

УДК 004.274

С.Е. Колесник, магистрант,  
С.А. Цололо, канд. техн. наук, доц.,  
Донецкий национальный технический университет, г. Покровск, Украина  
tyllik@mail.ru

## Разработка модульной системы звукового вещания с сетевым доступом на основе микроконтроллера

*Разработана модульная система звукового вещания с сетевым доступом на основе микроконтроллера серии STM32. Система решает комплекс задач, связанных со звуковым оповещением на удаленных узлах, и предлагает максимальную мобильность системы, минимальные затраты на производство и обслуживание за счет возможности организации каскадных систем радиовещания. Система состоит из генератора потоков, сервера-повторителя потоков и устройств вывода. Разработка собственного стека протоколов передачи данных обеспечивает достаточный уровень защиты информации.*

**Ключевые слова:** звуковое вещание, модульная система, сетевой доступ, микроконтроллер.

### Введение

Изобретение радио стимулировало организацию системы звукового вещания. До широкого распространения телевидения звуковое вещание было единственным средством оперативной передачи информации большому числу абонентов. Первые сети звукового вещания доказали высокую эффективность нового вида электросвязи. Вскоре сети звукового вещания получили широкое распространение во всех развитых странах. Важная особенность звукового вещания – в отличие от систем телеграфной и телефонной связи – использование односторонних (симплексных) каналов для доставки информации.

В начале 90-х годов европейские страны объединили свои усилия в разработке перспективной системы цифрового звукового вещания (DAB – Digital Audio Broadcasting), и в 1994 году эта разработка завершилась. В ряде стран Европы, Азии и Америки в 1996 году началась опытная эксплуатация наземных сетей вещания стандарта DAB, в котором используется метод модуляции COFDM. В этой системе для устранения избыточности 3В сигналов используется метод MUSICAM.

Ширина полосы частот, которая занимается одним частотным каналом, в этой системе составляет 1.5 МГц. Сети DAB по эффективности использования РЧС существенно превосходят сети ОВЧ-ЧМ вещания, поскольку, во-первых, в этих сетях упрощается обеспечения ЭМС между различными станциями, работающими в сети, а во-вторых, в этих сетях возможна реализация идеи создания синхронных одночастотных сетей покрывают значительные регионы страны.

В одном канале системы DAB могут быть переданы до шести стереофонических программ с качеством компакт-дисков. За последние несколь-

ко лет опытные сети DAB созданы в большинстве европейских стран, а также в Канаде, Китае, Гонконге, Индии, Малайзии, Японии, Южной Африке и в некоторых других странах. В первом десятилетии XXI века в сетях вещания во многих странах осуществлен переход от аналоговых систем к цифровым [1].

Звуковое вещание может использовать радиоканалы и проводные средства связи. Обычно радиоканалы делятся по диапазонам выделенных частот: длинные, средние, короткие и ультракороткие волны. Проводные каналы связи обычно делят на аналоговые и цифровые. Вне зависимости от среды распространения сигнала средства звукового вещания делят на однопрограммные и многопрограммные, а также на моно- и стереофонические [2].

Каналы обратной связи, реализованные в ряде систем звукового вещания, используются для контроля качества передаваемых сигналов и управления оборудованием. Информационная обратная связь обычно создается за счет использования сетей телефонной связи (фиксированных и мобильных), а также интернет.

**Целью работы** является создание модульной системы звукового вещания с сетевым доступом на основе микроконтроллера STM32 F4.

### Задачи работы:

- анализ необходимой функциональности модульной системы;
- оценка возможности создания и использования собственного стека данных для передачи информации внутри сети;
- исследование работы свободной операционной системы FreeRTOS для микроконтроллеров семейства STM32;
- оценка возможности подключения дополнительных модулей для использования системы вещания в качестве систе-

- мы срочного оповещения;
- поиск методов физического и программной защиты созданной сети.

### Структура и принципы работы модульной системы звукового вещания с сетевым доступом

Структурно система звукового вещания средствами интернет состоит из трех основных элементов (рис. 1):

1. Генератор потоков – генерирует аудиопоток одним из трех способов (из списка звуковых файлов, прямой оцифровкой с аудиокарты, копированием уже существующего в сети потока) и направляет его серверу. При этом станция потребляет минимум трафика, так как создает один поток, а передача потока осуществляется в аналоговом или цифровом виде (стрелка 1 на рис. 1).
2. Сервер (повторитель потока) – принимает аудиопоток от станции и перенаправляет его копии всем подключенным к серверу клиентам, по сути является повторителем данных. При этом трафик сервера пропорционален количеству слушателей + 1.

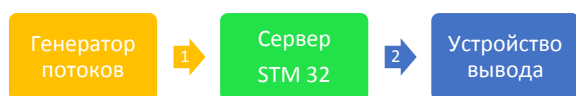


Рисунок 1 – Схема передачи данных

3. Устройство вывода – принимает аудиопоток от сервера в формате MP3 (стрелка 2 на рис. 1) и превращает его в аудиосигнал интернет-радиостанции.

Таким образом можно организовывать каскадные системы радиовещания, используя в качестве клиента повторитель потока, – в этом случае клиент, потребляет минимум трафика. Клиент-серверный трафик каскадной системы зависит от количества слушателей такого клиента [3]. Кроме потока звуковых данных, обычно передаются также текстовые метаданные, чтобы в плеере отображалась информация о станции, текущей композиции, другая служебная информация.

В качестве станции могут выступать обычные программы-аудиоплееры со специальным плагином-кодеком или специализированная программа (например, ICes, EzStream, SAM Broadcaster), а также аппаратные устройства, преобразующие аналоговый аудиопоток в цифровой.

Существует большое количество серверов интернет-вещания. Например, широко распространенный сервер Shoutcast компании Nullsoft, разработанный специально для своего проигрывателя Winamp. Или другой вариант – сервер Icecast

обладает гораздо большей функциональностью, распространяется свободно (на условиях GNU GPL) и бесплатно. В отличие от Shoutcast, Icecast способен передавать несколько аудиопотоков и требует меньше ресурсов на аудио поток, чаще обновляется, поддерживает UTF-теги и различные форматы аудио, но он гораздо сложнее в настройке.

Серверы могут отличаться по форматам аудио, например, MP3, OGG/Vorbis, RealAudio. В качестве клиента можно использовать любой медиаплеер, поддерживающий потоковое аудио и способный декодировать формат, в котором вещает радио. Следует заметить, что интернет-радио к эфирному радиовещанию, как правило, никакого отношения не имеет, за редкими исключениями, которые на территории СНГ не распространены.

Кроме того, появляются облачные решения по созданию интернет-радиостанций. Вся функциональность и необходимое программное обеспечение для трансляции/ретрансляции радио находится в облаке. Существуют и более профессиональные решения для радиовещания – радиохостинги, однако они адаптированы для людей, обладающих фундаментальными представлениями о радиовещании в интернете.

Подход, который предлагается в данной работе, может использоваться во многих направлениях и сферах применения. Интернет дает возможность создания защищенных соединений. Это значит, что можно создавать отдельные потоки данных – для широкого круга слушателей, и отдельные каналы для специализированных абонентов. При этом для реализации подобной схемы будет достаточно только одного устройства.

В работе для реализации поставленных задачи используются три основных модуля:

1. Плата STM32F4DISCOVERY выступает в роли главного сервера – здесь происходит прием, обработка, хранение и выдача данных. К плате подключаются все дополнительные модули.
2. Ethernet модуль ENC28J60 – модуль для приема и передачи интернет-потока на плату STM32F4DISCOVERY.
3. SD-модуль – среднее звено между сервером и карточкой SD, на которой хранятся все данные и программа сервера.

### Алгоритм работы системы

Работа модульной системы звукового вещания состоит из следующих этапов:

1. Системный администратор или лицо с правами администратора подключается к веб-интерфейсу системы удаленно через интернет.
2. В этот момент происходит обращение к МК STM32F4 через Ethernet-порт, а

уже оттуда – к плате SD-карты с вставленной картой, на ней хранится непосредственно сам сайт.

3. Далее пользователь самостоятельно выбирает действие: он может либо активировать и подать на исполнение один из заранее созданных аудиофайлов, либо запустить любой звуковой поток из интернета, либо же через устройство ввода (микрофон) начать трансляцию в online-режиме. В этот момент происходит обращение к STM32 – идет обработка и запуск звуковой дорожки в заранее сформированном MP3-файле на устройства вывода (динамики), либо преобразование аналогового сигнала в цифровой вид с тем же выводом на динамики.

4. Вывод на выходное устройство происходит либо по требованию пользователя, либо по заранее установленному сценарию. Например, при наступлении события заданного тревожным триггером. Данное событие может случиться при программно заданных ситуациях, либо по сигналу от внешних датчиков (необходимо дополнительное подключение внешних устройств). В этот момент, по результатам обработки указанного события процессором STM32 происходит передача цифрового сигнала на выходную группу устройств.

### Реализация узлов модульной системы звукового вещания с сетевым доступом

#### STM32F4DISCOVERY

Компания STMicroelectronics одной из первых вывела на рынок семейство микроконтроллеров на ядре ARM Cortex-M3 и на сегодняшний день по праву занимает лидирующее место среди производителей микроконтроллеров на этом ядре. Все началось в 2007 году с двух семейств – Performance Line (STM32F103) и Access Line (STM32F101). Компания постоянно работает как над расширением номенклатуры семейства, так и над улучшением характеристик, не забывая при этом также пополнять программную составляющую продукта.

На сегодняшний момент STM32 уже состоит из 10 линеек [4]. Для широчайшего круга применений предлагают микроконтроллеры с высокой производительностью, недорогие микроконтроллеры общего применения, микроконтроллеры с ультранизким энергопотреблением, микроконтроллеры со встроенным радиомодулем для беспроводных решений, и все это – на одном ядре ARM Cortex – M3. Нельзя не отметить pin-to-pin и программную совместимость со всех линеек.

Микроконтроллеры серии STM32 F4 основаны на ARM Cortex-M4 (рис. 2) Главные узлы STM32, которые были использованы в проекте – выделены на общей схеме. STM32 F4 является

продолжением ведущей линейки STM32, обладающей еще более высокой производительностью. Так же, как серия STM32 F2, эти микроконтроллеры изготавливаются по 90 нм-технологии и используют запатентованный ST Microelectronics ART Accelerator для достижения лучших результатов тестов среди основанных на ядре Cortex-M микроконтроллеров, достигая показателей в 225 DMIPS/606 CoreMark и работая с флэш-памяти на частоте 180 МГц.

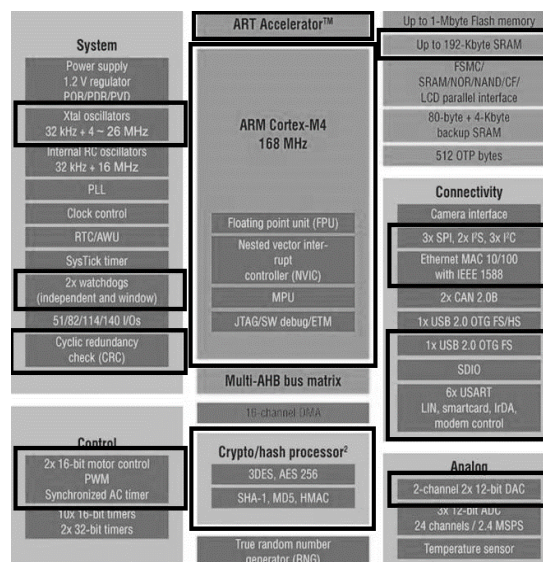


Рисунок 2 – Структура МК STM32F4xx

Инструкции DSP и модуль операций с плавающей точкой дают возможность применять данные контроллеры в широком спектре проектов. Динамическое потребление питания позволяет снизить потребление тока при выполнении кода с флэш-памяти до 140 мкА/МГц для STM32F401 (максимальная частота до 84 МГц) и до 238 мкА/МГц для STM32F42x/43x, работающих на частоте до 180 МГц. Микроконтроллеры серии STM32 F4 является результатом идеального симбиоза возможности управления МК в реальном времени и производительностью обработки сигналов, свойственной сигнальным процессорам, дополняя таким образом линейку контроллеров STM32 новым классом устройств, сигнальными микроконтроллерами (англ. Digital signal controller, DSC). Серия состоит из пяти классов продуктов, которые полностью совместимы по выводам, периферии и программному коду.

#### Ethernet модуль ENC28J60

Ethernet модуль ENC28J60 (рис. 3) предназначен для сборки устройства управления электрическими приборами через интернет и передачи данных от датчиков для отображения на веб-ресурсе. При этом с того же веб-ресурса можно управлять приборами и проверять выполнение команд.



управлінням.

Новизна реалізованого проекту заключається в використанні можливостей бюджетної апаратури для реалізації задач достатньо високого рівня складності. Практична значимість методу заключається в зниженні матеріальних затрат на розробку і виготовлення комплексної системи звукового оповіщення. На даний момент вартість використаного обладнання наступна:

- плата STM32F4DISCOVERY – 13 \$;
- Ethernet-модуль – 2.45 \$;

– SD-модуль – 0.3 \$;

– расходні матеріали – около 1.5 \$.

Ітого, на сьогоднішній день загальна вартість базового варіанта системи становить около 18 \$. У аналогічних комплексних рішеннях, які на даний момент представлені на світовому ринку і ринку СНГ в частині, роздрічна ціна знаходиться в межах від 117 до 130 \$ + около 30-40% вартості додатково за послуги монтажу і запуску системи в експлуатацію.

### Список літератури

1. Виртуальний комп'ютерний музей [електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.computer-museum.ru/connect/krugi6.htm>.
2. Звукове вещання [електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://studopedia.org/8-207760.html>.
3. Інтернет-радіо: інформація, настройка, допомога [електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://radio-tochka.com/content/howto>.
4. Джозеф Ю. Ядро Cortex-M3 компанії ARM. Повне керівництво – М.: Додэка-XX1, 2012. – 552 с.
5. Лабораторний практикум для вивчення мікроконтролерів архітектури ARM Cortex-M4 на базі налагодного модуля STM32F4 Discovery – Москва-Николаев: МФТИ-ЧГУ, 2013. – 71 с.
6. Обзор семейства STM32F4 [електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://fpga.in.ua/>.
7. ENC28J60 Ethernet модуль [електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://arduino-kit.ru/>.
8. Модуль Mini SD / Micro SD CARD [електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://arduino-kit.ru>.
9. Начинаем изучать Cortex-M на примере STM32 [електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://habrahabr.ru/post/216843/>.
10. Ковалгин Ю.А. Электроакустика и звуковое вещание. Учебное пособие. – М.: Горячая линия-Телеком, Радио и связь, 2007 – 872 с.

Надійшла до редакції 10.09.2016

### С.Є. КОЛЕСНИК, С.О. ПОЛОЛО

Донецький національний технічний університет (Україна)

### РОЗРОБКА МОДУЛЬНОЇ СИСТЕМИ ЗВУКОВОГО МОВЛЕННЯ З МЕРЕЖЕВИМ ДОСТУПОМ НА ОСНОВІ МІКРОКОНТРОЛЕРА

Розроблено модульну систему звукового мовлення з мережовим доступом на основі мікроконтролера серії STM32. Система вирішує комплекс завдань, пов'язаних зі звуковим сповіщенням на віддалених вузлах, і пропонує максимальну мобільність системи, мінімальні витрати на виробництво і обслуговування за рахунок можливості організації каскадних систем радіомовлення. Система складається з генератора потоків, сервера-повторювача потоків і пристрою виведення звуку. Розробка власного стека протоколів передачі даних забезпечує достатній рівень захисту інформації.

**Ключові слова:** звукове мовлення, модульна система, мережовий доступ, мікроконтролер.

### S. KOLESNYK, S. TSOLOLO

Donetsk National Technical University (Ukraine)

### DEVELOPMENT OF A MODULAR SYSTEM AUDIO BROADCASTING WITH A NETWORK ACCESS BASED ON THE MICROCONTROLLER

A modular audio broadcasting system with network access based on a microcontroller was investigated and subsequently developed. This approach solves many problems associated with notification of remote nodes. The following approach gives the maximum mobility of the system, the minimum cost of production and service. Development of the own transmission protocol stack provides a high level of information security. The system consists of a flow generator, a repeater server streams and output devices. The purpose is to create and study modular audio broadcasting systems with network access based on the microcontroller STM32F4. The main objectives of the study are: analysis of the modular system, study of the possibility to create and use own stack for data information transfer within own network, investigation of the free operating system FreeRTOS for STM32 MCU family, creating additional connectivity modules for use of broadcasting system as a system of emergency notification, search for techniques of physical and software protection of created network. Research object is a modular audio broadcasting system. Research subject is creating a cheap sound broadcasting system with easy installation.

**Keywords:** audio broadcasting, network access, modular system, microcontroller.