

ГИБРИДНАЯ МОДЕЛЬ СЕТЕЙ НА КРИСТАЛЛЕ

бак. А.О. Завьялов, бак. А.А. Федотова, НИУ "ВШЭ", г. Москва

Проведен анализ различных моделей сетей на кристалле (СтнК) [1], в результате которого предложено использовать высокоуровневый подход, эффективный для подбора параметров и топологий, и низкоуровневый, который используется для тестирования разработанных устройств.

Разработана высокопараметризованная HDL-модель СтнК на языке Verilog и высокоуровневая модель на языке Java на основе grNoCsim [2], в которых доступны три топологии: mesh, torus, циркулянт, а также есть возможность добавить собственный файл с соединениями и настроить любую топологию.

В HDL-модели используется маршрутизатор с центральным буфером [3] и wormhole схема передачи пакетов. Для топологий mesh и torus используется алгоритм маршрутизации XY, а для circulant – алгоритм из работы [4], что позволяет моделировать кольцевые циркулянты. HDL-модель запускается в среде Modelsim с помощью Python-скрипта. Параметры модели записаны в json-файле. Для проведения экспериментов разработаны вспомогательные скрипты для построения графиков зависимости среднего времени передачи пакетов в сети и времени ее работы от какого-либо параметра, и для подбора оптимального значения этого параметра. Для увеличения скорости работы модели параллельно запускается несколько моделирований.

При сравнении трех топологий наиболее эффективной оказался кольцевой циркулянт. Проведены эксперименты, в результате которых установлены зависимости минимальной задержки ввода пакетов в сеть и среднего времени передачи пакетов от количества узлов. Также проведены эксперименты с различными топологиями при одинаковой задержке ввода пакетов в сеть. После проведения экспериментов выявлено, что оптимальный кольцевой циркулянт эффективнее mesh и torus на 28% и 21% соответственно. Недостатком HDL-модели является длительный цикл моделирования СтнК, составляющий около 30 минут для C(100; 1, 18), но при этом такой тип моделирования имеет высокую точность.

Разработанная высокоуровневая модель на Java позволяет ускорить процесс моделирования на несколько порядков за счет снижения точности результатов моделирования. Взаимодействие между IP-блоками основывается на сетевой модели OSI. Управление передачей данных происходит с поддержкой виртуальных каналов. Симулятор позволяет проводить моделирование различных топологий, которые задаются с помощью таблиц связи [5]. Каждый роутер содержит свою таблицу маршрутизации: для топологий mesh и torus используется алгоритм XY, для топологии циркулянт – модифицированный алгоритм Дейкстры,

который позволяет проводить моделирование любых двумерных циркулянтов. Java-модель предоставляет возможность моделирования предельно-оптимальных циркулянтных графов [6], результаты симуляции которых демонстрируют преимущества работы предельно-оптимального циркулянта перед циркулянтном с подобранными значениями образующих.

В одном из экспериментов по апробации модели показано, что СтнК с 50 узлами с топологией двухмерный циркулянт $C(50; 4, 5)$ на 20% быстрее передает пакеты, чем $toqus(5 \times 10)$. Также показано, что квадратная форма топологии у $mesh$ и $toqus$ более производительна, чем прямоугольная. СтнК с топологией двухмерный циркулянт с различным количеством узлов производительнее, чем $toqus$ и $mesh$, а также меньше подвержен явлению блокировки пакетов.

Обе разработанные модели работают совместно в качестве гибридной модели: для предварительного подбора наиболее эффективной топологии используется высокоуровневая модель, затем выбранная топология реализуется на уровне HDL-модели СтнК. На основе получаемых результатов моделирования составляется статистика работы сети. После проведения экспериментов выявлено, что результаты обеих моделей с одинаковыми параметрами коррелируют, что позволяет говорить о возможности их совместного использования. С использованием предложенного подхода получены функциональные зависимости задержки ввода пакетов в сеть и среднего времени передачи пакетов от количества узлов для различных топологий СтнК и профилей трафика, и показано, что наибольшую пропускную способность среди анализируемых имеет топология циркулянт.

Список литературы: 1. Angiolini, F., Meloni, P., Carta S., Raffo, L. and Benici, L. (2007), "A layout-aware analysis of network-on-chip and traditional interconnects for MPSoC", *IEEE Trans. Comput. Des. Integr. Circuits Syst.*, Vol. 26. No.3. P. 421–432. 2. Hossain, H., Mostak, A., Abdullah, A.-N., Tanzima Z.I. and Md. Mostofa A. (2007), "gpNoCsim - a general purpose simulator for network-on-chip", *Res. Dev. Commlink Info Tech Ltd., Dhaka, Bangladesh*. P. 7–9. 3. Ryazanova, A.E., Amerikanov, A.A. and Lezhnev, E.V. (2019), "Development of multiprocessor system-on-chip based on soft processor cores schoolMIPS", *J. Phys. Conf. Ser.*, Vol. 1163, No. 1. 4. Romanov A.Y. (2019), "Development of routing algorithms in networks-on-chip based on ring circulant topologies", *Heliyon. Elsevier*, Vol. 5, № 4, P. 15-16. 5. Romanov, A.Y. and Romanova, I.I. (2015), "Use of irregular topologies for the synthesis of networks-on-chip", *IEEE 35th International Conference on Electronics and Nanotechnology, ELNANO 2015 - Conference Proceedings*. P. 445–449. 6. Монахова, Э.А. (2011), "Структурные и Коммуникативные Свойства Циркулянтных Сетей", *Прикладная Дискретная Математика*, Vol. 3, № 13, P. 92–115.