергеевич, окончил самолетостроительный факультет УлГТУ. Начальник научно-исследовательской лаборатории ФНПЦ ОАО «НПО «Марс». Имеет статьи в области радиотехники и связи. [e-mail: gavrilov_ss@mail.ru].

Аннотация

Рассмотрены принципы построения и основные характеристики морской светосигнальной системы связи нового поколения, основанной на светодиодных прожекторах и ходовых огнях видимого и инфракрасного диапазонов.

Ключевые слова: сигнальный прожектор, светодиоды, код Морзе, частотная манипуляция, система слежения.

Eduard Dmitrievich Pavlygin, Candidate of Engineering; graduated from the Radio-Engineering Faculty of Ulyanovsk Polytechnic Institute. Deputy First Director General for Science at Federal Research-and-Production Association 'Research-and-Production Association 'Mars'; an author of articles in the field of statistical methods of signal processing. e-mail: mars@mv.ru.

Konstantin Konstantinovich Vasilev, Doctor of Engineering, Professor; Honored Worker in the Science and Engineering of Russian Federation; a correspondent member of Tatarstan Academy of Sciences; graduated from the Faculty of Radio-Engineering at Leningrad Institute of Electrical Engineering named after V. Ulyanov; completed his post-graduate study at the same Leningrad Institute; a head of the Department of Telecommunication at Ulyanovsk State Technical University; an author of monographs, textbooks, and articles in the field of statistical synthesis and analysis of information systems. e-mail: vkk@ulstu.ru.

Sergei Vladimirovich Eliagin, Candidate of Engineering; Associate Professor at the Department of Telecommunication at Ulyanovsk State Technical University; graduated from the Faculty of Radio-Engineering at Ulyanovsk State Technical University; an author of articles in the field of radio-engineering and communication. e-mail: esv2@ulstu.ru.

Sergei Sergeevich Gavrilov, graduated from the Faculty of Aeronautical Engineering at Ulyanovsk State Technical University; Head of Research Laboratory at Federal Research-and-Production Center Open Joint-Stock Company 'Research-and-Production Association 'Mars'; an author of articles in the field of radio-engineering and communication. e-mail: gavrilov_ss@mail.ru.

Abstract

The article deals with principles of designing and basic performances of maritime lamp communication system of new generation, based on LED blinkers and visible and infrared navigation lights.

Key words: blinker, LEDs, Morse code, frequency-shift keying, tracking system.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время морские светосигнальные системы широко используются для низкоскоростной передачи сигналов Морзе. Они включают сигнальные прожекторы и ходовые (клатиковые) огни, установленные на кораблях, судах и береговых постах, и обладают низкой скоростью передачи информации. Повышение скорости до 100 слов в минуту достигается за счет автоматизации процессов передачи и приема информации с помощью электромеханических систем [1, 2].

В последние годы наблюдается быстрое развитие технологий создания мощных светодиодов. Их прямое применение в светосигнальных устройствах для передачи кода Морзе позволило бы очевидным образом заменить электромеханические системы прерывания светового потока амплитудной манипуляцией подаваемого напряжения. При этом, кроме обычного визуального приема, целесообразно использовать разработанные методы автоматической обработки сигналов с выхода фотоприемника [3–6]. Таким образом, может быть реализована автоматизированная компьютерная система ввода и получения информации с помощью кода Морзе на основе светосигнальной связи. Вместе с тем, применение мощных светодиодов, работающих в видимом и инфракрасном (ИК) диапазоне, позволяет придать системе функции высокоскоростного, криптозащищенного канала, обеспечивающего передачу информации со скоростью сотни килобит в секунду на расстояния 10–30 км. В настоящей работе приводится краткое описание такой системы, разработанной в ФНПЦ ОАО «НПО «Марс».

ОПТИЧЕСКИЙ ПРИЕМОПЕРЕДАТЧИК

Современные светодиоды способны формировать излучение с различной шириной диаграммы направленности от 6 до 125 градусов. Размещение светодиодов в типовом корабельном прожекторе позволяет сформировать световой поток с силой света 120 ккд с помощью двенадцати светодиодов видимого диапазона и обеспечить дальность автоматической передачи информации до 12 км. В ИК-диапазоне потребуется 111 светодиодов. Поскольку для светодиодов видимого диапазона время переключения

не является техническим параметром, то в видимом диапазоне излучения скорость передачи составляет 50 кб/с. В ИК-диапазоне работа осуществляется на скоростях около 400 кб/с. При дальнейшем развитии светодиодной техники эти параметры будут улучшаться. При этом в обоих случаях используется многочастотная манипуляция, позволяющая обеспечить высокую скорость передачи информации и практически устраняющая влияние внешних световых засветок.

Передающие антенны видимого и ИК-излучения содержат пространственно-совмещенные матрицы светодиодов, включенных по последовательно-параллельной схеме. Все светодиоды размещены на плоскости, в результате общая диаграмма направленности определяется диаграммой направленности отдельного светодиода.

Схема фотоприемника (рис. 1) состоит из двух усилительных каскадов, аналоговые сигналы с которых (S1 и S2) поступают на входы аналого-цифрового преобразователя (АЦП) микроконтроллера. После предварительной обработки сигнал с наибольшим отношением сигнал/шум преобразуется в информационный пакет формата UDP и по каналу FastEthernet передается в управляющий компьютер. Взаимодействие приемника и передатчика оптических сигналов с управляющим компьютером осуществляется с использованием микроконтроллера. Выбор типа микроконтроллера определялся наличием в нем вы-

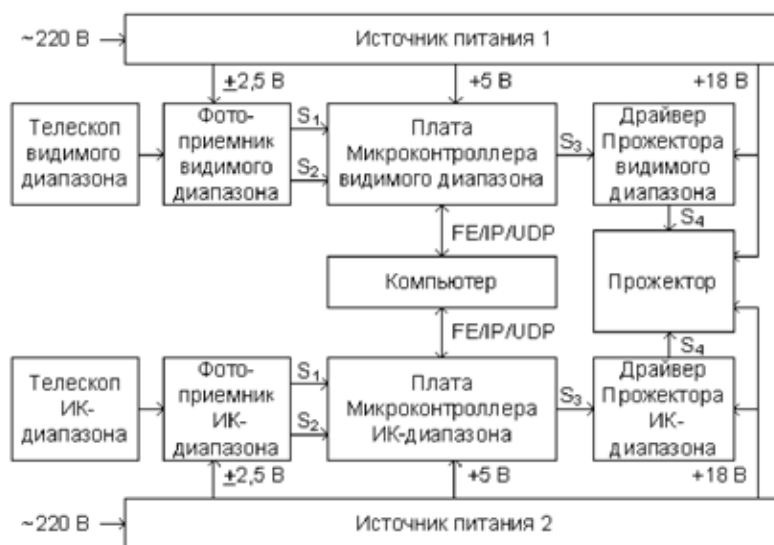


Рис. 1. Структурная схема разработанного приемопередатчика

сокоскоростных АЦП и порта FastEthernet. Предпочтение было отдано микроконтроллеру STM32F217.

Временные параметры передаваемого сигнала (скорость передачи, вид линейной модуляции) формируются управляющим компьютером перед сеансом связи и заносятся в микроконтроллер с использованием протокола UDP. Двоичный сигнал S3 формируется микроконтроллером из сообщений, получаемых по каналу Fast Ethernet, и передается на драйвер прожектора, который формирует сигнал S4 заданной мощности для управления работой светодиодов. Драйвер прожектора работает в ключевом режиме.

ФОРМАТ ПЕРЕДАВАЕМЫХ СООБЩЕНИЙ

Использование прожектора со светодиодами видимого диапазона позволяет решать как традиционные задачи (освещение ближней и дальней зоны, передача сигналов кода Морзе), так и новые задачи, связанные с передачей информации на более высоких скоростях. Для реализации процедуры автоматизированной передачи и приема информации по световым каналам связи разработан программно-аппаратный комплекс, учитывающий особенности распространения светового сигнала, а также влияние перемещения источника и приемника излучения под действием качки. Разработанная система основывается на пакетном режиме передачи информации, что позволяет перезапросить принятую с ошибками информацию. В качестве источника информации используются текстовые (двоичные) сообщения, видео- и аудиосообщения. В настоящее время обеспечивается прием-передача видеоряда с частотой кадров до 10 кадров в секунду. Для передачи сигналов кода Морзе со скоростью 3 б/с используется амплитудно-модулированный сигнал, который рассматривается, как бит-ориентированный поток, принимающий определенные числовые значения в двоичном формате. При этом выходной сигнал содержит максимум три единицы подряд и пять нулей подряд, что позволяет обеспечить достаточно надежный тактовый синхросигнал на приемной стороне.

Передача информации осуществляется пакетами, которые содержат управляющую и пользовательскую информацию. Используются как амплитудно-манипулированный (АМ), так и частотно-манипулированный (ЧМ) сигналы.

Для повышения скорости передачи используется многочастотная передача, при которой за каждым передаваемым символом закрепляют n бит, при этом число используемых частот равно 2^n . Другим вариантом применения многочастотных сигналов является метод параллельной работы нескольких ЧМ-передатчиков в одном частотном

диапазоне. Параллельно работающие на общий приемник передатчики нашли применение при использовании ходовых огней в качестве нескольких независимых оптических излучателей. При этом такое явление, как межсимвольная интерференция, вызванная разностью хода сигнала от различных фанарей, полностью исключается.

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ДЕШИФРАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОДА МОРЗЕ

В работах [3–7] рассмотрены и решены задачи статистического синтеза, анализа и практического воплощения алгоритмов автоматического приема сигналов кода Морзе на фоне помех как адаптивных процедур проверки трех гипотез (пауза, точка, тире). Предполагалось, что возможна ручная передача светосигналов, приводящая к неточно известным длительностям принимаемых стандартных сообщений. В результате была разработана реальная система автоматической дешифрации символов кода Морзе на основе измерения четырех интервалов времени: длительности символа «точка» (T), длительности символа «тире» ($3T$), длительности бестоковой посылки между буквами ($3T$) и длительности бестоковой посылки между словами ($5T$). Для определения границ импульсов и пауз следует воспользоваться классическим правилом измерения длительности одиночного импульса (по уровню 0,5 от амплитуды импульса). На рисунке 2 приведен сигнал после детектирования, который соответствует сообщению «.. _ _ ... _».

Поскольку вершины импульсов и бестоковые участки под воздействием шума имеют значительную нестабильность, то следует определить наиболее вероятное значение амплитуды импульсов. Для этого осуществляется построение гистограммы входного сигнала, по которой и определяется амплитуда широтно-импульсного модулированного сигнала (ШИМ-сигнала). Нахождение уровня, равноотстоящего от вершины импульсов и их основания, позволяет определить длительность символов «точка» и «тире», а также длительности бестоковых посылок между буквами и словами.

Измерив параметры ШИМ-сигнала, можно представить его в виде амплитудно-импульсного модулированного сигнала (АИМ-сигнала), амплитуда которого определяется площадью импульсов. Непостоянство амплитуды входного сигнала является причиной, по которой приходится отказываться от энергетических параметров ШИМ-сигнала, а учитывать лишь временные параметры импульсов. Такой отказ обоснован и фактом отсутствия в амплитуде входного сигнала информации о передаваемом элементе кода Морзе. Таким образом, амплитуда АИМ-сигнала пропорциональна длительности элементов кода Морзе. Пере-

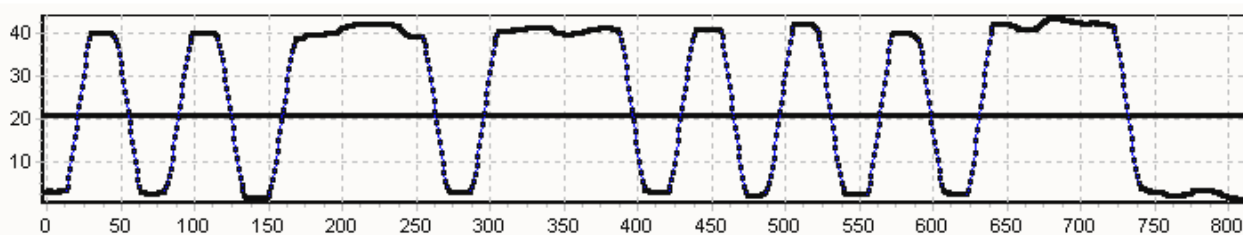


Рис. 2. Входной сигнал и уровень 0,5

ход к АИМ-сигналу позволяет сформировать вектор, элементами которого являются длительности элементов кода Морзе. Поскольку длительности элементов кода Морзе меняются в процессе передачи, то при каждом положительном приеме кода Морзе значение символа «точка» обновляется. Тем самым, обеспечивается подстройка к параметрам входного сигнала.

СИСТЕМА НАВЕДЕНИЯ И СТАБИЛИЗАЦИИ

Была решена задача автоматического наведения приемной оптической системы на движущийся источник излучения [8–10]. При этом предполагалось, что для управления положением оптической системы используется двухосный карданный подвес. Управление положением оптической оси осуществлялось с помощью двух шаговых электродвигателей, позволяющих также фиксировать точные значения углов места и азимута. Система слежения определяет двухкоординатное рассогласование координат светового пятна, полученного от сигнального прожектора, и центра фотоприемной матрицы (ФПМ), соответствующего оптической оси видеосистемы. После этого вырабатываются сигналы для электродвигателей, позволяющие уменьшить рассогласование между углами, определяющими направление на источник излучения. Для оценки величин погрешностей системы управления визиром (модуль наведения на источник излучения) был разработан программный комплекс имитационного 3D-моделирования надводной окружающей обстановки, состоящей из двух кораблей, на одном из которых установлен корреспондент, а на втором – система управления визиром [9].

Для случая использования гиросtabilизированной платформы влияние качки сводится к относительно небольшому вертикальному перемещению визира, которое можно дополнительно компенсировать с помощью соответствующего расчета изменений угла наблюдения. При отсутствии гиросtabilизированной платформы для решения задачи управления используются сигналы от гироазимут-горизонт-компыаса, позволяющие сохранить направление и горизонтальность линии визирования. Для решения проблемы изменяющегося угла наклона линии горизонта на ФПМ выполняется программный поворот наблюдаемого кадра, что обеспечивает удобное наведение визира на заданный источник.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Светоинформационная система на базе описанного моноблока позволяет передавать все стандартные сообщения кодом Морзе в видимом диапазоне как автоматизированным способом, так и вручную. При этом новой является функция автоматического распознавания принимаемых световых сигналов кода Морзе, переданных вручную или автоматически. Включение в моноблок видеокамеры и программная коррекция наклона линии горизонта позволяют оператору обеспечивать наведение на заданные объекты, находясь в посту связи. Автоматическое формирование переданной и анализ принятой информации с помощью бортового компьютера позволяют существенно снизить время подготовки оператора связи.

Новые информационные возможности обеспечиваются за счет создаваемых каналов высокоскоростной (сотни килобит в секунду) связи в оптическом и (или) ИК-диапазонах. В результате появляется возможность передачи аудио- и видеoinформации и (или) других высокоскоростных потоков данных при обеспечении скрытности и криптозащищенности за счет применения большого числа используемых частот, кодирования информации и относительно узких диаграмм направленности светоинформационных прожекторов. Особую важность такая система приобретает в режиме радиомолчания, а также при действии мощных радиопомех. Следует особо отметить хорошие перспективы развития морских светоинформационных систем, обеспеченные быстрым совершенствованием характеристик мощных светодиодов видимого и ИК-диапазонов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Катанович А.А. Судовая светосигнальная связь. – СПб. : Судостроение, 2002. – 184 с.
2. Гауэр Дж. Оптические системы связи. – М. : Радио и связь, 1989. – 501 с.
3. Пат. № 2325772 Российская Федерация : МПК Н04L15/24. Устройство для приема сигналов кода Морзе / Васильев К.К., Елягин С.В., Дементьев Е.И., Кузин В.С., Рыжков А.Н. ; заявитель и патентообладатель ФНПЦ ОАО «НПО «Марс» ; опубл. 27.05.2008, Бюл. № 15.
4. Пат. № 2375827 Российская Федерация : МПК Н04L15/00. Устройство для приема сигналов кода Морзе / Васильев К.К., Елягин С.В., Дементьев Е.И., Кузин В.С. ; заявитель и патентообладатель ФНПЦ ОАО «НПО «Марс» ; опубл. 10.12.2009, Бюл. № 34.
5. Пат. № 2382508 Российская Федерация : МПК Н04L15/00. Устройство для приема сигналов кода Морзе / Васильев К.К., Елягин С.В., Дементьев Е.И., Былина П.В. ; заявитель и патентообладатель ФНПЦ ОАО «НПО «Марс» ; опубл. 20.02.2010, Бюл. № 5.
6. Васильев К.К., Дементьев Е.И., Капустин Д.А. Синтез и анализ оптимальных и квазиоптимальных алгоритмов обнаружения (различения) импульсных сигналов // Автоматизация процессов управления. – 2008. – № 1 (11). – С. 21–28.
7. Васильев К.К., Дементьев Е.И. Оптимальные и квазиоптимальные алгоритмы различения импульсных сигналов // Инфокоммуникационные технологии. – 2008. – Т. 6, № 2. – С. 45–50.
8. Васильев К.К., Гаврилов С.С. Система слежения за положением светового пятна на фотоприемной матрице // Современные проблемы проектирования, производства и эксплуатации радиотехнических систем : сб. науч. тр. Восьмой вып. – Ульяновск : УлГТУ, 2012. – С. 96–99.
9. Гаврилов С.С., Наместников С.М., Павлов С.Г. Имитационное моделирование системы управления визиром // Современные проблемы создания и эксплуатации радиотехнических систем : сб. науч. тр. восьмой всерос. науч.-практ. конф. – Ульяновск : УлГТУ, 2013. – С. 146–148.
10. Васильев К.К., Служивый М.Н. Математическое моделирование систем связи : учеб. пособие. – Ульяновск : УлГТУ, 2008. – 168 с.