

Д.И. Приходько

ОСНОВНАЯ ТИПИЗАЦИЯ МУЛЬТИРАЗЯДНОГО МИКРОПРОЦЕССОРА В СТРУКТУРЕ СОВРЕМЕННЫХ МИКРОПРОЦЕССОРОВ¹

Аннотация. Рассматриваются мультиразрядные микропроцессы – особый класс значительно улучшенных микропроцессоров, в которые встроены механизмы, отвечающие за повышение надежности работы программного обеспечения, запускаемого на данном микропроцессоре, – табличная структура регистров и система резервного копирования. Рассматривается месторасположение указанного микропроцессора и основные характеристики модельного ряда: система команд (самые популярные типы CISC и RISK), тип организации стека (Неймана – Лебедева, гарвардская архитектура), тип распределения команд (статический или динамический). В качестве примера взят доработанный вариант микропроцессора AMD64, в котором применена табличная модель организации регистров и использовано резервное копирование.

Ключевые слова: мультиразрядный микропроцессор, система команд микропроцессора, AMD64.

D.I. Prikhodko

BASIC TYPING OF MULTIBIT MICROPROCESSOR IN THE STRUCTURE OF MODERN MICROPROCESSORS

Abstract. The article considers a special class of microprocessors – multi-bit microprocessors, which are significantly improved microprocessors. They have built-in mechanisms to improve the reliability of software running on a given microprocessor. The main ones are a tabular register structure, and a backup system. The location of the specified microprocessor and the main characteristics of the lineup are considered, which include the command system (the most popular CISC and RISK types), the type of stack organization (Neumann – Lebedev, Harvard architecture), the type of command distribution (static or dynamic). An example for an analysis will be a modified version of the AMD64 microprocessor, in which a tabular model of register organization is applied and backup is used.

Keywords: multi-bit microprocessor, microprocessor instruction system, AMD64.

Введение

В последнее время информационные технологии продолжают активно развиваться, а до этого пережили настоящий бум. IT-индустрия сегодня представлена крупными транснациональными корпорациями, такими как Microsoft, Apple, Google, Yandex и др., причем практически все крупные сектора этих компаний имеются в зарубежных странах (Китай, США, Тайвань и др.). В нашей стране присутствуют свои гиганты по производству микропроцессоров, в частности это компании МЦСТ, «Байкал электроникс» и др.

При разработке мультиразрядных микропроцессоров [1], обладающих специфическими особенностями, к которым относится работа в экстремальных условиях окружа-

¹ Публикация выполнена в рамках государственного задания ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, которое на момент подачи статьи имеет следующее наименование: «Проведение фундаментальных научных исследований (47 ГП)» по теме № FNEF-2022-0012 «Системы виртуального окружения: технологии, методы и алгоритмы математического моделирования и визуализации. 0580-2022-0012».

Приходько Дмитрий Игоревич

магистр, инженер вычислительных и электронно-вычислительных машин, «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований РАН». Научно-исследовательский институт системных исследований РАН, Москва. Сфера научных интересов: информационные системы, вычислительные системы, операционные системы, эксплуатация вычислительных систем. Автор более 30 опубликованных научных работ. SPIN-код: 9063-2855, AuthorID: 968616.

Электронный адрес: mitry1205@mail.ru

ющей среды, возникает ряд вопросов: к какой категории относится данный микропроцессор, какой тип стека является рекомендуемым, какую систему команд можно выбрать?

Цель статьи – определить основные особенности мультиразрядного микропроцессора и класс принадлежности по типам приложений.

Опишем существующие типы приложений, которые используются в разработках в настоящее время.

Методология

В статье рассмотрена классификация микропроцессоров по следующим характеристикам: тип набора команд, тип организации стека, тип организации распределения команд, а также вопрос о проектировании мультиразрядного микропроцессора на примере существующих решений – архитектур AMD64 [2] и «Эльбрус» [3].

Из существующих наборов команд для микропроцессоров и микроконтроллеров наибольшей популярностью пользуются следующие наборы:

- **CISC.** Полный набор команд. Первоначально использовался в микропроцессорах. Из производителей современные модели выпускают компании AMD, Intel. Постепенно будет уходить в прошлое, так как практика компиляторов показала, что столько инструкций уже не требуется, и прирост производительности заметно снижен по сравнению с RISC;

- **RISC.** Сокращенный набор команд. Первоначально разрабатывался компанией ARM, используется также в микропроцессорах «Эльбрус». Потенциал прироста этой архитектуры пока не исчерпан, в отличие от CISC.

При этом микропроцессоры по типу организации стека, то есть по способу передачи аргументов и вызову функций в микропроцессоре, можно классифицировать следующим образом:

- **микропроцессоры с архитектурой организации стека Неймана – Лебедева.** Стек организован таким образом, что аргументы и адрес функции физически расположены в одном месте. Для доступа есть информация только по указателю на вершину стека;

- **микропроцессоры с гарвардской архитектурой.** Стек и аргументы функций физически разделены. Для доступа к аргументам их согласования с вызываемой функцией используются специальные дескрипторы доступа. Ярким представителем являются микропроцессоры, производимые компанией МЦСТ.

По способам распределения команд микропроцессоры классифицируются следующим образом:

- **статические.** Распределение команд закладывается полностью компилятором, процессор только выполняет их в указанном расположении;

Основная типизация мультиразрядного микропроцессора ...

– *динамические*. Распределение команд выполняется микропроцессором, процессор только выполняет их в указанном расположении.

Рассмотрим недостатки по показателям и выбор модели микропроцессора с учетом описанных недочетов.

Результаты

Описанные выше характеристики необходимо дополнить фактом, что мультиразрядные микропроцессоры предназначены для эксплуатации в экстремальных условиях окружающей среды, к которым относят и космическое пространство. В связи с этим требования к их разработке существенно выше, чем к обычным микропроцессорам [4; 5].

Рассмотрим характеристики каждой из категорий мультиразрядных микропроцессоров.

С точки зрения набора команд – CISC и RISC – практика использования компиляторов показала, что оба решения имеют свои достоинства и недостатки (Таблица).

Таблица

Обзор основных достоинств и недостатков CISC и RISC.

Система команд	Достоинства	Недостатки
CISC	Простые инструкции для написания программ на низком уровне	Различный размер инструкций программ
	Более простое построение компилятора на языке высокого уровня	Избыточно большой набор команд, который зачастую не используется компилятором
RISC	Уменьшенный набор команд, который позволяет оптимизировать работу программ	Программы сложнее отлаживать, так как число инструкций больше, чем в CISC
	Одинаковый размер инструкций улучшает производительность программ	Требует более продвинутого компилятора

Таким образом, лидером по набору команд является модель RISC, которая является более простой для микропроцессора, хотя и требует построения качественного компилятора.

В микропроцессоре архитектуры организации стэка Неймана – Лебедева и Гарварда представлены на Рисунок 1.

Можно отметить, что главная проблема архитектуры Гарварда при воздействии ионизирующего излучения – угроза рассогласования адресов памяти команд с аргументами. Поэтому для защиты от воздействия ионизирующего излучения понадобится организовать не просто дублирование стэка памяти и команд, но и дескрипторы обращения.

Для архитектуры Неймана – Лебедева этой проблемы не существует, так как аргументы и команды находятся физически в одном месте, и поэтому организовать защиту от неустраняемого отказа достаточно путем простого дублирования.

Поэтому для мультиразрядных микропроцессоров система организации стэка Неймана – Лебедева является более предпочтительной, нежели гарвардская.

Сравнение по системе распределения команд приведено на Рисунок 2.

Как видно из рисунка, распределение команд для архитектуры «Эльбрус» выполняет компилятором, а для архитектуры Intel x86 – встроенным в микропроцессор конвейером команд. В связи с этим можно сделать следующие выводы.

1. Архитектура «Эльбрус» является потенциально выигрышной по сравнению с Intel x86, так как потенциал роста первой не ограничен и зависит только от компилятора и числа ядер в микропроцессоре.

2. При повреждении микропроцессора архитектуры «Эльбрус» возникает вопрос перестройки исполнения VLIW-пакета при подаче команд. Для моделей Intel основная проблема – надежность механизма распределения команд в микропроцессоре.

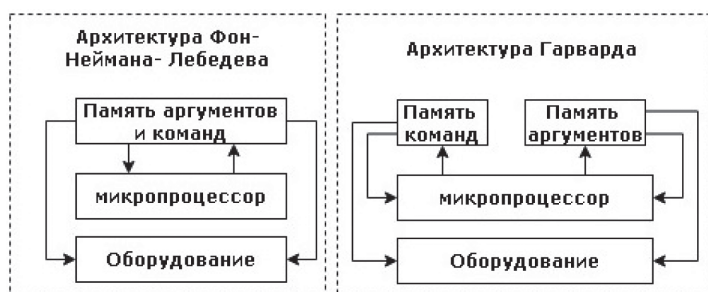


Рисунок 1. Архитектуры организации стека микропроцессоров

Источник: выполнено автором.

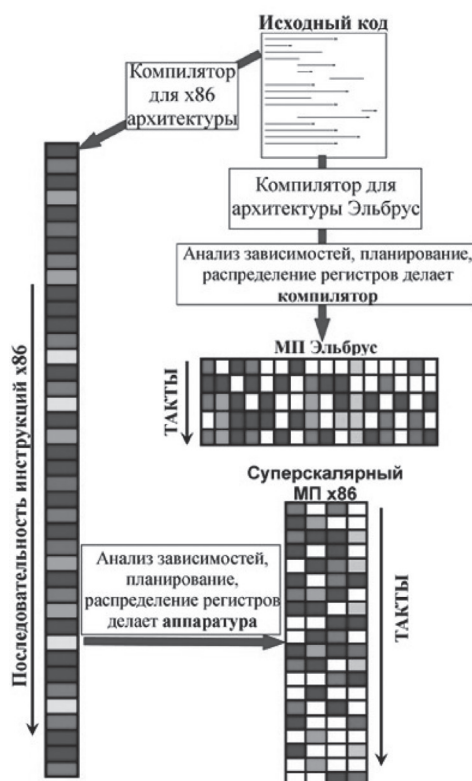


Рисунок 2. Сравнение распределения команд архитектуры «Эльбрус» и Intel x86

Источник: Краткое описание архитектуры Эльбрус (URL: http://www.elbrus.ru/elbrus_arch).

Таким образом, с точки зрения надежности архитектура Intel x86 проще и, следовательно, при дополнении табличной структуры регистра остается лишь обеспечить надежность системы распределения команд, то есть данная архитектура предпочтительнее.

Основные характеристики мультиразрядных микропроцессоров:

- используется логическая модель организации регистров, подразумевающая, что физическая последовательность записи результата может не совпадать с логической;
- используются различные механизмы резервного копирования значений в неактивный набор триггеров;
- используются особые структуры организации регистров работы с числами с плавающей точкой.

Приведем пример табличной структуры регистра микропроцессора, которая является общей чертой для мультиразрядных микропроцессоров (Рисунок 3).

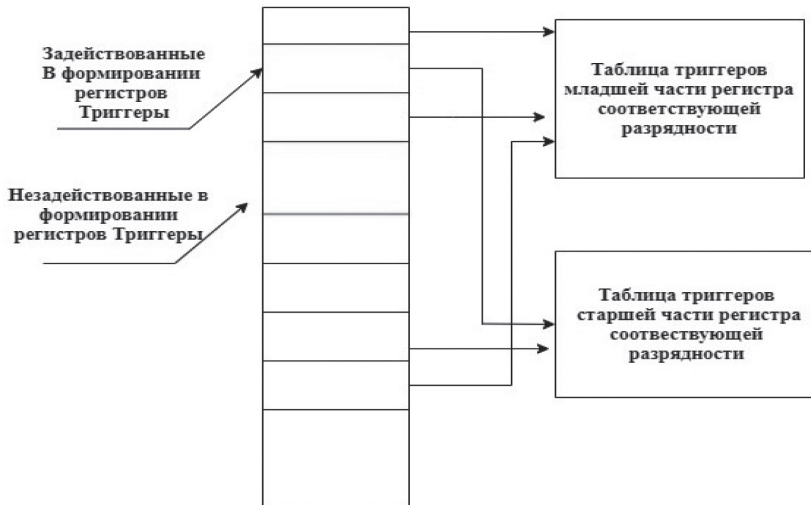


Рисунок 3. Табличная структура регистров мультиразрядного микропроцессора

Источник: выполнено автором.

Из Рисунок 3 следует, что мультиразрядные микропроцессоры относятся к классу более устойчивых микропроцессоров, предназначенных для запуска программного обеспечения в экстремальных условиях окружающей среды.

Обсуждение

Таким образом, из всего вышесказанного можно сделать вывод, что мультиразрядный микропроцессор на архитектуре Intel x86 с учетом внутренних построений в общем случае является более надежным, так как требует меньших доработок для повышения надежности. Поэтому построение мультиразрядного микропроцессора лучше выбирать на основе архитектуры AMD64. Однако с учетом последних событий достоинства микропроцессора Intel разбиваются о проблемы, связанные с тем, что архитектура Intel не является отечественной, и рост производительности архитектуры CISC по сравнению с RISC можно считать остановленным.

Поэтому проектирование мультиразрядных микропроцессоров на архитектуре «Эльбрус» возможно, но потребует следующих дополнительных доработок:

- внедрение системы пересборки пакетов, что позволит исключить поврежденные ядра из работы максимально безболезненно;
- внедрение механизма дополнительного распределения команд, что необходимо для оптимизации пересобранного пакета под оставшиеся ядра;
- создание системы резервирования адресации и дескрипторов для работы стека, что необходимо для гарантированной сохранности выполненных команд в микропроцессоре;
- дополнение режимами работы, которые требуют меньших ресурсов микропроцессора, по аналогии с Intel.

В свою очередь, использование указанных механизмов для мультиразрядного микропроцессора на архитектуре «Эльбрус» и Intel x86 означает существенное удорожание разработки программного обеспечения [6–8] и увеличение потребления электроэнергии, что ограничивает область применения данного типа микропроцессоров.

Заключение

Показано, что мультиразрядные микропроцессоры относятся к классу микропроцессоров, предназначенных для работы в космических условиях.

Оптимальная для разработки и проектирования структура рассмотренных характеристик следующая: RISK построенная система команд, динамический конвейер команд, организация стека по технологии Неймана – Лебедева.

Поэтому для реализации лучшим образом подходит архитектура Intel x86, однако при внедрении специальных доработок в архитектуру «Эльбрус» она может быть применена для построения мультиразрядного микропроцессора.

Литература

1. Приходько Д.И., Мокряков А.В., Горшков В.В. Модель мультиразрядной компьютерной архитектуры, предназначенной для космических условий и ее ключевые особенности // *Авиакосмическое приборостроение*. 2022. № 11. С. 39–48. EDN LKQGDT. DOI: 10.25791/aviakosmos.11.2022.1308
2. Приходько Д.И. Разработка и оптимизация методов эксплуатации информационных систем как этапа их жизненного цикла с учетом воздействия агрессивной внешней среды: магистерская дис.: 01.04.02. РГУ им. А.Н. Косыгина. М., 202. 204 с.
3. Приходько Д.И. Краткий анализ архитектуры Эльбрус для задач ГО // *Гражданская оборона на страже мира и безопасности : Материалы III Международной научно-практической конференции, посвященной Всемирному дню гражданской обороны*. В 3 ч. Москва, 01 марта 2019 г. Ч. 1. М. : Академия ГПС МЧС России, 2019. С. 191–194. EDN TGLRVF.
4. Горшков, В.В., Приходько Д.И., Мокряков А.В. Устройство для управления конфигурацией вычислительной системы. (2021). Патент на полезную модель 207176 U1, 15.10.2021. Заявка № 2021118609 от 25.06.2021.
5. Горшков, В.В., Приходько Д.И., Мокряков А.В. Устройство для управления разрядностью вычислений. (2022). Патент на полезную модель 209758 U1, 22.03.2022. Заявка № 2021118607 от 25.06.2021.
6. Карцан И.Н., Ефремова С.В. Мультиверсионная модель программного обеспечения систем управления космическим аппаратом с ранжированием принятия решения // *Сибирский аэрокосмический журнал*. 2021. Т. 22, № 1. С. 32–46. DOI: 10.31772/2712-8970-2021-22-1-32-46
7. Поздняков Д.А. Компонентная программная архитектура мультиверсионных систем обработки информации и управления // *Современные наукоемкие технологии*. 2006. № 4. С. 62–64.

EDN JSADTP. URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=22646> (дата обращения: 16.10.2022).

8. Приходько Д.И., Мокряков А.В., Горшков В.В. Обзор базовых механизмов мультиразрядных операционных систем, предназначенных для эксплуатации в космических условиях // Авиакосмическое приборостроение. 2022. № 12. С. 39–48. EDN EQBRRZ. DOI 10.25791/aviakosmos.12.2022.1314

References

1. Prikhodko D.I., Mokryakov A.V., Gorshkov V.V. (2022) Model of a multi-bit computer architecture designed for space conditions and its key features. *Aerospace Instrument-Making Journal*. No. 11. Pp. 39–48. DOI: 10.25791/aviakosmos.11.2022.1308 (In Russian).
2. Prikhodko D.I. (2021) *Razrabotka i optimizatsiya metodov ekspluatatsii informatsionnykh sistem kak etapa ikh zhiznennogo tsikla s uchetom vozdeistviya agressivnoi vneshnei sredy* [Development and optimization of methods for operation of information systems as a stage of their life cycle, taking into account the impact of aggressive environment: Master's Degree Diss.: 01.04.02]. A.N. Kosygin RSU. Moscow, 204 p. (In Russian).
3. Prikhodko D.I. (2019) Brief analysis of Elbrus architecture for tasks of civil defense. In: *Grazhdanskaya oborona na strazhe mira i bezopasnosti* [Civil Defense on Guard of Peace and Security: Proc. III Int. Sci. and Pract. Conf. dedicated to World Civil Defense Day. In 3 parts. Part 1. Moscow : Civil Defense Academy of EMERCOM of Russia. Pp. 191–194. (In Russian).
4. Gorshkov, V.V., Prikhodko D.I., Mokryakov A.V. (2021) *Ustroistvo dlya upravleniya konfiguratsiei vychislitel'noi sistemy* [Device for computer system configuration management]. A patent for utility model 207176 U1, 15.10.2021. Application No. 2021118609 dated 25.06.2021. (In Russian).
5. Gorshkov, V.V., Prikhodko D.I., Mokryakov A.V. (2022) *Ustroistvo dlya upravleniya razryadnost'yu vychislenii* [Device for managing the bit ratio of calculations]. A patent for utility model 209758 U1, 22.03.2022. Application No. 2021118607 dated 25.06.2021. (In Russian).
6. Kartsan I.N., Efremova S.V. (2021) Multiversion model of software for spacecraft control systems with decision ranking. *Siberian Aerospace Journal*. Vol. 22. No. 1. Pp. 32–46. DOI: 10.31772/2712-8970-2021-22-1-32-46 (In Russian).
7. Pozdnyakov D.A. (2006) Component Software Architecture of Multiversion Information Processing and Management Systems. *Modern High Technologies*. No. 4. Pp. 62–64. URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=22646> (accessed 16.10.2022). (In Russian).
8. Prikhodko D.I., Mokryakov A.V., Gorshkov V.V. (2022) Overview of the basic mechanisms of multi-discharge operating systems designed for operation in space. *Aerospace Instrument-Making Journal*. No. 12. Pp. 39–48. DOI: 10.25791/aviakosmos.12.2022.1314 (In Russian).