

Санкт-Петербургский государственный политехнический  
университет имени Петра Великого  
Институт компьютерных наук и технологий  
Кафедра информационных и управляющих систем

Работа допущена к защите  
Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_ П.Д.Дробинцев

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ 2016 г.

## ВЫПУСКНАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Тема: Программно-аппаратные интерфейсы радиомодемов  
для встраиваемых радиомодулей

**Направление:**        **09.03.04** – Программная инженерия

Выполнил студент гр. 43504/1 \_\_\_\_\_ Габриелов А.И.

Руководитель        \_\_\_\_\_ Тышкевич А.И.

Санкт-Петербург

2016

## Содержание

Введение.....	3
Глава 1 Аппаратура управления радиостанцией с платой PM-AM.....	4
Глава 2 Обзор модулей радиосвязей Ubiquiti XR2 , XR5 .....	6
Глава 3 Изучение возможностей устройства .....	10
3.1 Асинхронные прерывания .....	10
3.2 Передача кадров.....	13
3.2.1 Media Access Control (MAC) .....	13
3.2.2 Дескрипторы.....	16
3.2.3 QCU.....	19
3.2.4 DCU .....	21
3.2.5 PCU .....	22
Глава 4 Построение программных интерфейсов в виде блок-схем.....	23
4.1 Асинхронные прерывания .....	23
4.1.1 Write-one-to-clear access.....	23
4.1.2 Read-and-clear access.....	24
4.2 Передача кадра .....	25
Заключение .....	28
Список литературы .....	29

## **Введение**

При разработке П.О. специализированных радиостанций возникает потребность максимально эффективно воспользоваться возможностями, предоставляемыми выбранной аппаратурой, в том числе радиомодемом. Эти требования отличаются от требований к П.О. вычислительных систем общего назначения, обычно использующих структуры типа аппаратура – драйвер – О.С. – приложение. Вместо этого предлагается проанализировать возможность воспользоваться другим подходом, а именно:

- 1) Выявить максимум информации о возможностях и особенностях конкретных устройств.
- 2) Представить выявленную информацию в удобной для восприятия разработчиком форме.
- 3) Обеспечить возможности воспользоваться выявленными особенностями, с перспективой автоматического синтеза кода элементов П.О.

Решение данной задачи осложняется отсутствием полной документации на применяемые устройства.

## **Глава 1 Аппаратура управления радиостанцией с платой РМ-АМ**

Плата РМ-АМ является управляющим и коммуникационным устройством в составе блока радиостанций семейства УВ-89, изготавливаемых предприятием ЗАО «ОС Инфоком» небольшими сериями в условиях производственного участка с преобладанием ручных сборочных операций.

### **Назначение платы:**

- 1) Прием и передача данных, прием команд управления и отправка ответов на запросы состояния по проводному каналу Fast Ethernet от клиентского оборудования.
- 2) Организация функционирования заданного варианта радиостанции – протоколов информационно-логического сопряжения с клиентской аппаратурой по проводному интерфейсу и с аналогичными радиостанциями по радиоканалу.
- 3) Обеспечение подключения внутреннего (возможно, сменного) модуля радиомодема по интерфейсу MiniPCI и по радиочастотному соединению с приемопередающими средствами (антеннами,

разветвителями, и, возможно, с активными усилителями).

- 4) Хранение необходимого для функционирования устройства кода и данных в энергонезависимой памяти с возможностью его модификации без вскрытия корпуса.

Основой платы является специализированный микроконтроллер Micrel KS8695PI с поддержкой интерфейсов Fast Ethernet и PCI (в вариантах PCI, MiniPCI и CardBus).

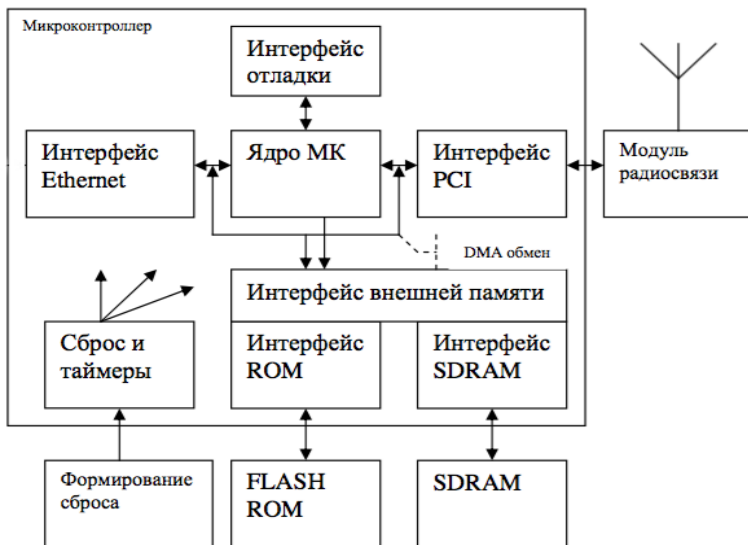


Рис.1 блок-схема платы

## Глава 2 Обзор модулей радиосвязей Ubiquiti XR2 , XR5

XtremeRange2 является 802.11b/g-based 2.4GHz радиомодулем, который был разработан специально для сетей, bridge-соединений и других областей применения в сетевой инфраструктуре, требующих высокого уровня производительности и надежности. XtremeRange2 имеет высокую выходную мощность и приемник со слабой чувствительностью, что позволяет строить каналы “точка-точка” в условиях сильных помех.

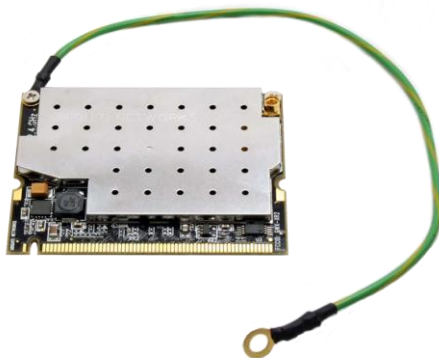


Рис.2 Ubiquiti XR2

Card information	
Chipset	Atheros, 6th Generation, AR5414
Radio Operation	IEEE 802.11b/g, 2.4GHz
Interface	32-bit mini-PCI Type IIIA
Operation Voltage	3.3VDC
Antenna Ports	Single MMCX
Temperature Range	-45C to +90C (extended temp version up to +95C)
Security	WPA, WPA2, AES-CCM & TKIP Encryption, 802.1x, 64/128/152bit WEP
Data Rates	6Mbps, 9Mbps, 12Mbps, 24Mbps, 36Mbps, 48Mbps. 54Mbps
TX Channel Width Support	5MHz / 10MHz / 20MHz / 40MHz
RoHS Compliance	YES

**Таблица 1. Ubiquiti XR2**

Wi-Fi беспроводной адаптер **Ubiquiti XtremeRange5** – это полноценный радиомодуль операторского класса на базе стандарта 802.11a с рабочей частотой 5 ГГц.



Рис.3 Ubiquiti XR5

Card information	
Chipset	Atheros, 6th Generation, AR5414 with SuperA/Turbo Support
Radio Operation	IEEE 802.11a, 5GHz
Interface	32-bit mini-PCI Type IIIA
Operation Voltage	3.3VDC
Antenna Ports	Single MMCX



Temperature Range	-40C to +80C (extended temp version up to +95C)
Security	WPA, WPA2, AES-CCM & TKIP Encryption, 802.1x, 64/128/152bit WEP
Data Rates	6Mbps, 9Mbps, 12Mbps, 24Mbps, 36Mbps, 48Mbps. 54Mbps
TX Channel Width Support	5MHz / 10MHz / 20MHz / 40MHz
RoHS Compliance	YES

**Таблица 2. Ubiquiti XR5**

## Глава 3 Изучение возможностей устройства

### 3.1 Асинхронные прерывания

**Прерывание** (англ. interrupt) — сигнал, сообщающий процессору о наступлении какого-либо события. При этом выполнение текущей последовательности команд приостанавливается, и управление передаётся обработчику прерывания, который реагирует на событие и обслуживает его, после чего возвращает управление в прерванный код.

Асинхронные прерывания — события, которые исходят от внешних источников (например, периферийных устройств) и могут произойти в любой произвольный момент: сигнал от таймера, сетевой карты или дискового накопителя, нажатие клавиш клавиатуры, движение мыши.

MAC предусматривает прерывания передачи для каждого модуля управления очередью (QCU). Это значит, что каждый QCU генерирует четыре прерывания:

- 1) TXOK – Кадр передан успешно
- 2) TXERR – Кадр мог не быть успешно послан
- 3) TXDESC – Кадр был послан и соответствующий бит дескриптора передачи кадра установлен

4) TXEOL – QCU достиг конца списка дескрипторов передачи

С 10 QCU это приводит к 40 прерываниям, связанным с передачей. Так как максимальный размер атомарного чтения регистра – 32 бита, MAC обеспечивает аппаратную поддержку симуляции атомарного чтения регистра состояния прерывания (ISP), который больше 32-х бит.

Для этого MAC содержит несколько ISR-ов: один главный(primary) ISR и несколько вторичных(secondary). Главный регистр содержит все биты, кроме битов Tx (TXOK, TXERR, TXDESC, TXEOL). Биты Tx генерируются с помощью логического «или», примененного к соответствующим битам QCU из подходящих вторичных ISP.

В дополнение, чтобы чтение всех ISP казалось атомарным, MAC реализует теньевые копии всех вторичных регистров прерываний. В том же цикле, где программа считывает первичный регистр, MAC копирует содержимое всех вторичных регистров в теньевые регистры. Программа затем может считывать эти теньевые копии вторичных регистров и получать постоянный вид на общее состояние ISR, когда

главный регистр был считан, таким образом симулируя атомарное чтение всех регистров ISP.

MAC предоставляет два способа доступов к главному и вторичным регистрам ISP:

**1) Write-one-to-clear access**

**2) Read-and-clear access**

## **3.2 Передача кадров**

### **3.2.1 Media Access Control (MAC)**

**MAC** (Управление доступом к среде) - подуровень канального (второго) уровня модели OSI, согласно стандартам IEEE 802.

MAC обеспечивает адресацию и механизмы управления доступом к каналам, что позволяет нескольким терминалам или точкам доступа общаться между собой в многоточечной сети (например, в локальной или городской вычислительной сети), и эмулирует полнодуплексный логический канал связи в многоточечной сети.

MAC состоит из следующих основных функциональных блоков: 10 модулей контроля очереди (QCU), 10 модулей функции распределенного согласования – DCF (DCU), одиночный DMA модуль приема (DRU) и одиночный модуль управления протоколом (PCU).

Функциональность блока MAC включает в себя:

- 1) Отправление кадра данных передачи (Tx) от хоста на AR5213, используя PCI шину.

- 2) Отправление кадра данных приема (Rx) от AR5213 на хост, используя PCI шину.
- 3) Доступ к регистрам
- 4) Генерация прерываний и отчетность
- 5) Организация спящего режима
- 6) Другие функции отчетности о состоянии и ошибках

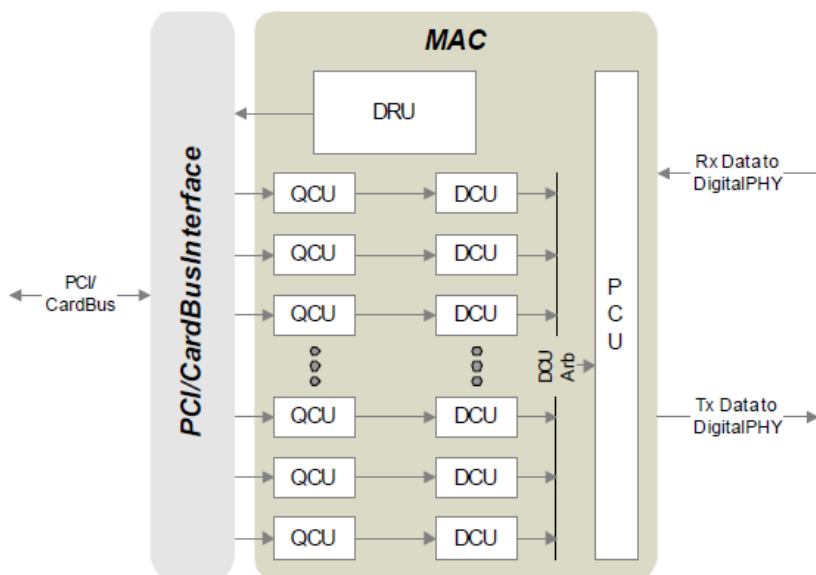


Рис.4 Устройство MAC

Передача кадра начинается с QCU. QCU управляют DMA кадров с данными, полученных от хоста через PCI/CardBus интерфейс, и определяют, когда кадр доступен для передачи. Каждому QCU соответствует ровно один DCU. Готовые кадры передаются из QCU в DCU. DCU управляет улучшенной распределенной координационной функцией (EDCF) процедуры канального доступа.

Как только DCU получает доступ к каналу, он передает кадр на PCU, который кодирует кадр и отправляет на Digital PHY. Получение кадра начинается с PCU, который получает входящий битовый поток кадра от Digital PHY. PCU декодирует кадр и отправляет его на DRU, который управляет дескрипторами передачи и записывает данные и состояние кадра в память хоста через PCI/CardBus интерфейс.

### 3.2.2 Дескрипторы

MAC отвечает за передачу кадров между памятью хоста и AR5213. Для всех действий, связанных с приемом или передачей кадров, хост предоставляет ряд дескрипторов MAC. MAC анализирует эти дескрипторы и выполняет требуемый ряд передач данных.

Формат дескриптора передачи состоит из восьми слов из 32 бит, дескриптор приема – из шести.

Первые два слова дескриптора указывают на следующий дескриптор в связанном списке и буфер данных, относящийся к дескриптору. Следующие два или четыре слова несут дополнительную управляющую информацию, которая влияет на то, как MAC обрабатывает кадры и данные в них. Последние два слова используются MAC для отправки хосту отчета о состоянии.

Ниже перечислены некоторые поля дескрипторов приема и передачи.



Слово	Биты	Имя поля	Описание
0	31-0	LinkPtr	Указатель связи. Содержит адрес следующего используемого дескриптора.
1	31-0	BufPtr	Указатель на буфер с данными. Содержит адрес начала буфера данных, связанного с дескриптором.
2-5 (Tx) 2-3 (Rx)	31-0		Дополнительная управляющая информация.

Таблица 3 Формат дескрипторов

Слово	Биты	Имя поля	Описание
2	11-0	FrameLen	Длина кадра. Определяет длину в битах всего кадра MAC.
2	21-16	TPC	Управление мощностью передачи.
2	23	VEOL	Флаг Virtual end-of-list. Когда установлен, указывает, что QCU следует остановить обработку кадров.
3	11-0	BufLen	Длина буфера данных.
3	12	More	Флаг, указывающий, что есть еще дескрипторы этого кадра.
3	23-20	FrmType	Указание типа кадра.

Таблица 4 Поля дескриптора передачи

Слово	Биты	Имя поля	Описание
3	11-0	BufLen	Длина буфера данных.
4	11-0	DataLen	Длина полученных данных.
4	12	More	Флаг, указывающий, что есть еще дескрипторы этого кадра.
4	19-15	RxRate	Указание скорости приема. Указывает скорость, с которой этот кадр был передан от источника
5	1	FrRxOK	Флаг успешного приема кадра. 1 = Кадр передан успешно. 0 = произошла ошибка при приеме. Действительно только в последнем дескрипторе.

Таблица 5 Поля дескриптора приема

### 3.2.3 QCU

Модуль управления очередью (QCU) выполняет две задачи:

- 1) Управление цепочкой дескрипторов передачи кадров отправленных в QCU с хоста. Это включает в себя обход связанного списка дескрипторов передачи и передачу данных кадра с хоста в DCU.
- 2) Управляет политикой очереди передачи. Это определяет, когда кадр в начале очереди должен быть помечен, как доступный к передаче.

Каждому QCU соответствует ровно один DCU. Готовые кадры передаются из QCU в DCU.

Хост управляет QCU через конфигурационные регистры.

Ниже перечислены некоторые регистры QCU.

Регистр	Размер (в битах)	Описание
TxDP	32	Указывает на следующий регистр, который должен быть получен.
TxE	1	Включает обработку дескриптора.
TxD	1	Выключает обработку дескриптора после завершения отправления кадров.
Q_TXE	32	Включает очередь передачи
Q_STS	32	Регистр состояния

Таблица 6 Регистры QCU

TXDP регистр указывает на начало связанного списка дескрипторов и начинает получать дескрипторы, когда хост устанавливает флаг TxE.

Для остановки передачи для QCU N (N представляет номер QCU от 1 до 10) нужно:

- 1) Записать единицу в TxD бит QCU N.
- 2) Опрашивать регистр Q\_TXE до тех пор, пока флаг TxE не установлен.
- 3) Опрашивать регистр Q\_STS, пока счетчик посылаемых кадров равен нулю
- 4) Записать 0 в TxD бит QCU N.

К этому моменту QCU N отключен и не имеет кадров, посылаемых в соответствующий DCU.

### 3.2.4 DCU

Вместе 10 DCU реализуют арбитражный механизм канального доступа EDCF.

Каждый DCU поддерживает значительную информацию о состоянии для выполнения EDCF. Ниже приведен список некоторых регистров DCU.

Регистр	Размер (в битах)	Описание
QCUMask	10	Указывает, какой QCU с каким DCU связан.
CWMin	8	Параметр CWMin (минимальное значение contention window - окна конкуренции, в слотах.
AIFS	8	EDCF AIFS (арбитражное пространство внутри кадра), в слотах после SIFS.

Таблица 7 Регистры DCU

### 3.2.5 PCU

Protocol control unit (PCU) отвечает за детали пересылки кадра на DigitalPHY для передачи и отправки данных кадра на DRU. Это включает в себя:

- 1) Буферизацию кадров прием и передачи
- 2) Кодирование и декодирование
- 3) Генерацию кадров ACK, RTS и CTS
- 4) Поддержку TSF
- 5) Обновление и обработка маячков
- 6) Генерация виртуальной оценки доступности канала (CCA)

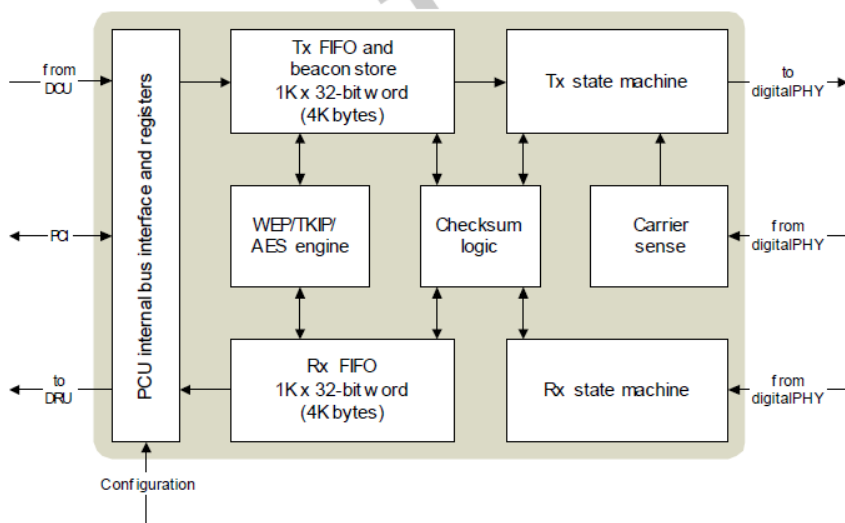


Рис.5 Функциональный блок PCU

## Глава 4 Построение программных интерфейсов в виде блок-схем

### 4.1 Асинхронные прерывания

#### 4.1.1 Write-one-to-clear access

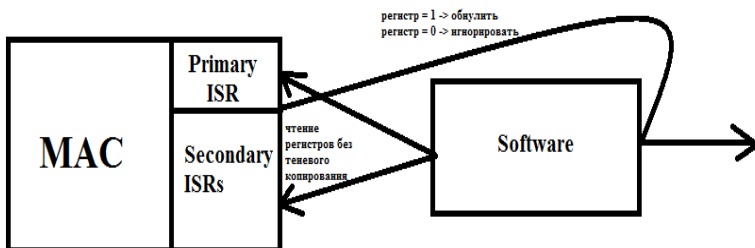


Рис.6 Блок-схема прерываний WOTC

Когда использовано – чтения регистров не копируют данные в теневые копии и не очищают считанные регистры.

Программа может писать и в главный и во вторичные регистры. Для каждой такой записи в регистр очищаются регистры, значение которых равно 1. Регистры со значением 0 игнорируются. Запись единицы в бит, который является логическим «или» битов во вторичных регистрах очистит те вторичные регистры, из которых первичный регистр был сгенерирован.

## 4.1.2 Read-and-clear access

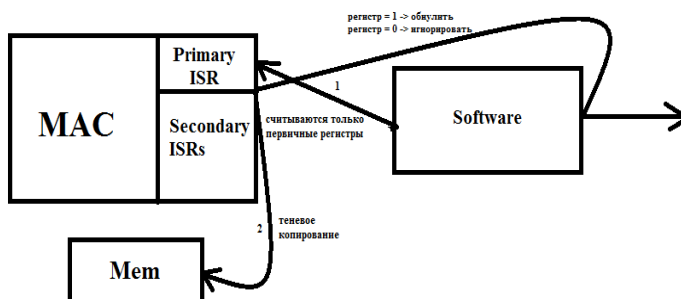


Рис.7 Блок-схема прерываний RAC

Когда использовано – только первичный регистр ISP может быть считан. Каждое такое считывание запускает копирование данных в теньевые регистры, как описано выше, и так же очищает первичные и вторичные регистры, очищается всё это одиночной атомарной операцией. Записи в первичный и вторичные регистры игнорируются в данном режиме.

Программа может чередовать эти два вида доступа к регистрам прерываний.



## 4.2 Передача кадра

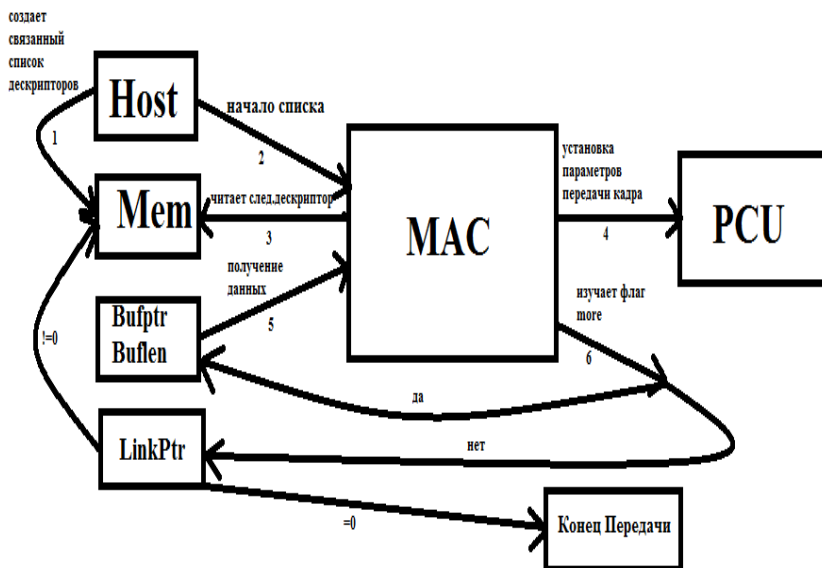


Рис.8 Блок-схема передачи кадров

Чтобы MAC отправил кадр в сеть, хост создает связанный список дескрипторов передачи и описывает посылаемый кадр. После этого хост отправляет список MAC. Этот процесс происходит следующим образом:

1. Хост создает связанный список дескрипторов приема в памяти хоста. Если связанный список содержит больше

одного дескриптора, у всех дескрипторов, кроме последнего, должен быть установлен флаг More.

2. Хост посылает начало списка в MAC. Если список уже существует, то хост просто добавляет в конец списка новый дескриптор. В противном случае, он должен записать указатель на начальный элемент нового списка в соответствующий регистр QCU.

MAC обрабатывает дескрипторы следующим образом:

3. Читает следующий дескриптор из памяти хоста.

4. Использует управляющую информацию из слов со второго по пятый первого дескриптора для генерации слова контрольной команды, которая передается в PCU для установки параметров передачи следующего кадра.

5. Использует поля BufPtr и BufLen для получения данных, относящихся к дескриптору.

6. Изучает флаг More, чтобы определить есть ли дополнительные дескрипторы для этого кадра.

- Если флаг установлен, MAC получает следующий дескриптор кадра по адресу, указанному в поле LinkPtr и начинает работу над ним с шага 5.

- Если флаг не установлен, значит это последний дескриптор кадра. MAC обновляет поля состояния завершения передачи и выполняет следующий шаг.

7. Когда обработан последний дескриптор кадра, MAC изучает его поле LinkPtr, чтобы определить, как действовать дальше.

- Если это поле ненулевое, то MAC считает, что это первый дескриптор нового кадра и процесс повторяется с шага 3.

- Если поле нулевое, MAC приостанавливается и ожидает, когда будет возможна передача.

Дескрипторы приема обрабатываются практически также, за исключением того, что существует только одна очередь приема. Также, в отличие от дескрипторов передачи, размер входящего кадра или число кадров, переданных за период времени, неизвестно хосту.

## **Заключение**

Были исследованы возможности аппаратуры беспроводной передачи данных, в частности, модуль управления доступом к среде и цифровой обработки сигналов AR5213 и построены программные интерфейсы в виде блок-схем.

## **Список литературы**

- 1) Э. Таненбаум, Д. Уэзерол «Компьютерные сети. Пятое издание», Питер, 2012г.
- 2) Std 802.11, 1999 Edition, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications
- 3) Исходный код драйвера Ath5K
- 4) AR5213 Data Sheet
- 5) Le Hoang Phuong, “Atheros ath5k wireless driver”, 2012

