

Ю. В. Шевчук, А. Ю. Пономарев, А. В. Елистратов
Семейство коммутаторов Ethernet «BotikSwitch»

Аннотация. Представлено семейство компактных управляемых коммутаторов Ethernet, ориентированных на использование региональными операторами связи при построении сетевой инфраструктуры с архитектурой FTTx. В состав семейства входят 5 моделей: от коммутаторов с 9 портами SFP для подключения ВОЛС до малых абонентских коммутаторов с одним портом SFP. Коммутаторы работают в индустриальном температурном диапазоне, питаются от источника постоянного тока с напряжением 4.5-26В, имеют интерфейс для мониторинга внешних датчиков. Протокол управления ориентирован на мониторинг и управление большим числом коммутаторов в автоматическом режиме. Поддерживаются необходимые функции диагностики и управления, в том числе ring, управление скоростью для любого порта с шагом 64Кбит/с, VLAN 802.1Q, фильтрация трафика по MAC-адресам. Семейство коммутаторов дает возможность создания компьютерных сетей с высокими характеристиками при небольших затратах.

Ключевые слова и фразы: Интернет, управляемый коммутатор Ethernet, VLAN, ВОЛС, SFP, FTTB, FTTH, FTTx.

Введение

Технология локальных сетей Ethernet [1] реализует высокоскоростную пакетную передачу данных по медным и оптическим кабелям. Первоначально создававшаяся для локальных сетей компьютеров, сегодня она широко применяется в сетях масштаба города (MAN) и даже глобальных сетях (WAN).

Основным видом активного оборудования сетей Ethernet на сегодняшний день являются коммутаторы: электронные устройства с несколькими портами для подключения каналов связи, передающие

Работа поддержана программой фундаментальных исследований ОНИТ РАН «Научные основы создания гетерогенных телекоммуникационных и локационных систем и их элементной базы».

© Ю. В. Шевчук, А. Ю. Пономарев, А. В. Елистратов, 2014

© Институт программных систем имени А. К. Айламазяна РАН, 2014

© Программные системы: теория и приложения, 2014

пакеты из порта в порт по определенным правилам [2]. Коммутаторы Ethernet серийно производятся десятками производителей, радикально отличаясь по характеристикам и ценам — от 500 рублей за неуправляемый 8-портовый коммутатор до сотен тысяч рублей за модульный коммутатор для ЦОД (центр обработки данных).

Несмотря на столь широкое разнообразие, на рынке оказывается невозможно найти коммутаторы, оптимальные по цене и характеристикам для некоторых приложений. В статье описывается семейство коммутаторов Ethernet, разработанное для одного из таких приложений — для сетей масштаба малого города, конкретно — для организации сетей операторов связи, предоставляющих услуги доступа в Интернет по технологиям FTTH (Fiber To The Home/Building — оптоволокно до жилища/здания) в местностях с малоэтажной и коттеджной застройкой.

1. История

Компьютерная сеть «Ботик» в г.Переславле-Залесском ведет историю с 1994 г., эпохи электронной почты по протоколу UUCP, коммутируемых и выделенных телефонных линий, начала Интернет в России. Специфика сети «Ботик» состояла в резко ограниченном финансировании, в связи с чем движение по общепринятому в то время пути (оборудование фирм Sun и Cisco) было невозможно.

Внутригородская сеть с самого начала строилась с использованием технологии Ethernet, в качестве активного оборудования сети использовались концентраторы и маршрутизаторы на базе ПК с ОС GNU/Linux. С ростом числа абонентов и объемов трафика концентраторы заменялись недорогими неуправляемыми коммутаторами, количество единиц активного оборудования стало исчисляться сотнями. Примерно к 2004 году пришло понимание, что эксплуатация такой сети оказывается неподъемной задачей. Во-первых, невысокая надежность дешевых коммутаторов приводила к сбоям и необходимости поездки к сбойному узлу для восстановления работоспособности путем выключения-включения. Во-вторых, при большом числе неуправляемых коммутаторов в сети Ethernet даже локализация сбойного узла оказывалась трудоемким процессом, требующим посещения бригадой нескольких точек вероятного сбоя.

На этом этапе возникла идея «Ethernet-коробочки» — миниатюрного устройства, которое можно смонтировать рядом с каждым коммутатором и использовать для диагностики сети при помощи команды ping. В 2004 году такие устройства были разработаны на базе SoC (System-on-chip — система на кристалле) AT94K фирмы Atmel. Дешевых микроконтроллеров с интерфейсом Ethernet тогда не было, для реализации интерфейса Ethernet пришлось использовать микроконтроллер с FPGA. Кроме первоначальной задачи «ответа на ping» устройство поддерживало интерфейс МП для доступа к регистрам интегрального контроллера коммутатора, давая доступ к статистике по портам коммутатора, таблице коммутации и управлению состоянием портов. Устройства получили название Etherbox, изготавливались мелкими сериями на опытном производстве ИПС им. А.К.Айламазяна РАН и встраивались в покупные коммутаторы с интегральными контроллерами Ethernet RTL8309SB (Realtek, Тайвань) и IP178C (IC Plus, Тайвань). В результате получались дешевые и малогабаритные управляемые коммутаторы.

Опыт работы с Etherbox показал, что управляемые коммутаторы действительно решают проблему локализации неисправности. Но проблема надежности узлов оставалась нерешенной. Кроме того, встраивание Etherbox в готовые изделия других производителей являлось крайне затруднительным технологическим шагом, а с переходом производителей на микросхемы в корпусах BGA стало просто невозможным.

В 2008 г. была сделана попытка использования покупных управляемых коммутаторов, которая оказалась не очень удачной. Из нескольких десятков установленных коммутаторов к настоящему времени в строю не осталось ни одного. Коммутаторы были великоваты по габаритам, имели проблемы с надежностью, неудобный протокол управления (http, причем только для браузера Internet Explorer), задержку в десятки секунд от включения до работоспособного состояния. Хотя надо отдать должное этим коммутаторам: они поддерживали механизм VLAN 802.1Q, использование которого позволило радикально изменить структуру сети, перейти от множества мелких к небольшому числу высокопроизводительных маршрутизаторов. Периферийная сетевая инфраструктура стала состоять почти полностью из коммутаторов Ethernet, маршрутизаторы остались только в центральных узлах сети, вместе с серверами.

Наконец, в 2009 г. было принято решение при поддержке ОНИТ РАН разработать собственный коммутатор, не имеющий недостатков, с которыми приходилось сталкиваться в практике эксплуатации региональной сети. Коммутатор должен был включать в себя блок с функциональностью устройства Etherbox для мониторинга и управления и иметь надежность, соответствующую оборудованию операторского класса.

За 6 лет выполнения работ по проектам ОНИТ РАН разработано и проверено эксплуатацией 5 моделей коммутаторов. Еще две модели с поддержкой стандарта 100BASE-FX (ВОЛС 100 Мбит/с) были разработаны и даже внедрены в небольших количествах, но не вошли в окончательный состав семейства: было принято решение использовать во всех моделях один стандарт передачи для ВОЛС — 1000BASE-X.

2. Состав семейства

Состав семейства коммутаторов BotikSwitch приведен в табл.1, характеристики каждого коммутатора в таблицах 2, 3, 4, 5, 6. Пример сети, построенной на коммутаторах семейства, показан на рис. 1.

Отметим, что в примере используется маршрутизатор с единственным физическим портом; маршрутизация осуществляется между виртуальными приватными сетями. Этот вариант годится для небольших сетей, в которых суммарный трафик обслуживаемых роутером сетей не превышает пропускной способности физического порта.

3. Отличительные черты

Перечислим отличительные черты семейства коммутаторов BotikSwitch, а потом рассмотрим каждую из них подробнее:

- адекватный задаче набор портов;
- малогабаритность;
- наличие необходимых функций мониторинга и управления;
- питание от источника постоянного тока 4.5–26В;
- шина I^2C для мониторинга ИБП и других датчиков;
- низкое энергопотребление;
- индустриальный температурный диапазон;

- конфигурация на съемном носителе;
- возможность доработки, развития, устранения недостатков;
- ремонтпригодность;
- время жизни модели;
- цена.

3.1. Адекватный задаче набор портов

Состав портов коммутаторов ориентирован на создание сетей с древовидной топологией (нерегулярной древовидной топологией — с переменной арностью). Все коммутаторы, кроме «абонентских» (BSG15, BSG11F4), имеют три и более гигабитных порта SFP, обеспечивая возможность ответвления магистрали в каждом узле.

Таблица 1. Состав семейства коммутаторов BotikSwitch

Модель	SFP 1000	UTP 1000	UTP 10/100	Назначение
BSG3F16	3		16	Подключение конечных пользователей в многоквартирных домах
BSG54	5	4		Организация гигабитной магистрали, подключение к сети обслуживания оператора (серверы, маршрутизаторы)
BSG9	9			Организация гигабитной магистрали, подключение конечных пользователей в частном секторе в связке с BSG11F4/BSG15
BSG15	1	5		Подключение конечных пользователей в частном секторе (коммутатор в помещении абонента)
BSG11F4	1	1	4	Подключение конечных пользователей в частном секторе (коммутатор в помещении абонента)

ТАБЛИЦА 2. Характеристики коммутатора BSG3F16

Объем таблицы коммутации	8192
Объем буферной памяти, Мбит	1
Максимальное количество VLAN 802.1Q	4094
Счетчиков RMON на порт	30
Потребляемая мощность без SFP-трансиверов, мин/макс, Вт	1.9/6
Диапазон рабочих температур, °C	-40..+85
Габариты, мм	210x190x35
Масса, г	580

Для сравнения, большинство имеющихся на рынке коммутаторов уровня доступа имеют не три, а два гигабитных порта SFP, позволяя создавать топологии «звезда» или «кольцо», но не «дерево».

Нерегулярная древовидная топология оказывается наиболее естественной, когда сеть строится «по запросу» в районах с плохо предсказуемым спросом. При появлении новой заявки на подключение выбирается ближайший узел в существующей сети, и

ТАБЛИЦА 3. Характеристики коммутатора BSG54

Объем таблицы коммутации	8192
Объем буферной памяти, Мбит	1
Максимальное количество VLAN 802.1Q	4094
Счетчиков RMON на порт	30
Потребляемая мощность без SFP-трансиверов, мин/макс, Вт	4.1/6
Диапазон рабочих температур, °C	-40..+85
Габариты, мм	245x140x35
Масса, г	455

ТАБЛИЦА 4. Характеристики коммутатора BSG9

Объем таблицы коммутации	8192
Объем буферной памяти, Мбит	1
Максимальное количество VLAN 802.1Q	4094
Счетчиков RMON на порт	30
Потребляемая мощность без SFP-трансиверов, мин, Вт	2.2
Диапазон рабочих температур, °C	-40..+85
Габариты, мм	258x128x27
Масса, г	420

от него делается ответвление к месту расположения нового абонента. Если сеть построена на коммутаторах семейства BotikSwitch, в любом узле сети есть как минимум один порт для создания ответвления, а если ответвлений нужно больше, в узел добавляется еще один коммутатор, например BSG9, дающий возможность создать еще восемь ответвлений от данного узла.

ТАБЛИЦА 5. Характеристики коммутатора BSG15

Объем таблицы коммутации	8192
Объем буферной памяти, Мбит	1
Максимальное количество VLAN 802.1Q	4094
Счетчиков RMON на порт	30
Потребляемая мощность без SFP-трансивера, мин/макс, Вт	1.1/1.6
Диапазон рабочих температур, °C	-40..+85
Габариты, мм	178x94x30
Масса, г	230

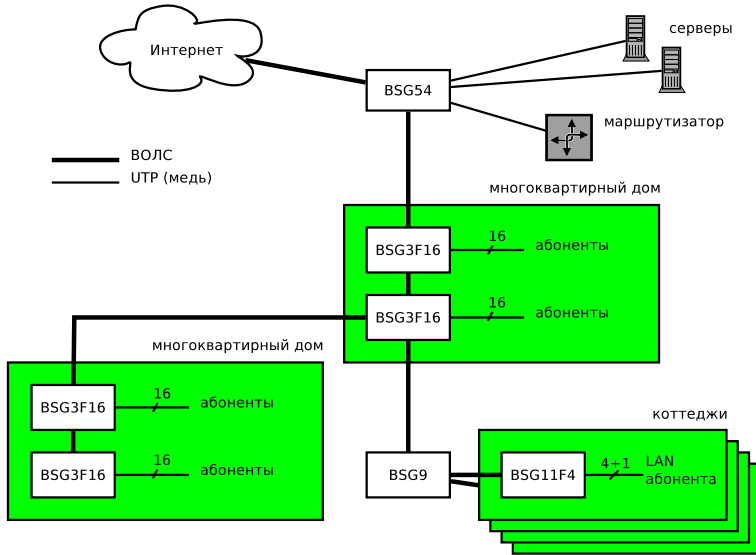


Рис. 1. Пример сети на коммутаторах BotikSwitch

ТАБЛИЦА 6. Характеристики коммутатора BSG11F4

Объем таблицы коммутации	8192
Объем буферной памяти, Мбит	1
Максимальное количество VLAN 802.1Q	4094
Счетчиков RMON на порт	30
Потребляемая мощность без SFP-трансивера, мин/макс, Вт	1.1/1.2
Диапазон рабочих температур, °C	-40..+85
Габариты, мм	178x95x27
Масса, г	220

3.2. Малогабаритность

Узлы региональной сети представляют собой вандалоустойчивые контейнеры, содержащие оптическую патч-панель, малогабаритный ИБП и один или более коммутаторов. Узлы, как правило, располагаются в не предназначенных изначально для этого местах: на чердаках, в подъездах, на столбах. Попытка использовать стандартное оборудование, рассчитанное на установку в стойки 19 приводит к необходимости установки громоздких ящиков, вызывающих неудобство жильцов.

На рынке присутствует класс компактных коммутаторов «для рабочих групп», которые подходят для установки в малогабаритные контейнеры. К сожалению, эти коммутаторы или полностью неуправляемые, или не имеют всех необходимых функций управления, а также не обеспечивают необходимого уровня надежности.

Коммутаторы семейства BotikSwitch сочетают в себе малогабаритность (Таб. 2, 3, 4, 5, 6) и наличие необходимых функций управления.

3.3. Функции управления

3.3.1. *ping*

Предметом первой необходимости в разветвленных сетях Ethernet является возможность тестирования сети, локализации неисправности. Возможность удаленного тестирования является одним из преимуществ сетей с активным оборудованием в узлах перед пассивными оптическими сетями (PON).

Традиционным средством тестирования в сети Интернет является метод эхо-контроля (утилиты `ping`), позволяющая статистически оценить задержки и потери пакетов до любого узла сети путем отправки пакетов ICMP ECHO REQUEST и приема пакетов ICMP ECHO REPLY. В коммутаторах семейства BotikSwitch функция ответа на пакеты ICMP ECHO REQUEST реализована эффективно, что позволяет использовать «быстрый пинг большими пакетами» (`ping -s 1472 -i0.001 -c1000`) для быстрой статистической оценки качества каналов связи.

Для сравнения, во многих типах коммуникационного оборудования, в частности в маршрутизаторах фирмы Cisco, обработка пакетов ICMP ECHO REQUEST выполняется на низком приоритете, что может исказить результаты тестирования (тест показывает эпизодические задержки и потери пакетов, которые вызваны не проблемами каналов связи, а всплесками нагрузки на процессор маршрутизатора).

3.3.2. *Сторожевой таймер (watchdog)*

Функция сторожевого таймера обеспечивает автоматическое восстановление устройства после сбоя, выполняя сброс и реинициализацию коммутатора. Она также полезна в качестве страховки от ошибок при удаленной конфигурации устройства: если неудачная конфигурация привела к потере связи коммутатора с управляющей станцией, устройство перезагрузится со старой конфигурацией.

Фактически в коммутаторах два сторожевых таймера — быстрый и медленный. Быстрый аппаратный таймер с фиксированным периодом 16 секунд перезагружает управляющий микроконтроллер в случае нештатного поведения (подвисания) программы. Медленный таймер реализован программно на управляющем микроконтроллере, и перезагружает интегральный контроллер коммутатора в случае потери связи коммутатора с управляющей станцией.

3.3.3. *VLAN 802.1Q*

Распределенные виртуальные сети (стандарт IEEE 802.1Q [3]) являются признанным и широко применяемым средством для ограничения областей распространения широковещательного трафика и обеспечения безопасности данных в сетях Ethernet.

В коммутаторах семейства BotikSwitch поддерживается одновременное использование всех 4094 идентификаторов VLAN (VID), предусмотренных стандартом. Любой порт можно сконфигурировать как принадлежащий любому числу VLAN.

Поддерживаются как совместные (SVL), так и отдельные (IVL) таблицы коммутации ([3], Annex B). Совместная таблица коммутации позволяет максимизировать количество MAC-адресов, которые помещаются в таблице коммутации. Раздельные таблицы коммутации позволяют реализовать сложные пути распространения пакетов (пакет проходит через один коммутатор несколько раз в разных VLAN в разных направлениях), в частности, обеспечить

нормальное функционирование сети при наличии конфликтующих MAC-адресов в разных VLAN.

Выбор режима обучения (IVL/SVL) определяется в момент создания VLAN на коммутаторе; при этом можно указать индекс таблицы коммутации, которую будет использовать данная VLAN. Использование одного индекса (например, 0) для всех VLAN дает «чистый» режим SVL; использование отдельного индекса для каждой VLAN (например, номера VLAN) дает «чистый» режим IVL. Использование одного индекса для нескольких VLAN позволяет получить промежуточные «частично-совместные» режимы.

3.3.4. Двойное тегирование VLAN

Режим двойного тегирования (называемый также QinQ) ([4]) позволяет организовать туннелирование через сеть оператора в отдельной VLAN пользовательских пакетов, имеющих назначенные пользователем теги 802.1Q.

Реализация режима QinQ в коммутаторах BotikSwitch имеет отклонения от стандарта. Стандартом определяется использование специального значения поля EtherType в заголовках пакетов 2 уровня: 0x88a8 вместо 0x8100, используемого для обычных VLAN-пакетов. В стандарте поясняется, что это специальное значение поля EtherType позволяет отличить пакеты QinQ от обычных пакетов, хотя польза от этой возможности «отличить» не вполне ясна. В связи с аппаратным ограничением используемых в коммутаторах семейства BotikSwitch интегральных контроллеров Ethernet, коммутаторы BotikSwitch используют для внешнего VLAN-тага QinQ обычное значение EtherType 0x8100. Это оказывается наиболее удобно при необходимости организовать туннель через существующую магистраль, работающую в режиме 802.1Q: пакеты QinQ обрабатываются коммутаторами по пути распространения пакета по обычным правилам 802.1Q без необходимости их настройки на работу в режиме 802.1ad.

Нужно заметить, что во многих коммутаторах других производителей также используется нестандартное значение EtherType для внешнего тега пакетов QinQ (0x8100, 0x9100), и все известные коммутаторы позволяют задать в конфигурации тег, отличный от умолчательного. Поэтому данное отклонение от стандарта не приводит к потере совместимости с оборудованием других производителей.

3.3.5. Ограничение скорости передачи

Все коммутаторы семейства BotikSwitch поддерживают возможность ограничения максимальной скорости передачи через порт коммутатора с шагом 64Кбит/с. Это используется для реализации тарифной политики: ширина полосы пропускания, предоставляемой пользователю, устанавливается пропорционально стоимости тарифа.

3.3.6. Ограничение трафика по MAC-адресам

В нормальном режиме коммутатор не ограничивает прохождение пакетов. Каждый поступивший в коммутатор пакет пересылается или в порт, найденный по таблице коммутации, или во все порты, если адрес получателя в таблице коммутации не присутствует.

Все коммутаторы семейства BotikSwitch позволяют статически привязать один или несколько¹ MAC-адресов к определенному порту. Для портов, имеющих привязанные адреса, все входящие пакеты проверяются на присутствие MAC-адреса отправителя в списке привязки. Если MAC-адрес в списке привязки есть, пакет распространяется по обычным правилам; если нет, пакет блокируется.

Этот механизм используется для повышения безопасности сети. Если злонамеренный пользователь устанавливает MAC-адрес другого пользователя с целью выдать свою машину за другую, отправляемые пакеты будут заблокированы. Этот же механизм позволяет нейтрализовать негативный эффект от появления закольцовки на стороне пользователя:² пакеты, прошедшие через закольцовку, блокируются, не возвращаются обратно в сеть и не создают паразитного трафика и нарушения таблиц коммутации, которые обычно является немедленным следствием закольцовки.

3.3.7. Зеркалирование трафика

Все коммутаторы семейства BotikSwitch поддерживают возможность зеркалирования трафика – дублирования входящих и/или исходящих пакетов с одного или нескольких портов в указанный порт. Эта возможность может использоваться при необходимости мониторинга трафика.

¹количество привязываемых адресов ограничено только размером таблицы коммутации

²Удивительно частое явление: уборщица в помещении пользователя подобрала лежащий на полу конец патч-корда и вставила в свободный порт того же коммутатора, куда вставлен второй конец патч-корда—«для порядка»

3.4. Функции мониторинга

Весь мониторинг осуществляется через кольцевой буфер («лог»), в который коммутатор записывает возникающие события. Содержимое кольцевого буфера периодически передается на сервер мониторинга.

3.4.1. Мониторинг состояния портов

При изменении состояния портов (отключен—подключен на такой-то скорости) делается запись в лог.

3.4.2. Мониторинг статистики по портам (RMON)

Коммутаторы поддерживают 30 счетчиков статистики (RMON) на каждый порт коммутатора: количество входящих/исходящих байтов и пакетов, количество ошибочных пакетов, счетчики распределения пакетов по размеру ([6]). Счетчики считываются регулярно (интервал считывания задается конфигурацией) и отправляются на сервер мониторинга.

3.4.3. Мониторинг MAC-адресов

Появление нового адреса в таблице коммутации также является событием, которое может быть записано в лог; в конфигурации можно задать, для каких портов это делается, для каких нет. Для портов, обращенных к магистрали, этот режим будет создавать интенсивный поток малоценной информации, поэтому для таких портов мониторинг MAC-адресов целесообразно выключить. Напротив, для портов, обращенных к пользователям, данных будет немного (столько, сколько сетевых устройств в сети пользователя), и это ценные данные, позволяющие контролировать фактическое местоположение каждого абонента сети.

Сервер мониторинга на основании информации о принадлежности MAC-адресов портам и таблицы соответствия <IP-адрес, MAC-адрес>, полученной с обслуживающего подсеть маршрутизатора, может точно определить, на каком порту коммутатора находится какой IP-адрес. Этой информации достаточно, чтобы пресекать использование абонентами не принадлежащих им IP-адресов с целью обхода ограничений на доступ к сервисам, фильтрующим обращения по IP-адресу, или с целью обхода системы биллинга (пользования сетью за счет другого абонента).

3.4.4. Контроль топологии сети

Для контроля топологии сети используется стандарт IEEE 802.1AB: протокол LLDP, Link Layer Discovery Protocol [5]. Протокол LLDP обеспечивает получение информации вида «порт А коммутатора X подключен к порту В коммутатора Y», и некоторой сопутствующей информации.

Обычно протокол LLDP реализуется так, что информация о соседних коммутаторах, поступающая в пакетах протокола LLDP, запоминается коммутатором и может быть считана управляющей станцией по протоколу SNMP. Такая реализация требует памяти для хранения информации о соседних коммутаторах, а также регулярного опроса коммутаторов с управляющей станции для считывания этой информации.

В коммутаторах BotikSwitch информация из полученных пакетов протокола LLDP не хранится, а записывается в лог подобно всем остальным событиям. Преимуществом такой реализации является экономия памяти и передача информации протокола LLDP на сервер без задержки.

3.4.5. Мониторинг внешних датчиков

Все коммутаторы семейства BotikSwitch имеют разъем BotikBus шины для подключения внешних сенсорных модулей, совместимой с шиной I²C фирмы Philips. В первую очередь этот разъем предназначен для мониторинга подсистемы питания, упомянутых выше ИБП MicroUPS и NanoUPS. С ИБП снимается следующая информация: наличие напряжения в первичной электросети, напряжение батареи, ток нагрузки, ток заряда батареи, температура, время работы с момента включения. По данным мониторинга возможно оповещение персонала о проблемах электропитания и контроль старения батареи.

Наличие шины BotikBus позволяет использовать коммутатор как узел модульной сенсорной сети [8]. Подключая те или иные модули проекта «Ботик-сенсор» к шине BotikBus, можно получить узел, обслуживающий десятки датчиков и исполнительных механизмов.

3.5. Протокол управления и мониторинга

В присутствующих на рынке коммутаторах встречаются главным образом три протокола мониторинга и управления: HTTP (или HTTPS), cli через telnet или ssh, и SNMP. Протоколы HTTP или

HTTPS реализуют, чтобы облегчить новому пользователю процесс конфигурации коммутатора. Этот способ конфигурации очень хорош для ручной конфигурации при помощи браузера, и очень плохо подходит для автоматической конфигурации (например, автоматического изменения ограничения скорости на порту коммутатора после изменения тарифного плана абонента). То есть для массовой конфигурации большого числа коммутаторов в сети оператора связи этот протокол мало полезен.

В коммутаторах семейства BotikSwitch все функции управления и мониторинга реализованы при помощи протокола Etherbox, разработанного в ИПС им. А. К. Айламазяна РАН для сенсорных сетей с модульной архитектурой [8]. Протокол Etherbox базируется на протоколе UDP и ориентирован на эффективное обслуживание большого числа устройств, в данном случае коммутаторов. Пакеты протокола Etherbox содержат небольшие интерпретируемые программы («проглеты»), которые исполняются на управляющем процессоре коммутатора, выполняя функции управления или считывая данные мониторинга. Проглет может выполнить содержащиеся в нем команды и завершиться, или может работать постоянно, периодически посылая на сервер порции данных мониторинга.

Последнее является существенным моментом: передача данных мониторинга происходит не в результате периодического опроса (поллинга) коммутаторов сервером, а по инициативе коммутаторов, причем дисциплина отправки (периодическая или по событиям) определяется алгоритмами проглетов. В данном режиме информация о событиях передается на сервер без задержки, присущей системам с поллингом.

Подобный режим теоретически можно было бы реализовать (хотя и с некоторой потерей эффективности) при помощи механизмов trap/inform протокола SNMP, но разработчикам коммутаторов BotikSwitch было удобнее базироваться на готовой реализации протокола и виртуальной машины Etherbox.

3.6. Питание от источника постоянного тока

Широкий диапазон допустимых напряжений питания позволяет использовать для питания коммутаторов широкое разнообразие источников: от практически любых преобразователей напряжения AC-DC, до принятого в системах промышленной автоматизации

напряжения питания 24В. В коммутаторах используются импульсные преобразователи напряжения, работа во всем диапазоне напряжений питания происходит с высоким КПД.

Для большинства управляемых коммутаторов, присутствующих на рынке, характерно питание от сети 220В. Это оказывается препятствием для организации бесперебойного питания коммутаторов при установке в малогабаритных контейнерах. ИБП переменного тока включают в себя инвертор для получения переменного напряжения 220В из постоянного напряжения батареи, который увеличивает габариты и снижает КПД ИБП (и, тем самым, снижает время работы от батареи).

Коммутаторы BotikSwitch можно питать от малогабаритных ИБП постоянного тока. Две модели таких ИБП разработаны и массово применяются в сети «Ботик»: MicroUPS 12В/5А и NanoUPS 6В/1А. В этих моделях UPS при работе от батареи на нагрузку подается непосредственно напряжение батареи, инвертор отсутствует. По мере разряда батареи напряжение снижается, но остается в пределах допустимых напряжений питания коммутаторов.

3.7. Низкое энергопотребление

Низкое энергопотребление дает три выигрыша с точки зрения эксплуатации:

- (1) снижаются расходы на электроэнергию;
- (2) увеличивается время работы коммутатора от батареи;
- (3) устраняется необходимость активного охлаждения коммутатора (устраняется шум при работе, повышается надежность за счет отсутствия вентиляторов).

3.8. Индустриальный температурный диапазон

Все компоненты, используемые в коммутаторах семейства Botik-Switch, имеют индустриальный температурный диапазон $-40 - +85^{\circ}\text{C}$. Поэтому коммутаторы можно монтировать в неотапливаемых помещениях или в контейнерах, размещенных на осветительных столбах, не принимая дополнительных мер для поддержания температуры внутри контейнера.

3.9. Конфигурация на съемном носителе

Важным вопросом при массовой эксплуатации управляемых коммутаторов является вопрос конфигурации. В общем случае, перед установкой в сеть на коммутаторе должны быть сконфигурированы виртуальные сети (VLAN), ограничения полосы пропускания по портам и другие параметры. Установка в сеть неконфигурированного коммутатора может привести к нарушению безопасности (распространение трафика без ограничений) и работоспособности сети.

В коммутаторах семейства BotikSwitch конфигурация хранится на съемном носителе. Таким образом, ремонтная бригада может заменить любой коммутатор на однотипный без участия администратора сети, переставив съемный носитель конфигурации в новый коммутатор.

Съемный носитель представляет собой дешевое специализированное изделие на основе ЭСППЗУ с интерфейсом SPI. Оно на порядок дешевле, чем стандартные USB или SD карты памяти, и за счет своей непригодности для других целей имеет несравнимо меньше шансов быть украденным при установке коммутатора в открытом доступе.

3.10. Возможность доработки

Одна из серьезных проблем с покупными управляемыми коммутаторами — наличие ошибок или отсутствие необходимых возможностей в программном обеспечении коммутатора. Попытки взаимодействовать с производителем обычно малопродуктивны, остается ждать, когда производитель выпустит новую версию ПО. В случае коммутаторов семейства BotikSwitch исходные тексты программного обеспечения и их авторы доступны и возникающие проблемы решаются.

В семействе коммутаторов BotikSwitch принята идеология постепенного развития. Возможности управления, заложенные в интегральных контроллерах коммутаторов, значительно превышают текущие потребности сети «Ботик», и в программном обеспечении коммутаторов поддерживаются только реально необходимые на практике функции. Но с самого начала выпуска коммутаторов была реализована возможность удаленного (по сети) обновления

программного обеспечения коммутаторов, благодаря которой по мере необходимости добавляется новая функциональность во все установленные в сети коммутаторы.

3.11. Время жизни модели коммутатора

Время жизни (*longevity*) измеряется в годах и определяет, в течение какого времени определенная модель коммутатора доступна на рынке. Производители недорогих коммутаторов имеют тенденцию заменять одни модели другими раз в несколько лет. Оператор хотел бы продолжать покупать понравившуюся ему модель — но она уже недоступна, а есть новая, возможно чем-то лучшая, но другая. В результате в сети оператора, следующего за рынком, с годами оказывается большое количество разнородного оборудования — «зоопарк», создающий трудности в обслуживании сети.

Коммутаторы семейства BotikSwitch производятся малыми партиями на заказ, и любую из выпускавшихся моделей можно будет заказать до тех пор, пока на рынке доступны использованные в них «чипы» — интегральные контроллеры коммутаторов. Время жизни чипов, в отличие от конечных изделий, измеряется десятками лет. Такое же время жизни имеют и коммутаторы семейства BotikSwitch.

3.12. Ремонтопригодность

Одной из проблем эксплуатации сетей является эпизодический выход оборудования из строя в период гроз. Это явление в небольшой степени сохраняется, даже если все линии между зданиями выполнены в виде ВОЛС, а медные линии используются только внутри зданий.

В случае покупных коммутаторов для вышедших из строя изделий возможна только утилизация (схем нет, возможности диагностики ограничены). В случае коммутаторов семейства BotikSwitch возможен возврат коммутатора на производство для восстановления. Необходимые для ремонта микросхемы обычно есть на складе. Стоимость ремонта обычно составляет от 20 до 50% стоимости коммутатора.

ТАБЛИЦА 7. Себестоимость коммутаторов BotikSwitch, 2014 Q3

Модель	Себестоимость, руб.
BSG3F16	6000
BSG54	8000
BSG9	5000
BSG15	2500
BSG11F4	2000

3.13. Цена

Себестоимость производства электронных изделий радикально зависит от объема партии и от страны-производителя. Даже при производстве в России малыми партиями (около 100 шт) себестоимость коммутаторов семейства BotikSwitch оказывается ниже розничных цен на управляемые коммутаторы недорогих производителей (D-Link, Linksys) (Таб.7). Разумеется, сравнение себестоимости с розничными ценами не вполне корректно, но это лучшее, что мы можем сделать, так как для семейства BotikSwitch мы пока не имеем розничных цен, а для коммутаторов других производителей не знаем себестоимости.

4. Заключение

Семейство BotikSwitch содержит полный набор коммутаторов для построения сетей малых операторов связи на основе технологии Ethernet. Компактные управляемые коммутаторы с большим количеством оптических портов хорошо зарекомендовали себя в сети «Ботик» [7]. В настоящее время в сети «Ботик» работает более 1500 коммутаторов семейства BotikSwitch. Авторы надеются, что коммутаторы семейства могут с успехом использоваться и другими операторами связи.

5. Благодарности

Авторы благодарны С.М. Абрамову за организацию проекта, Б.В. Якубову за программирование FPGA при разработке первого устройства Etherbox, А.В. Мельникову за работу над отладкой первых моделей коммутаторов, А.Ю. Вахрину за ценные идеи, Р.Е. Яровицыну, С.А. Герасимову, А.Е. Мищенко, А.С. Сергееву за работу над производством коммутаторов, И.А. Ивахненко и всем сотрудникам сети «Ботик» за внедрение коммутаторов. Авторы благодарны всем абонентам сети «Ботик», благодаря которым эта работа оказалась востребована. Авторы благодарны С.В. Знаменскому и Е.В. Шевчук за помощь в подготовке статьи.

Список литературы

- [1] R. Metcalfe and D. Boggs. *Ethernet: Distributed packet switching for local computer networks* // Communications of the ACM, July 1976. Vol. **19**, p. 395–404. ↑ 83.
- [2] IEEE Std 802.1D-2004, IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks — Media Access Control (MAC) Bridges: IEEE, 2004. ↑ 84.
- [3] IEEE Std 802.1Q, IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks—Virtual Bridged Local Area Networks: IEEE, 2005. ↑ 92.
- [4] IEEE Std 802.1ad, IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks—Virtual Bridged Local Area Networks, Amendment 4: provider Bridges: IEEE, 2005. ↑ 93.
- [5] IEEE Std 802.1AB™, IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks—Station and Media Access Control Connectivity Discovery: IEEE, 2009. ↑ 96.
- [6] Remote Network Monitoring Management Information Base. RFC2819: IETF, 2000. ↑ 95.
- [7] Телекоммуникационный проект «Ботик» [сайт]. URL: <http://www.botik.ru>, 1997. ↑ 101.
- [8] Ботик-сенсор: сенсорная сеть с модульной архитектурой [сайт]. URL: <http://sensor.botik.ru>, 2010. ↑ 96, 97.

Рекомендовал к публикации

д.т.н. В. М. Хачумов

Об авторах:



Юрий Владимирович Шевчук

Зав. лабораторией телекоммуникаций, к.т.н. Область интересов: системное программирование, цифровая электроника, сети компьютеров, сенсорные сети.

e-mail: shevchuk@botik.ru



Александр Юрьевич Пономарев

Ведущий инженер. Область интересов: цифровая и аналоговая схемотехника, импульсные преобразователи напряжения

e-mail: harry@opus.botik.ru



Алексей Викторович Елистратов

Инженер. Область интересов: цифровая и аналоговая схемотехника, системы автоматизации проектирования

e-mail: concept@pereslavl.ru

Образец ссылки на эту публикацию:

Ю. В. Шевчук, А. Ю. Пономарев, А. В. Елистратов. *Семейство коммутаторов Ethernet «BotikSwitch» // Программные системы: теория и приложения: электрон. научн. журн.* 2014. Т. 5, № 4(22), с. 83–103.

URL http://psta.psisaras.ru/read/psta2014_4_83-103.pdf

Yury Shevchuk, Alexander Ponomarev, Alexey Elistratov. *BotikSwitch the Ethernet switch family.*

ABSTRACT. The article presents a family of compact managed Ethernet switches for Internet providing using FTTx network architecture. The family comprises 5 switch models: from switches with as much as 9 SFP ports for fiber optics connection to small client-end switches with a single SFP port. The switches work in industrial temperature range, accept wide range of DC power supply voltages, feature an interface for external sensor connection. The control protocol is designed for automated control and monitoring of a large number (thousands) of switches. Control features include ping, IEEE 802.1Q VLANs, fine grained per-port bandwidth control and MAC address based packet filtering. The switch family facilitates cost-effective modern networks. (*In Russian*).

Key Words and Phrases: Internet, managed Ethernet switch, VLAN, fiber optics, SFP, FTTB, FTTH, FTTx.