

УДК 004.715

В.И. Грищенко, Ю.В. Ладыженский, Моатаз Юнис
Донецкий национальный технический университет
victor.grischenko@gmail.com, ly@cs.dgtu.donetsk.ua, moatazalyounes@gmail.com

Основные направления развития современных сетевых процессоров

Описаны особенности и функции сетевых процессоров. Проведен анализ современных СП, их технических характеристик и функциональных возможностей. Предложена обобщенная структура, отражающая перспективные тенденции в разработке сетевых процессоров.

Сетевой процессор, маршрутизатор, обобщенная структура, анализ современных сетевых процессоров

Введение

Сетевые процессоры (СП), как самостоятельный класс устройств, появились в конце 1990-х годов. Их создание было обусловлено увеличением объемов потоков данных в компьютерных сетях и, связанного с этим, повышением требований к пропускной способности сетевого оборудования. За прошедшее десятилетие СП развивались, в основном, в направлении увеличения производительности и расширения функциональности.

Особенности сетевых процессоров

Основным требованием к сетевым процессорам является способность обрабатывать поток пакетов со скоростью канала, к которому подключен маршрутизатор. Следует отметить, что маршрутизаторы могут использоваться как в магистральных сетях, где скорость передачи данных может превышать сотни гигабит в секунду, так и на маршрутизаторах обычных пользователей, работающими со скоростями от десятков Мб/с до нескольких Гб/с. При этом в разных типах сетей используются различные реализации СП.

В качестве основных отличий сетевых процессоров от процессоров общего назначения следует отметить [1]:

- набор инструкций большинства сетевых процессоров основан на RISC-архитектуре;
- архитектуры сетевых процессоров содержат дополнительные инструкции для битовых операций, расчета контрольных сумм и операций поиска;

СП могут содержать дополнительные функциональные блоки, реализующие задачи обработки пакетов.

В 2001 году был опубликован обзор состояния рынка сетевых процессоров [2]. Этот обзор содержал перечисление и описание основных моделей сетевых процессоров, присутствующих в то время на рынке.

За прошедшее время сетевые процессоры

развивались в основном в направлении увеличения быстродействия, а также в направлении расширения функциональных возможностей. Некоторые крупные производители (Exar, Intel, Mindspeed и Vitesse) за десять лет существенно потеряли в своих позициях на рынке и свернули дальнейшие разработки в области сетевых процессоров, не прекратив при этом производить уже разработанные модели [3]. Другие же (такие как EZchip) укрепили свои позиции и заняли основные позиции в сегменте решений для магистральных маршрутизаторов.

Современные модели сетевых процессоров

В настоящее время большую часть сетевых процессоров для высоконагруженных систем разрабатывает компания EZchip [3]. Основным продуктом этой компании в настоящее время являются сетевые процессоры NP-3 [4], обеспечивающие пропускную способность, равную 30 Гб/с (см. табл. 1).

Таблица 1. Характеристики СП EZchip NP-3

| Характеристика | Значение |
|------------------------|--|
| Пропускная способность | 30 Гб/с |
| Вычислительные ядра | Ядро общего назначения, специализированные ядра для обработки пакетов |
| Функциональные блоки | Менеджеры трафика (QoS), блоки поиска в маршрутных таблицах, аппаратная реализация обработки протокола OAM |
| Интерфейсы | 10 × 1Гб/с Ethernet, 1 × 10Гб/с Ethernet, 2 × SPI 4.2 |
| Размеры | 40×40 мм |
| Техпроцесс | 90 нм |
| Энергопотребление | — |

Сетевые процессоры NP-3 включают в себя менеджеры трафика для входящих и исходящих пакетов с 4-х уровневой иерархической классификацией пакетов; блоки поиска, которые могут использоваться для маршрутизации, коммутации и обеспечения политик безопасности; а также аппаратную реализацию протокола OAM (Operation, Administration, and Maintenance), упрощающую администрирование и поддержку маршрутизаторов. Маршрутные таблицы для этого процессора хранятся во внешней DRAM-памяти и могут достигать 1.5 Гбайт.

Для покрытия возрастающих требований современных компьютерных сетей компания EZchip выпустила сетевой процессор следующего поколения NP-4 [5], который обеспечивает пропускную способность маршрутизатора на уровне 100 Гб/с (50 Гб/с в дуплексном режиме). Этот СП основан на архитектуре NP-3, но имеет большую пропускную способность и более широкий набор функций (см. табл. 2).

Таблица 2. Характеристики СП EZchip NP-4

| Характеристика | Значение |
|------------------------|---|
| Пропускная способность | 100 Гб/с (50 Гб/с в дуплексном режиме) |
| Вычислительные ядра | Ядро общего назначения, специализированные ядра для обработки пакетов |
| Функциональные блоки | Менеджеры трафика (QoS), блоки поиска в маршрутных таблицах, аппаратная реализация обработки протокола OAM, блок взаимодействия с внешними матрицами коммутации |
| Интерфейсы | 1 × 40 Гб/с Ethernet, совместимый с 802.3ba или 10 × XAUI (10 Гб/с); 24 × quad-speed SGMII/1000Base-X Ethernet или 48 × tri-speed QSGMII Ethernet; |
| Размеры | 45×45 мм |
| Техпроцесс | 55 нм |
| Энергопотребление | 35 Вт |

Помимо функций, реализованных в NP-3, NP-4 предоставляет поддержку потокового видео и IPTV, встроенный блок взаимодействия с внешними матрицами коммутации, функции формирования трафика, большее число алгоритмов планирования очередей.

Сетевой процессор следующего поколения NP-5 [6] будет обеспечивать работоспособность

200 Гб/с сетей. При этом обеспечивается полная обратная программная совместимость с процессорами NP-4.

Среди производителей процессоров для устройств доступа наиболее крупным является компания PMC-Sierra, которая предлагает сетевые процессоры семейства WinPath3 [7], обеспечивающие пропускную способность до 10Гб/с. Благодаря гибкой архитектуре, эти устройства могут использоваться как в проводных, так и беспроводных сетях (см. табл. 3).

Таблица 3. Характеристики СП PMC-Sierra Winpath3

| Характеристика | Значение |
|------------------------|--|
| Пропускная способность | 10 Гб/с или до 15 млн. пакетов/с |
| Вычислительные ядра | 2 × MIPS @ 650 MHz, 64K icache / 32 K dcache, 512 MB L2 cache (на первом ядре); 12 × RISC WinGines @ 450 MHz |
| Функциональные блоки | Классификатор пакетов, блок политик, блок формирования трафика, два блока для поддержки криптографии |
| Интерфейсы | до 12 × Gigabit Ethernet, до 72 × Fast Ethernet, до 16 × TDM |
| Размеры | 31×31 мм |
| Техпроцесс | — |
| Энергопотребление | 20 Вт |

Процессоры WinPath3 содержат два отключаемых вычислительных ядра общего назначения и до 12 специализированных вычислительных ядер для обработки пакетов, которые в сумме реализуют до 64 аппаратных потоков обработки команд. Аппаратно реализованный классификатор пакетов может содержать до 32 тысяч правил, 16 тысяч из которых могут отвечать за переадресацию (forwarding). Классификатор обеспечивает обработку до 450 млн. поисковых запросов в секунду. Микропроцессор имеет 2,5 МБ внутренней памяти и три шины для работы с внешним ОЗУ.

Еще одним крупным производителем сетевых процессоров для устройств доступа является компания LSI, выпускающая новое семейство коммуникационных процессоров Axxia (Axxia communication processors, ACP). Процессоры этого производителя объединяют в себе использование вычислительных ядер общего назначения с архитектурой Power, и нескольких специализированных ядер для выполнения различных задач обработки пакетов: сравнение с

шаблоном, классификация, управление трафиком и др. В настоящее время LSI поставляет четыре модели сетевых процессоров: APP3100, APP3300, APP650 и APP300, которые отличаются структурой и производительностью. Технические характеристики наиболее производительного из них (APP3100) приведены в таблице 4.

Таблица 4. Характеристики СП LSI APP 3110

| Характеристика | Значение |
|------------------------|--|
| Пропускная способность | до 2 Гб/с |
| Вычислительные ядра | ARM 11 MP Core, 32 К кэш команд / 64 К кэш данных |
| Функциональные блоки | Классификатор пакетов, управление трафиком, акселератор обработки IPsec трафика |
| Интерфейсы | GMII (до 1000 Мб/с), SGMII (до 1000 Мб/с) GPIO, I ² C, UART, MDIO, JTAG |
| Размеры | 23×23 мм |
| Техпроцесс | — |
| Энергопотребление | 3 Вт |

Известный производитель микроэлектроники для систем связи Broadcom предлагает широкую линейку сетевых процессоров для Ethernet-сетей [8, 9]. В линейку входят одно, двух и четырехядерные процессоры с тактовой частотой от 800 MHz до 1,2 GHz. Эти процессоры обеспечивают пропускную способность 20 млн. пакетов/с [9]. При этом потребляемая мощность этих процессоров колеблется от 4 до 23 Вт в зависимости от количества вычислительных ядер. Эти процессоры не содержат специализированных функциональных блоков, и вся нагрузка по обработке пакетов ложится на вычислительные ядра общего назначения. Характеристики четырехядерного процессора BCM1455 представлены в таблице 5.

Таблица 5. Характеристики СП BCM1455

| Характеристика | Значение |
|------------------------|--|
| Пропускная способность | до 20 млн. пакетов в секунду |
| Вычислительные ядра | 4 64-битных ядра MIPS с тактовой частотой от 800 MHz до 1.2 GHz, 32 К кэш команд / 32 К кэш данных |
| Функциональные блоки | — |
| Интерфейсы | 4×Gigabit-Ethernet |
| Размеры | — |
| Техпроцесс | — |
| Энергопотребление | 19 Вт @ 1 Ghz |

Отдельно следует отметить процессоры серии StrataXGS [10, 11]. В эту серию входят специализированные процессоры, ориентированные на работы в высоконагруженных сетях и датацентрах. Они обеспечивают пропускную способность до 240 Гбит/с и предоставляют широкие функциональные возможности:

- поддержка последних протоколов туннелирования;
- иерархическая модель качества обслуживания (QoS);
- формирование трафика;
- поддержка OAM;
- синхронизация времени;
- более 100 тыс. счетчиков для сбора статистики о трафике.

Процессоры производства Broadcom являются одними из самых производительных устройств на рынке, но по распространенности они значительно уступают продуктам EZchip.

Обобщенная структура современного сетевого процессора

Проанализировав существующие структуры сетевых процессоров, можно представить обобщенную структуру современного сетевого процессора (см. рис. 1).

Большая часть представленных процессоров использует многоядерные структуры для повышения скорости обработки пакетов. Широко используются специализированные сопроцессоры и функциональные блоки для ускорения отдельных операций обработки пакетов. В общем случае сетевой процессор содержит несколько специализированных вычислительных ядер для обработки данных и ядро общего назначения для выполнения инструкций управления: обработка ошибок, сбор статистики, обновление маршрутных таблиц.

В обобщенной структуре сетевого процессора используется несколько специализированных вычислительных ядер для обработки потока пакетов. Ядра могут быть организованы в конвейерные, параллельные или смешанные структуры. Выбор оптимальной организации вычислительных ядер в большой степени зависит от особенностей приложений сетевой обработки, выполняемых на СП.

Специализированные ядра выполняют только обработку обычных пакетов. В случае появления управляющего пакета или возникновения ошибки при обработке обычного пакета, их обработка передается на ядро общего назначения. Это ядро занимается обработкой исключений, изменением таблиц маршрутизации и другими управляющими функциями.

В целях увеличения скорости обработки пакетов могут использоваться специализированные сопроцессоры.

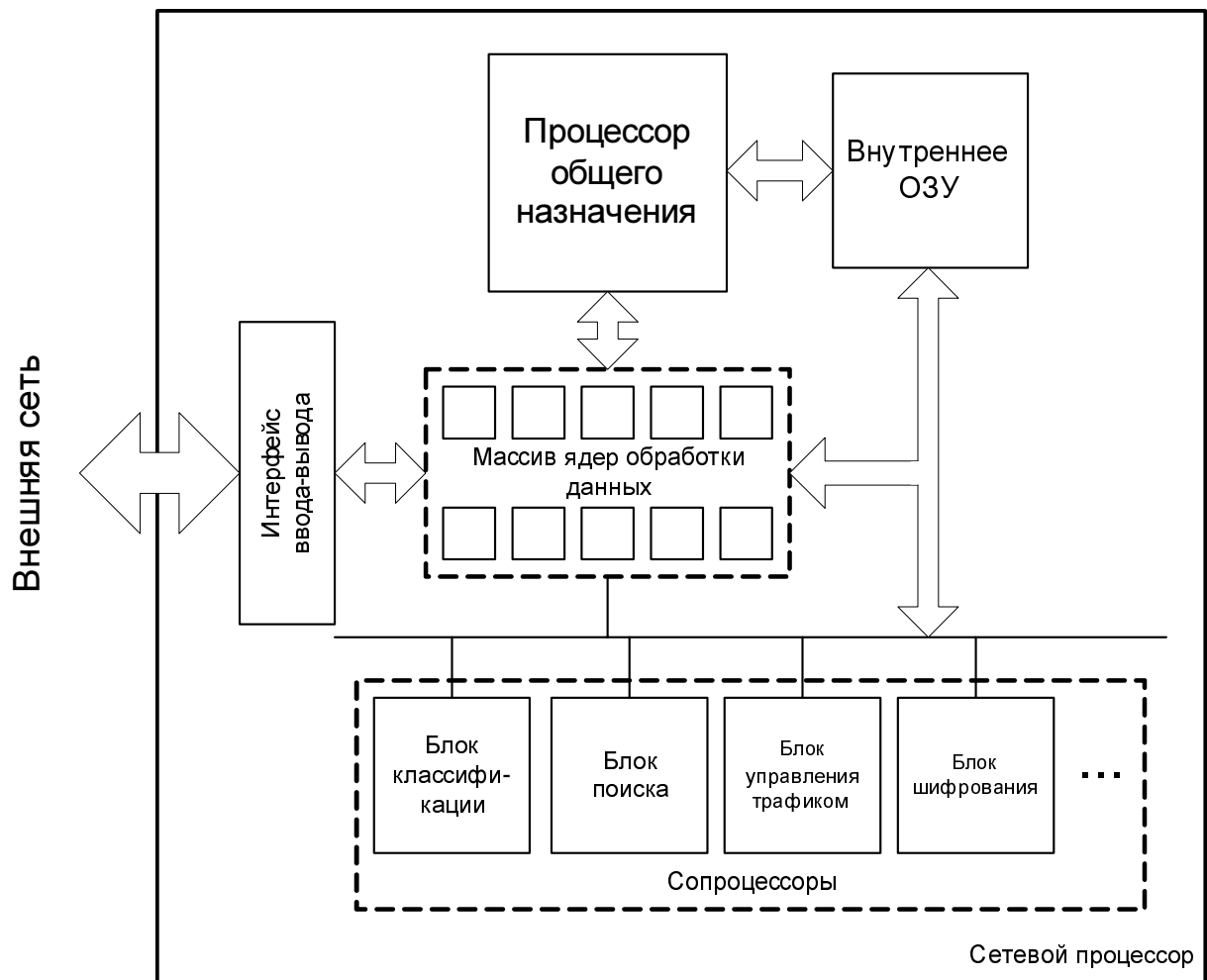


Рисунок 1 — Обобщенная структура сетевого процессора

Количество и функциональные возможности сопроцессоров зависят от области использования конкретной модели СП, но в большинстве моделей присутствуют блоки управления трафиком, поиска в маршрутной таблице, расчета контрольных сумм и блоки классификации пакетов. Сопроцессоры должны быть доступны всем ядрам обработки пакетов, поэтому имеет смысл соединить их с вычислительными ядрами посредством шины.

Еще одним способом повышения производительности обработки пакетов является размещение на кристалле блока оперативной памяти ограниченного объема. Это ОЗУ имеет меньшее время доступа по сравнению с внешней памятью и используется для хранения временных данных, используемых в процессе обработки пакетов.

В большинстве случаев ядра обработки данных работают только с заголовками пакетов. Поэтому размера внутреннего блока ОЗУ должно хватать для размещения заголовков всех

параллельно обрабатываемых пакетов. Тем не менее, при проектировании сетевого процессора следует помнить, что внутреннее ОЗУ большого размера значительно увеличит как площадь кристалла, так и его энергопотребление.

Выводы

В представленной статье проведен анализ и сравнение наиболее актуальных моделей сетевых процессоров. Рассмотрены особенности их структур и функциональные возможности. Показаны поддерживаемые протоколы и типы сетей. Для большей части сетевых процессоров приведены их физические характеристики, включающие размер, тактовую частоту и энергопотребление.

На основе рассмотренных моделей СП предложена обобщенная структура, отражающая основные направления и тенденции в разработке сетевых процессоров. Предложенная структура содержит массив специализированных вычислительных ядер для обработки пакетов и отдельное вычислительное ядро

общего назначения для выполнения операций управления и обработки исключений.

С целью увеличения скорости выполнения отдельных операций обработки пакетов, обобщенный сетевой процессор содержит специализированные сопроцессоры. Сопроцессоры могут выполнять функции классификации пакетов, поиска в маршрутной таблице, расчета контрольных сумм и другие. Количество и состав сопроцессоров зависит от целевого назначения разрабатываемого сетевого процессора.

Последняя особенность предложенной обобщенной структуры СП является расположение на кристалле процессора небольшого объема быстрой ОЗУ для хранения наиболее актуальной оперативной информации.

Таким образом, в статье сделано обобщение наиболее распространенных подходов к разработке современных сетевых процессоров, которое в дальнейшем может использоваться для построения моделей и разработке новых структур СП.

Список литературы

1. Ahmadi M. Network Processors: Challenges and Trends: In Proceedings of the 17th Annual Workshop on Circuits, Systems and Signal Processing, ProRisc 2006 / M. Ahmadi, S. Wong. – 2006. – P. 223 - 232.
2. Niraj Shah, Understanding network processors. – Tech Rep. Version 1.0. – Berkeley: EECS: University of California. — September 2001.
3. Wheeler B., Bolaria J. A Guide to Network Processors: Twelfth Edition, The Linley Group. – April 2011. – 171 p.
4. NP-3: 30-Gigabit Network Processor with Integrated Traffic Management. Product Brief: EZchip Technologies. – 2010. – 4 p.
5. NP-4: 100-Gigabit Network Processor for Carrier Ethernet Applications. Product Brief: EZchip Technologies. – 2011. – 11 p.
6. EZchip Discloses Product Details of Its NP-5 200-Gigabit Network. – Режим доступа: http://www.ezchip.com/pr_110524.htm. – Заглавие с экрана.
7. WinPath3™: Next generation access packet processor. – Режим доступа: <http://www.pmc-sierra.com/products/details/wp3/>. – Заглавие с экрана.
8. BCM1122: Product Brief. High-performance MIPS control processor. – Broadcom Corporation. – 2006.
9. BCM1455: Product Brief. Quad-Core 64-bit MIPS processor. – Broadcom Corporation. – 2006.
10. Broadcom BCM56540: Premier Metro Ethernet Switch. – Broadcom Corporation. – 2011.
11. Broadcom BCM56640: Extensible Multilayer Ethernet Switch for Chassis Application. – Broadcom Corporation. – 2010.

Надійшла до редколегії 12.10.2011

В.І. ГРИЩЕНКО, Ю.В. ЛАДИЖЕНСЬКИЙ, МОАТАЗ ЮНИС

Донецький національний технічний університет

V.I. GRISCHENKO, Y.V. LADYZHENSKY, MOATAZ YOUNES

Donetsk National Technical University

Основні напрями розвитку сучасних мережних процесорів

Описано особливості та функції мережних процесорів. Проведено аналіз сучасних МП, їх технічних характеристик і функціональних можливостей. Запропонована узагальнена структура, що відбиває перспективні тенденції в розробці мережних процесорів.

The Main Directions of Up-To-Date Network Processors Development

The features and functions of network processors are described. The performance and functionality of up-to-date network processors are analyzed. A generalized structure of NP is proposed. It reflects the long-term trends in the development of network processors

мережний процесор, маршрутизатор, узагальнена структура, аналіз сучасних мережних процесорів

network Processor, Router, Generalized Structure, Up-to-date network processors analysis