

ПЕРСПЕКТИВЫ RISC-V АРХИТЕКТУРЫ В РАЗРАБОТКЕ МИКРОПРОЦЕССОРОВ

Е.А. Аникеев¹, А.В. Акименко¹, И.Н. Занин¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Анотация: В статье рассматриваются перспективы применения архитектуры RISC-V в разработке микропроцессоров. Анализируются ограничения масштабирования транзисторов, недостатки архитектуры x86 и их влияние на производительность и энергоэффективность. Рассмотрены особенности RISC-V, включая открытую архитектуру, модульность и настраиваемость, а также её преимущества и перспективы в контексте закона Амдала. Приведены примеры применения RISC-V в различных областях, включая высокопроизводительные вычисления, встроенные системы и интернет вещей, а также текущие проекты в Российской Федерации.

Ключевые слова: RISC-V, микропроцессоры, архитектура, масштабирование транзисторов, энергоэффективность, открытая архитектура, закон Амдала.

PERSPECTIVES OF RISC-V ARCHITECTURE IN MICROPROCESSOR DEVELOPMENT

E.A. Anikeev¹, A.A. Akimenko¹, I.N. Zanin¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. This article examines the prospects of using the RISC-V architecture in microprocessor development. The limitations of transistor scaling, the shortcomings of the x86 architecture, and their impact on performance and energy efficiency are analyzed. The features of RISC-V, including its open architecture, modularity, and customizability, as well as its advantages and prospects in the context of Amdahl's Law, are considered. Examples of RISC-V applications in various fields, including high-performance computing, embedded systems, and the Internet of Things, as well as current projects in the Russian Federation, are provided.

Keywords: RISC-V, microprocessors, architecture, transistor scaling, energy efficiency, open architecture, Amdahl's Law.

На протяжении последних 50 лет в микроэлектронике происходит явление, которое принято называть «масштабированием транзисторов».

Это процесс напрямую связан с законом Мура, предсказывающим удвоение количества транзисторов на кристалле каждые два года.

Формула закона Мура:

$$F = 2^{n \cdot F1}$$

где F — показатель улучшения характеристик компьютера, $F1$ — начальный показатель характеристик компьютера, n — количество двухгодичных промежутков времени, которые прошли с момента, когда имел место $F1$ [6].

Закон Мура, описывающий экспоненциальный рост плотности транзисторов на кристалле, на протяжении десятилетий был движущей силой развития микропроцессорной индустрии. Увеличение плотности транзисторов позволяло повышать производительность за счет увеличения числа ядер, увеличения тактовой частоты и более сложной архитектуры. Однако, с приближением к физическим пределам масштабирования транзисторов, дальнейшее увеличение производительности становится все более сложным и энергозатратным [6].

Это также называют масштабированием Деннарда принцип которого показывает, что уменьшение размеров полевых транзисторов приводит к тому, что они работают быстрее, в то время как соразмерно увеличивается энергопотребление процессора.

Согласно закону Деннарда, плотность мощности должна была оставаться постоянной по мере уменьшения размеров транзисторов. Однако, с уменьшением размеров транзисторов, возрастает ток утечки, что приводит к увеличению энергопотребления и тепловыделения. Это затрудняет увеличение тактовой частоты процессоров, так как тепловыделение растет пропорционально квадрату частоты:

$$P = C \cdot V^2 \cdot f$$

где P — мощность, C — емкость, V — напряжение, f — частота [5].

В контексте архитектуры x86, осложнение набора инструкций и увеличение сложности микроархитектуры приводят к росту затрат энергии и задержек при исполнении инструкций.

Современная микроэлектроника развивается в условиях постоянного стремления к увеличению производительности при одновременном снижении энергопотребления [6].

Это позволило значительно увеличить производительность процессоров, что мы видим на рисунке. 2, однако в последние годы темпы масштабирования замедляются, так как предел масштабирования в ближайшее время будет достигнут.

Вначале программисты имели дело с набором команд процессора, который назывался сложным CISC. Для наибольшей эффективности его упростили его и сделали RISC [4].

Далее в конце эпохи Деннарда произошел переход к многоядерным системам, что так же способствовало увеличению производительности. Однако, было быстро достигнуто ограничение, обусловленное так называемым законом Амдала — когда производительность многоядерной системы ограничивается наиболее узким местом, а именно доступом к общей памяти среди многочисленных ядер на микропроцессоре.

Вот формула закона Амдала для оценки максимального ускорения (S), достижимого на вычислительной системе из P процессоров:

$$S = \frac{1/(f + (1 - f))}{P}$$

Формула предполагает, что f — это доля последовательных вычислений в общем объёме, а P — число используемых процессоров.

Закон Амдала гласит, что ускорение выполнения программы за счёт распараллеливания её инструкций на множестве вычислителей ограничено временем, необходимым для выполнения её последовательных инструкций.

Сейчас мы находимся в красной зоне — конце масштабирования. Закон Мура для микропроцессоров близится к своему завершению, так как физические ограничения затрудняют дальнейшее увеличение плотности интеграции. [5]

В этом контексте, RISC-V представляет собой открытую, свободную от лицензионных отчислений архитектуру набора команд (ISA), предоставляющую гибкую и настраиваемую платформу для создания микропроцессоров. В отличие от проприетарных архитектур RISC-V позволяет разработчикам вносить изменения и дополнения в набор инструкций, что открывает новые возможности для оптимизации процессоров под конкретные задачи [1].

Таким образом архитектура x86, традиционно доминирующая на рынке, сталкивается с рядом проблем. Ее сложность, обусловленная обратной совместимостью с предыдущими поколениями, затрудняет оптимизацию и инновации. Так же несмотря на переход на RISC-процессоры, системы команд продолжали усложняться. Это связано с тем, что возникали новые приложения, а для этих новых приложений требовались новые команды. На рисунке 3 показан рост количества таких команд для архитектуры Intel x86.

Тенденции развития микропроцессорных технологий направлены на поиск новых архитектурных решений, способных преодолеть ограничения масштабирования транзисторов и энергоэффективности. Основные направления исследований: параллельные вычисления, специализированные ускорители, новые типы памяти и альтернативные материалы. В этом контексте RISC-V с его гибкостью и открытостью представляется перспективным кандидатом для создания эффективных и энергоэффективных микропроцессоров [4].

Ключевые особенности RISC-V:

- Модульность.
- Открытость и свобода.
- Простота.
- Настраиваемость.
- Производительность.
- Энергоэффективность.
- Гибкость.
- Низкая стоимость.
- Безопасность [4].

В настоящее время RISC-V активно развивается и применяется в различных областях.

Перспективы RISC-V в области микропроцессоров весьма обнадеживающие. Ожидается дальнейший рост популярности RISC-V в различных сегментах рынка, особенно в сегментах встроенных систем, интернета вещей, искусственного интеллекта и высокопроизводительных вычислений [1].

Приведём примеры использования RISC-V:

Системы Интернета вещей (IoT).

Компания SiFive, один из ведущих игроков на рынке RISC-V, производит широкий спектр микроконтроллеров на базе этой архитектуры, предназначенных для различных устройств IoT [3].

Высокопроизводительные вычисления.

Некоторые компании, такие как Esperanto Technologies, разрабатывают многоядерные процессоры на основе RISC-V для высокопроизводительных вычислений, включая задачи машинного обучения и обработки больших данных [2].

Встраиваемые системы.

RISC-V используется в различных встраиваемых системах, таких как автомобильная электроника, промышленная автоматика и аэрокосмическая техника.

В Российской Федерации также ведут активную работу над внедрением и развитием RISC-V технологий.

Российские проекты по работе с RISC-V включают в себя такие исследования как:

Разработка микроконтроллеров для специальной техники.

Российские научно-исследовательские институты и компании работают над созданием микроконтроллеров на основе RISC-V для использования в специальной технике и военной промышленности.

Встраиваемые системы для промышленного оборудования.

Российские разработчики применяют RISC-V в создании систем управления для промышленного оборудования.

Образовательные и исследовательские проекты.

Несколько российских университетов и исследовательских центров активно используют RISC-V в образовательных и исследовательских целях.

RISC-V представляет собой перспективную архитектуру для разработки микропроцессоров, способную ответить на современные вызовы в области микроэлектроники.

Список литературы

1. Выбор критерия оптимальности при принятии управленческих решений в сложных технических системах / А. В. Скрыпников, И. А. Высоцкая, С. А. Евдокимова [и др.] // Моделирование систем и процессов. —

2024. – Т. 17, № 1. – С. 120-128. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-120-128. – EDN MMIAIH.

2. Карелин, А. Н. Решение задач тепло- и массообмена в технических объектах на основе компьютерного моделирования / А. Н. Карелин // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 57-65. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-57-65. – EDN NESKWZ.

3. Минакова, О. В. Повышение эффективности работы в проектах open source на основе архитектурного анализа (на примере проекта Сахана) / О. В. Минакова, И. В. Поцбнева, П. Ю. Гусев // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 84-92. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-84-92. – EDN NZNSKM.

4. Полонский, С. В. / RISC-V — лекция Станислава Полонского / С. В. Полонский // Исследования и прогнозы в IT : [сайт]. — URL: <https://habr.com/ru/companies/samsung/articles/668810/> (дата обращения: 17.12.2024).

5. Методика проектирования специализированных вычислительных систем на основе совместной оптимизации аппаратного и программного обеспечения / И. Е. Тарасов, П. Н. Советов, Д. В. Люлява, Д. И. Мирзоян // RUSSIAN TECHNOLOGICAL JOURNAL. — 2024. — № 3. — С. 37-45.

6. Современные проблемы и закон Мура / В. С. Тормозов, Е. А. Кулпейс, К. К. Смагулова, Н. Н. Смокталь // Ученые заметки ТОГУ. — 2021. — № 3. — С. 97-99.

7. Юрчишина, М. В. Алгоритмическая модель СППР «Оптимальный учебный план» / М. В. Юрчишина, К. И. Бушмелева // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 4. – С. 84-95. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-84-95. – EDN OJFBGD.

8. Арапов, Д. В. Автоматизированная мобильная система принятия решений для использования в специальной медицине / Д. В. Арапов, В. А. Курицын, С. А. Скоробогатов // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 7-16. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-5-13. – EDN SMPART.

References

1. Selection of the optimality criterion when making management decisions in complex technical systems / A. V. Skripnikov, I. A. Vysotskaya, S. A.

Evdokimova [et al.] // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – P. 120-128. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-120-128. – EDN MMIAIH.

2. Karelin, A. N. Solution of heat and mass transfer problems in technical objects based on computer modeling / A. N. Karelin // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – P. 57-65. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-57-65. – EDN NESKWZ.

3. Minakova, O. V. Improving the efficiency of work in open source projects based on architectural analysis (using the Sakhan project as an example) / O. V. Minakova, I. V. Potsebnaya, P. Yu. Gusev // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – P. 84-92. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-84-92. – EDN NZNSKM.

4. Polonsky, S.V. / RISC-V — lecture by Stanislav Polonsky / Polonsky S.V. // Research and forecasts in IT: [site]. — URL: <https://habr.com/ru/companies/samsung/articles/668810/> (date of access: 12/17/2024).

5. Methodology for designing specialized computing systems based on joint optimization of hardware and software / I. E. Tarasov, P. N. Sovetov, D. V. Lyulyava, D. I. Mirzoyan // RUSSIAN TECHNOLOGICAL JOURNAL. – 2024. – No. 3. – pp. 37-45.

6. Modern problems and Moore's law / V. S. Tormozov, E. A. Kulpeis, K. K. Smagulova, N. N. Smoktal // Scientific notes of Tomsk State University. — 2021. — No. 3. — p. 97-99.

7. Yurchishina, M. V. Algorithmic model of the DSS "Optimal curriculum" / M. V. Yurchishina, K. I. Bushmeleva // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 4. – pp. 84-95. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-84-95. – EDN OJFBGD.

8. Arapov, D. V. Automated mobile decision-making system for use in special medicine / D. V. Arapov, V. A. Kuritsyn, S. A. Skorobogatov // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 3. – pp. 7-16. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-5-13. – EDN CMPAPT.