

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Тульский государственный университет

ИНТЕЛЛЕКТ-2016

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ
СИСТЕМЫ

Труды Всероссийской научно-технической конференции
(23 – 25 ноября 2016 г., г. Тула)

Тула 2016

В.В. Золотарев, П.В. Овечкин

ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ДЕКОДЕР ВИТЕРБИ НА БАЗЕ ГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОРОВ

г. Москва, Институт космических исследований РАН
г. Рязань, Рязанский государственный радиотехнический университет

В процессе передачи данных по спутниковым и другим каналам связи могут возникать ошибки. Для исправления ошибок в принятом из канала сообщении используются методы помехоустойчивого кодирования, которые заключаются в добавлении к исходным данным по специальному алгоритму на передающей стороне некоторой избыточной информации и её использовании на приемной стороне для восстановления отправленного сообщения. Среди методов помехоустойчивого кодирования лучшими по эффективности исправления ошибок являются оптимальные декодеры, которые всегда находят наиболее близкое (по кодовому расстоянию) к принятому сообщению кодовое слово [1]. Оптимальные декодеры при декодировании принятых сообщений осуществляют полный перебор всех возможных вариантов кодовых слов, поэтому их сложность экспоненциально зависит от длины используемого кода.

Среди оптимальных алгоритмов декодирования в настоящее время наиболее широкое распространение получил алгоритм декодирования сверточных кодов, предложенный А. Витерби в 1967 г. [2, 3]. Данный алгоритм позволяет изящно выполнить полный перебор всех возможных кодовых слов и выбрать среди них то, которое находится на минимальном расстоянии от принятого сообщения. Вместе с тем из-за экспоненциальной зависимости сложности декодера от конструктивной длины кода данный алгоритм может применяться только для кодов с небольшой конструктивной длиной.

В последнее время всё большее внимание специалистов по телекоммуникациям уделяется программно-ориентированным системам (SDR) [4], в которых значительная часть цифровой обработки сигналов выполняется на обычном персональном компьютере, имеющем в своем составе многоядерный центральный или графический процессор. Поэтому перспективным направлением для ускорения работы программных версий декодеров, в том числе и оптимальных декодеров Витерби, является их реализация на графических процессорах (GPU) с использованием архитектуры CUDA и языка CUDA C [5]. На языке CUDA C было уже написано множество приложений в различных отраслях промышленности. Во многих случаях за счет этого удалось добиться повышения производительности на несколько порядков. Язык CUDA C успешно применяется различных областях, включая обработку видео и изображений, вычислительную биологию и химию, моделирование динамики жидкостей, формирование изображений, полученных путем компьютерной томографии, сейсмический анализ, трассировку лучей, помехоустойчивое кодирование и многое другое. Главной отличительной особенностью использования GPU от реализации на CPU является то, что современные графические процессоры имеют тысячи ядер (современные CPU не более 16), и это позволяет параллельно выполнять несколько тысяч однотипных операций.

Одним из наиболее часто используемых оптимальных декодеров в беспроводных системах является декодер Витерби для сверточного кода с полиномами (133, 171), длиной кодирующего регистра равной 7 и кодовой скоростью $R = 1/2$. Скорость работы программных версий декодера Витерби с использованием возможностей центрального

процессора даже для таких коротких кодов обычно не превышает 10 Мбит/с. Для использования такого декодера в составе высокоскоростных программно-ориентированных телекоммуникационных системах требуется его реализация с использованием возможностей современных графических процессоров. В данной работе была использована графическая карта NVIDIA GeForce GTX 1080. Данная видеокарта построена на архитектуре Pascal и имеет 20 мультипроцессоров (SMM) с 2560 ядрами CUDA, базовой частотой 1.6 ГГц и вычислительными возможностями уровня 6.1. Каждый из мультипроцессоров содержит по 128 ядер CUDA, четыре варп планировщика, регистровую и текстурную память, а также 96 KB разделяемой памяти. Одним из основных способов создания быстродействующего декодера на CUDA является размещение в разделяемой и константной памяти всех используемых кодером и декодером массивов и обеспечение максимально возможного бесконфликтного доступа к элементам таких массивов, а также одновременный просмотр и анализ возможных переходов состояний для одного декодируемого сообщения несколькими потоками GPU.

При реализации системы с кодером сверточного кода и декодером Витерби для полиномов (133, 171) на GPU при кодировании использовалось разделение входного потока на блоки по 122 символа, к каждому из которых добавлялась хвостовая часть, состоящая из 6 нулевых символов для перевода декодера в конце работы в нулевое состояние, общая кодовая скорость при таком подходе равна 122/256. В результате выполненных работ для двоичного сверточного кода на базе архитектуры CUDA был разработан декодер Витерби, который использует только регистровые переменные, константную память и всего 9 KB разделяемой памяти, которая отводится на хранение принятого из канала сообщения, массива выполненных переходов состояний и метрик путей. Это позволяет на каждом из 20 мультипроцессоров выполнять одновременное декодирование

$$N_{bl} = \left\lfloor \frac{sharedPerSMM}{sharedPerViterbiBlock} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{96KB}{9KB} \right\rfloor = 10$$

принятых из канала блоков, таким образом, суммарно выполняется одновременное декодирование

$$SMMsCount \cdot N_{bl} = 20 \cdot 10 = 200$$

принятых сообщений. На рис. 1 представлена предлагаемая схема использования SMM.

Для существенного ускорения работы декодера Витерби используется одновременная работа нескольких потоков при декодировании каждого блока. При кодировании для формирования проверочных символов при поступлении в кодер очередного символа важно знать содержимое только первых шести битов сдвигового регистра. Содержимое первых шести битов полностью определяет состояние декодера, соответственно декодер для кода (133, 171) имеет 64 различных состояния. При декодировании принятого из канала сообщения на каждом шаге происходит перебор всех активных состояний предыдущего и анализируются возможные переходы в новое состояние. Так как в процессе декодирования необходимо считывать информацию о старом состоянии и записывать информацию о новом состоянии, то чтобы избежать конфликтов одновременной записи в одну область памяти каждый из потоков будет отвечать за определенное новое состояние. Например, поток 0 отвечает за новое состояние 0 декодера и анализирует предыдущие состояния 0 и 1 декодера, а поток 63 отвечает за новое состояние 63 декодера и анализирует предыдущие состояния 62 и 63 декодера (рис. 2). Такая организация позволяет работать потокам полностью независимо, причем при этом частота конфликтов обращения к разделяемой памяти не более 0.0005.

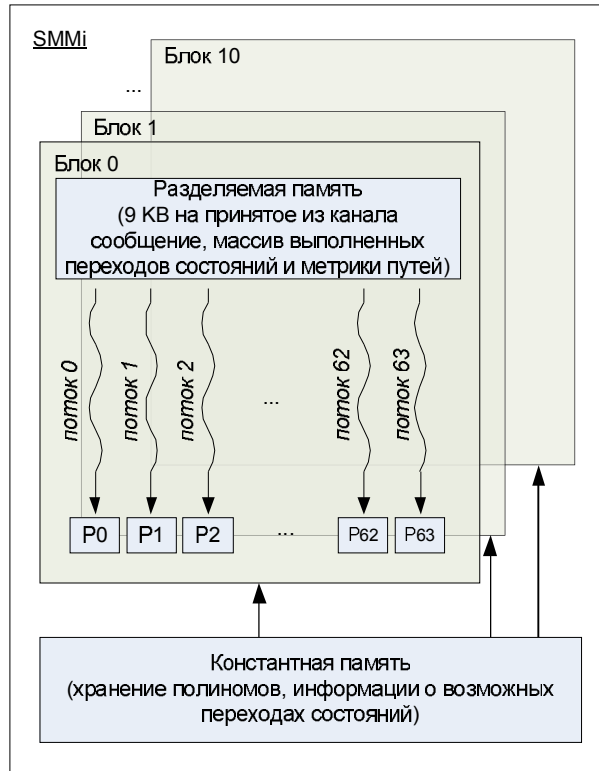


Рис. 1 Схема использования SMM

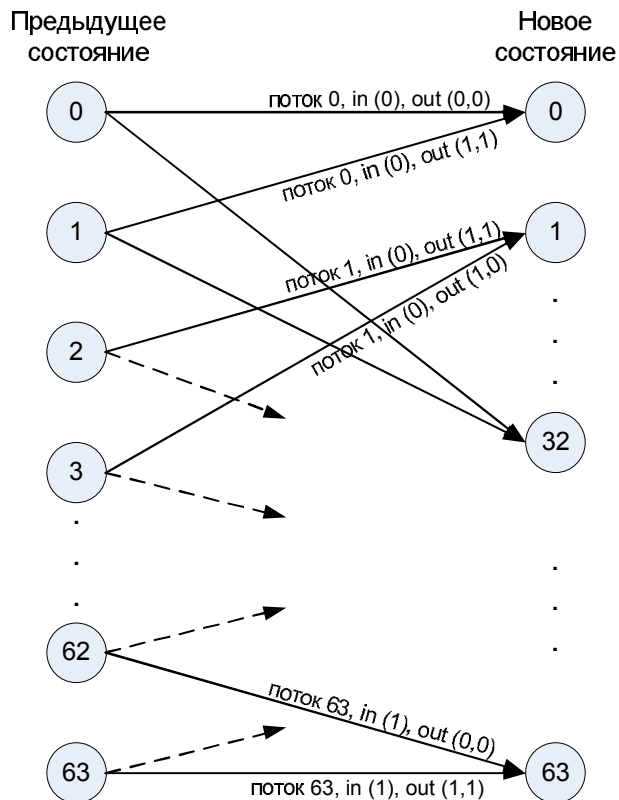


Рис. 2. Схема использования 64 параллельных потоков при переборе возможных состояний декодера

Использование данных приемов позволило получить общую скорость декодирования всей системы 160 Мбит/с при использовании кода с кодовой скоростью

$R = 122/256$ с полиномами (133, 171) и одновременным декодированием 200 принятых из канала сообщений. Скорость работы декодеров Витерби для кодов с другими параметрами представлена в табл. 1.

Таблица 1. Результаты моделирования декодера Витерби

Код (полиномы)	Количество одновременно декодируемых блоков	Скорость декодирования
(23, 35)	640	450 Мбит/с
(53, 75)	400	310 Мбит/с
(171, 133)	200	160 Мбит/с
(247, 371)	100	80 Мбит/с
(171, 133, 165)	200	145 Мбит/с
(117, 127, 155, 171)	200	140 Мбит/с

Таким образом, разработанные программные версии оптимальных декодеров Витерби можно использовать в высокоскоростных программно-ориентированных системах на базе графических процессоров.

Выводы

В статье рассмотрены особенности программной реализации оптимального декодера Витерби с использованием GPU. Показано, что разработанные декодеры способны обеспечить обработку входного потока со скоростями 80 – 450 Мбит/с при использовании GPU GTX 1080. Такая скорость позволяет использовать оптимальный декодер Витерби в высокоскоростных программно-ориентированных системах.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант №15-07-06348).

Литература

1. Зубарев Ю.Б., Овечкин Г.В. Помехоустойчивое кодирование в цифровых системах передачи данных // Электросвязь. М., 2008. №12. С. 2–11.
2. Viterbi A., Error Bounds for Convolutional Codes and an Asymptotically Optimum Decoding Algorithm, IEEE Trans., 1967, IT-13, pp.260–269.
3. Золотарёв В.В., Овечкин Г.В. Помехоустойчивое кодирование. Методы и алгоритмы. Справочник – М.: Горячая линия – Телеком, 2004, 126 с.
4. Software defined radio: architectures, systems, and functions. Dillinger, Madani, Alonistioti. Wiley, 2003. 454 pages.
5. Guohui Wang, Michael Wu, Bei Yin, Joseph R. Cavallaro. High throughput low latency LDPC decoding on GPU for SDR systems // Global Conference on Signal and Information Processing (GlobalSIP), 2013. P. 1258–1261.