

# Сравнительные характеристики алгоритмов расчёта CRC16 последовательным и табличным способом на примере микроконтроллера AVR

Вячеслав Бородулин (г. Хабаровск)

В статье приведено сравнение скорости подсчёта контрольной суммы CRC-16 последовательным (побитовым) и табличным программными алгоритмами, реализованными на ассемблере микроконтроллеров серии AVR фирмы Atmel. Контрольная сумма рассчитывалась для интерфейса USB.

## ВВЕДЕНИЕ

При передаче данных по цифровым интерфейсам связи всегда существует проблема достоверности принятых данных. Чем хуже характеристики используемого канала, тем больше вероятность повреждения данных. Одним из методов проверки целостности данных является анализ контрольной информации, передаваемой вместе с пакетами данных. Наиболее широкое распространение получил метод подсчёта циклической контрольной суммы CRC (Cyclic Redundancy Code – циклический избыточный код) на основе полиномиальной арифметики [1, 2]. Существуют два основных метода расчёта CRC – побитовый и табличный. Их основные характеристики приведены в таблице 1.

Контрольные суммы различаются по надёжности контроля целостности данных. Чем больше разрядность рассчитываемой суммы, тем она надёжнее, но и тем сложнее её реализация. При расчёте могут использоваться различные полиномы, которые обычно оговариваются стандартом используемого интерфейса. В статье проводится расчёт 16-разрядной контрольной суммы CRC-16 согласно стандарту передачи данных USB.

Таблица 1. Характеристики методов расчёта

Метод	Достоинства	Недостатки
Побитовый	Малые затраты памяти	Низкая скорость выполнения
Табличный	Более высокая скорость выполнения	Большие затраты памяти

Из общих соображений очевидно, что побитовый алгоритм работает медленнее, т.к. он работает с битами. Табличный алгоритм работает быстрее, т.к. часть вычислений уже произведена при написании программы, а их результаты сведены в таблицу. В данной статье приводятся точные временные характеристики работы алгоритмов. В качестве аппаратной части для расчёта CRC были выбраны распространённые микроконтроллеры серии AVR фирмы Atmel. Оба алгоритма были реализованы на ассемблере. Для каждого алгоритма приводится схема пошагового выполнения.

## РЕАЛИЗАЦИЯ ПОБИТОВОГО АЛГОРИТМА

Сам алгоритм и его математическая основа подробно рассмотрены в [3, 4]. Схема алгоритма представлена на рисунке 1. Исходный код, соответствующий данному алгоритму, приведён в листинге:

```
; ПОДПРОГРАММА РАСЧЁТА CRC16
; ПОБИТОВЫМ АЛГОРИТМОМ
; ПОМЕЩЕНИЕ В СТЕК
; ИСПОЛЬЗУЕМЫХ РЕГИСТРОВ
PUSH BITCNT
```

```
PUSH POLYL
PUSH POLYH
PUSH LENL
PUSH LENH
PUSH XL
PUSH XH
PUSH TMP

; ЗАГРУЗИТЬ НАЧАЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ
РЕГИСТРА CRC
; ДЛЯ USB НАЧАЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ
CRC-16 $FFFF
LDI SUMH, $FF
LDI SUML, $FF
; ЗАГРУЗИТЬ ПОЛИНОМ $A001
LDI POLYH, $A0
LDI POLYL, $01

_BUTEPROC:
; ЗАГРУЗКА ИЗ ПАМЯТИ ОЧЕРЕДНОГО
БАЙТА ДЛЯ РАСЧЁТА
LD TMP, X+
; СУММИРОВАНИЕ ПО XOR СО
ЗНАЧЕНИЕМ РЕГИСТРА CRC
EOR SUML, TMP
; ЗАГРУЗИТЬ СЧЁТЧИК
НЕОБРАБОТАННЫХ БАЙТ
LDI BITCNT, 8

_BITPROC:
; СДВИГ РЕГИСТРА CRC ВПРАВО НА
ОДИН РАЗРЯД
LSR SUMH
ROR SUML
; ЕСЛИ ИЗ РЕГИСТРА ВЫДВИНУТ НОЛЬ
_ENDLOOP
BRCC _ENDLOOP
; ИНАЧЕ СЛОЖИТЬ СОДЕРЖИМОЕ
РЕГИСТРА CRC С ПОЛИНОМОМ
EOR SUML, POLYL
EOR SUMH, POLYH

_ENDLOOP:
; ОРГАНИЗАЦИЯ ЦИКЛА ОБРАБОТКИ
БАЙТА
DEC BITCNT
```

```

BREQ _LEN_DEC
RJMP _BITPROC
_LEN_DEC:

; ОРГАНИЗАЦИ ЦИКЛА ОБРАБОТКИ
ОТДЕЛЬНЫХ БАЙТ СООБЩЕНИЯ
SBIW LENL, 1
BREQ _CRC16_END
RJMP _BYTEPROC

_CRC16_END:
; РЕЗУЛЬТИРУЮЩУЮ КОНТРОЛЬНУЮ
СУММУ
; НУЖНО СЛОЖИТЬ ПО XOR С $FFFF
COM SUMH
COM SUML
POP TMP
POP XH
POP XL
POP LENH
POP LENL
POP POLYH
POP POLYL
POP BITCNT
RET
    
```

На рисунке 1 для каждого блока представлено время выполнения операций в тактах процессора. Данные о времени выполнения инструкций взяты из [5].

Подпрограмма расчёта контрольной суммы принимает два параметра:

- длину сообщения, которая передаётся словом через два регистра LENL и LENH, где LENL – младший, а LENH – старший байт слова;
- указатель на сообщение, который передаётся через пару адресных регистров XH и XL.

Расчитанная контрольная сумма хранится в регистрах SUMH и SUML, где SUMH – старший, а SUML – младший байт суммы. В побитовом алгоритме время расчёта зависит от входных данных. Поэтому при анализе времени расчёта берётся два случая – наихудший (выполняется операция XOR с полиномом) и наилучший (операция XOR не выполняется). На практике можно утверждать, что дан-

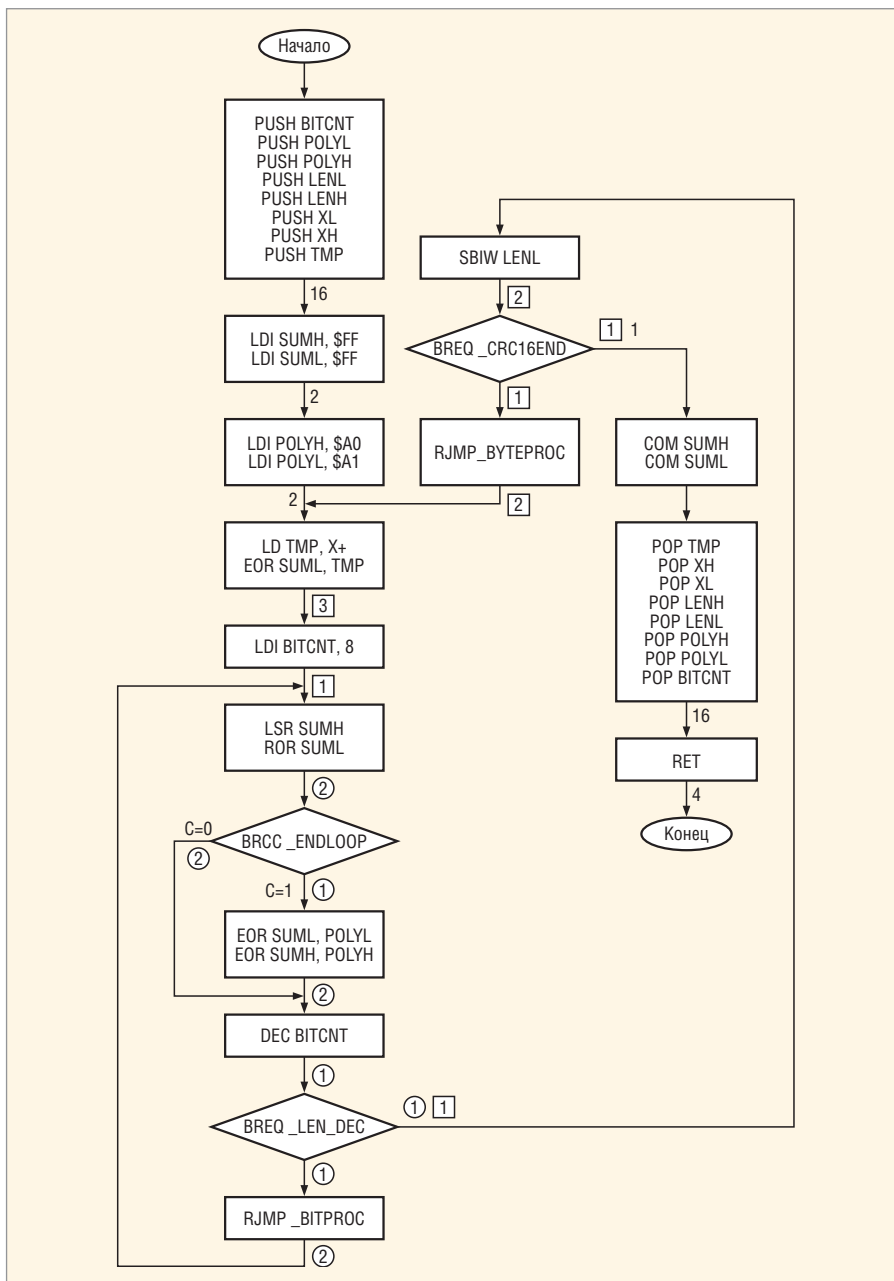


Рис. 1. Блок-схема алгоритма побитового расчёта CRC-16

ные будут обработаны не медленнее, чем в наихудшем случае, и не быстрее, чем в наилучшем случае.

Выделим постоянную и переменную временные составляющие выполнения алгоритма. Постоянная составляющая определяется накладными расходами при реализации подпро-

граммы – загрузка/выгрузка из стека, инициализация начальных значений переменных, инверсия суммы по окончании расчёта. Переменная составляющая определяется реализацией алгоритма. Данные о временных затратах в тактах процессорного времени приведены в таблице 2.

Таблица 2. Временные затраты при реализации побитового алгоритма

Размер сообщения, байт	Тактов вне цикла	Тактов в цикле обработки сообщения	Наилучший случай			Наихудший случай		
			Тактов в цикле обработки байта	Всего тактов	Тактов на один байт	Тактов в цикле обработки байта	Всего тактов	Тактов на один байт
1	43	10	64	117,0	117,0	72	125	125,0
2	43	20	128	191,0	95,5	144	207	103,5
4	43	40	256	339,0	84,8	288	371	92,8
8	43	80	512	635,0	79,4	576	699	87,4
16	43	160	1024	1227,0	76,7	1152	1355	84,7
32	43	320	2048	2411,0	75,3	2304	2667	83,3

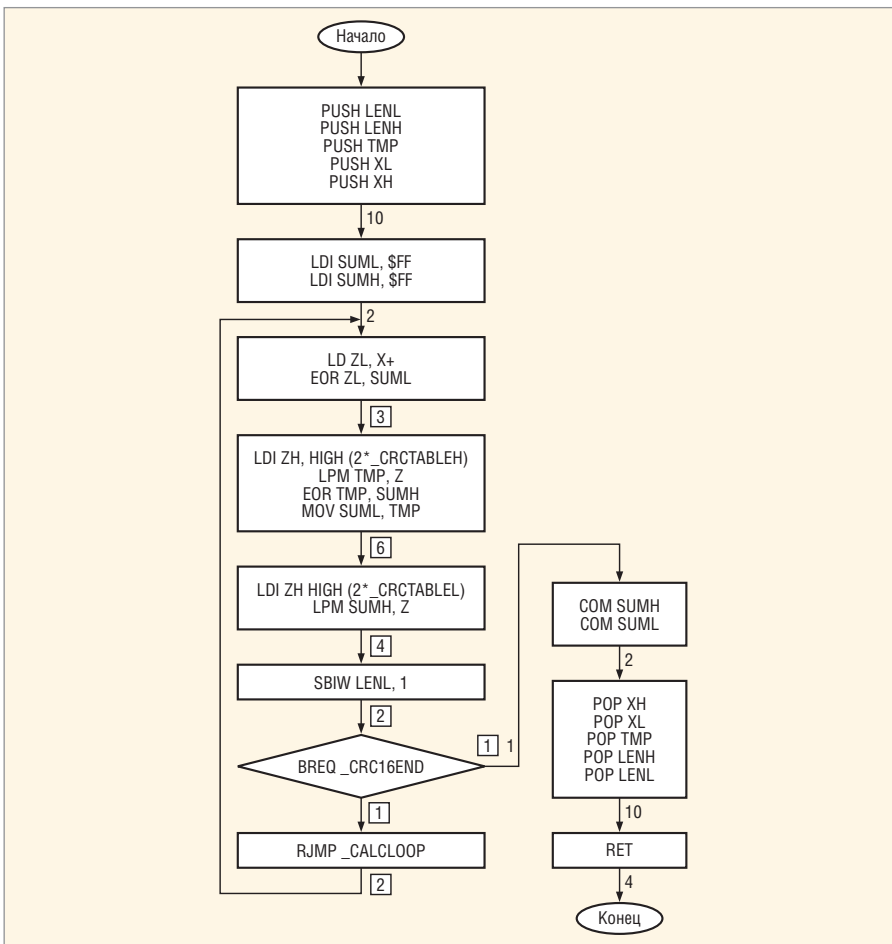


Рис. 2. Блок-схема табличного алгоритма

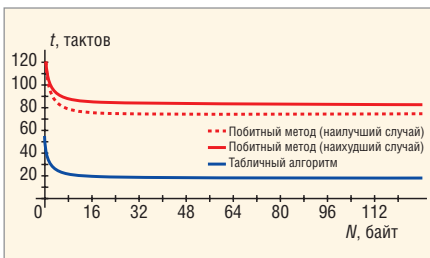


Рис. 3. Сравнение времени выполнения алгоритмов (в тактах)

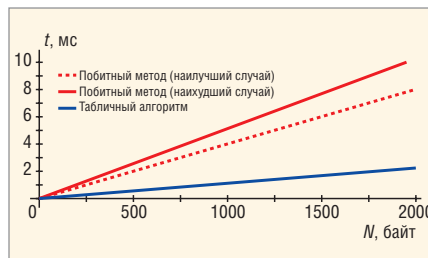


Рис. 4. Сравнение времени выполнения алгоритмов (в миллисекундах)

**РЕАЛИЗАЦИЯ ТАБЛИЧНОГО АЛГОРИТМА**

Подробное описание табличного алгоритма можно найти в [3, 4].

Блок-схема алгоритма представлена на рисунке 2, исходный код – в листинге, приведенном на сайте журнала.

Таблица 3. Временные затраты при реализации табличного алгоритма

Размер сообщения, байт	Тактов вне цикла	Тактов в цикле	Всего тактов	Тактов на один байт
1	29	18	47	47,0
2	29	36	65	32,5
4	29	72	101	25,3
8	29	144	173	21,6
16	29	288	317	19,8
32	29	576	605	18,9

Таблица 4. Сравнение объёмов занимаемой памяти

Алгоритм	Flash-память, байт	SRAM, байт
Побитовый	74	0
Табличный	564	0

Из блок-схемы алгоритма видно (см. рис. 2), что скорость его выполнения зависит от количества байт обрабатываемого сообщения и не зависит от их значения. При расчёте табличным способом используются те же параметры, что и в подпрограмме расчёта последовательным методом. Данные о временных затратах в тактах процессорного времени приведены в таблице 3.

**СРАВНЕНИЕ СКОРОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ АЛГОРИТМОВ**

Для сравнения скорости расчёта построим графики, отображающие зависимость времени выполнения расчёта в процессорных тактах (см. рис. 3) и миллисекундах при тактовой частоте 16 МГц (см. рис. 4) от количества обрабатываемых байт сообщения. Данные об используемой памяти отображены в таблице 4.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Проанализировав полученные данные, можно сделать следующие выводы:

- табличный алгоритм превосходит побитовый как минимум в 2,5 раза по скорости выполнения при размере сообщения в 1 байт и в 4 раза при размере сообщения более 32 байт;
- табличный алгоритм занимает на 490 байт больше памяти программ, чем побитовый;
- ввиду детерминированности времени выполнения подпрограммы расчёта контрольной суммы табличным алгоритмом, её можно использовать в качестве задержки на заданную величину.

Таким образом, использование табличного алгоритма при подсчёте контрольной суммы CRC программным способом является более эффективным даже при использовании младших моделей микроконтроллеров серии AVR.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. CRC16 – Описание алгоритма и пример расчёта на языке Си. <http://piclist.by.ru/S-CRC16-RUS/CRC16.html>.
2. Методы расчёта CRC16 на микроконтроллерах серии PIC18. <http://2aplusa.ru/info/inf2.html>.
3. Williams R.N. Элементарное руководство по CRC-алгоритмам обнаружения ошибок. Rocksoft Pty. 1993.
4. Юров В.И. Assembler. Практикум. СПб.: Питер, 2006.
5. Atmel AVR Atmega16(L) datasheet.

## Рынок плазменных телевизоров: жизнь налаживается?

Жёсткая конкуренция на рынке телевизоров, резкое падение цен и давление со стороны ЖК-индустрии заставили ряд компаний заметно сбавить объёмы производства плазменных панелей, а то и вовсе оставить данную нишу. Можно привести несколько примеров. Для компаний Samsung SDI и LG Electronics, занимающих второе и третье место в ранге производителей PDP-панелей, прошедший 2007 г. оказался самым трудным по причине значительного снижения рыночных цен и падения рентабельности сегмента «плазмы». Японская компания Pioneer была вынуждена сократить производство панелей и снизить объёмы поставок сторонним сборщикам PDP-телевизоров. А вот заслуженный ветеран отрасли, компания Fujitsu General, приняла решение повторить поступок Sony полуторагодичной давности и покинуть рынок плазменных панелей.

Тем не менее, многие аналитики успокаивают приверженцев «плазмы» и утверждают, что отрасль выдержит удар и постепенно выйдет из кризиса. Благодаря ряду преимуществ перед ЖК-дисплеями и другими альтернативными решениями плазменные панели будут пользоваться устойчивым спросом как минимум до 2010 г. В особой степени это касается сегмента больших диагоналей с разрешением Full HD.

В связи с этим весьма обнадеживающим выглядит обещание LG Electronics довести в наступившем году годовой объём производства PDP-панелей до 6,5 млн. Для сравнения, в 2007 г. корейской компанией было выпущено около 3,5 млн. плазменных дисплеев.

Ещё один влиятельный игрок рынка «плазмы», компания Matsushita Electric, настроена не менее решительно и предсказывает на этот год подъём уровня продаж PDP-телевизоров. Владелец торговой марки Panasonic к этому хорошо подготовился, имея в своём ассортименте новые модели с улучшенными характеристиками. Как заметил глава североамериканского подразделения Matsushita, плазменную технологию не стоит недооценивать.

Однако некоторые аналитики имеют иное мнение по вопросу повышения интереса к плазменным телевизорам. Предполагается, что наблюдаемый подъём PDP-отрасли обусловлен, прежде всего, дефи-

цитом ЖК-дисплеев, вызванным уменьшением инвестиций в ЖК-индустрию после серьёзных убытков вследствие переизобилия в 2006 у. В свете растущего спроса на плоскостовые телевизоры многие покупатели переключают внимание на плазменные аппараты.

Понятно, что такая ситуация будет продолжаться до нормализации объёмов поставок ЖК-панелей. Более того, в будущем году индустрия «плазмы» рискует испытать следующий резкий спад, — полагают специалисты. Его причиной может стать введение в строй крупными производителями линий восьмого поколения (8G) для массового выпуска 50-дюймовых ЖК-панелей.

reuters.com

## Рынок NAND: прогноз благоприятный

Согласно прогнозу компании DRAMeXchange, главной отраслевой электронной торговой площадки, спрос на микросхемы флэш-памяти типа NAND будет уверенно расти в течение всего 2008 г. Рост потребности в чипах NAND будет наблюдаться во всех ключевых сегментах рынка потребительской электроники: мобильных устройств связи, портативных медиаплееров, цифровых камер и USB-накопителей, причём в этой гонке не будет явных аутсайдеров.

Общий же рост спроса на чипы NAND по итогам 2008 г. прогнозируется агентством на уровне 130%.

Наибольший спрос на модули NAND, по мнению аналитиков агентства, следует ожидать со стороны производителей мобильных устройств связи (включая мобильные телефоны, смартфоны, коммуникаторы и GPS-навигаторы). Он вырастет на 10% к уровню 2007 г. и составит в текущем году 1,23 млрд. долл. США. Вторыми в списке с объёмом, равным 200 млн. долл. США, и ростом спроса в 20% годовых следуют производители портативных MP3- и видеоплееров.

Третье и четвёртое места в рейтинге DRAMeXchange занимают производители USB-накопителей и цифровых фотокамер с ожидаемой потребностью в чипах NAND в 170 и 130 млн. долл. США соответственно. При этом первые смогут похвастаться самым высоким ростом спроса по отношению к уровню прошлого года, равным 25%. Производители цифровых фотокамер довольствуются ростом в 14%.

Рост предложения на рынке NAND в течение текущего года прогнозируется на уровне 130...140%, поскольку все ведущие производители намерены увеличить количество выпускаемых микросхем памяти NAND в связи с массовой миграцией на новые проектные нормы. Подобные темпы увеличения производства, полагает агентство, приведут к равновесию спроса и предложения на исследуемом рынке к середине 2008 г.

eetimes.com

## Sony уходит с рынка проекционных ТВ и ищет партнёров для ЖК-альянса

Развитие ЖК-индустрии ударило не только по рынку плазменных панелей. В числе пострадавших оказались и проекционные телевизоры. А со вчерашнего дня, судя по всему, можно говорить об их полной «капитуляции». Компания Sony, последний крупный производитель телевизоров задней проекции, заявила о своём решении уйти с этого рынка.

По словам официального представителя Sony Синдзи Обана (Shinji Obana), японский электронный гигант планирует в феврале будущего года полностью остановить производство проекционных телевизоров на трёх заводах в Японии и за её пределами. Освободившиеся ресурсы планируется сфокусировать на более перспективных технологиях: ЖК и OLED.

Источник напоминает, что в начале этого месяца с подобным заявлением выступила японская компания Seiko Epson. Ещё один влиятельный игрок рынка проекционных телевизоров, компания Hitachi, начала сворачивать их производство ещё в начале этого года.

Стоит также добавить несколько слов о реакции Sony на объединение сил конкурентов на рынке плоскостовых телевизоров. Уже созданы два альянса, организованных компаниями Matsushita, Hitachi, Canon, а также Sharp и Toshiba. В этой связи любопытным выглядит попытка Sony найти себе новых партнёров, несмотря на тесные отношения с Samsung. Со ссылкой на интервью президента компании Райожи Чубаши (Ryoji Chubachi) сообщается, что растущий спрос на телевизоры заставляет Sony искать новые надёжные каналы поставки ЖК-панелей в дополнение к существующим.

reuters.com