

**Артемов Игорь Владимирович**

Магистрант НАЧОУ ВПО СГА

**Направление:** Информатика и вычислительная техника

**Магистерская программа:** Распределенные автоматизированные системы

### **Организация и функционирование кэш-памяти в ЭВМ**

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются особенности организации и функционирования кэш-памяти.

**Ключевые слова:** кэш-память, L1-кэш, L2-кэш, регистры, алгоритмы кэширования.

**L1-кэш** – расположен на одном с ним кристалле и входит в состав функциональных блоков. В современных процессорах обычно кэш L1 разделен на два кэша, кэш команд (инструкций) и кэш данных (Гарвардская архитектура).

**L2-кэш** – кэш второго уровня, обычно он расположен на кристалле, как и L1. В старых процессорах — набор микросхем на системной плате. Объём L2 кэша от 128 Кбайт до 1–12 Мбайт. В современных многоядерных процессорах кэш второго уровня, находясь на том же кристалле, является памятью раздельного пользования.

**Регистры** – ячейки памяти, которые служат для кратковременного хранения и преобразования данных и команд. На физическом уровне регистр – совокупность триггеров, способных хранить один двоичный разряд и связанных между собой общей системой управления.

**Алгоритмы кэширования** – особая компьютерная программа или аппаратно поддерживаемая структура, способная управлять кэшем информации, хранимой в компьютере.

Кэш (Cache) – специальный вид памяти или часть ОЗУ, где хранятся копии часто используемых данных. Обеспечивает к ним быстрый доступ. Кэш памяти сохраняет содержимое и адрес участка ОЗУ, к которой часто обращается процессор. При обращении процессора к адресу памяти, кэш проверяет наличие у себя этого адреса. Если он ее находит, обмен данными выполняется между процессором и кэшем, в противном случае – между процессором и ОЗУ. Кэш эффективен, когда скорость работы памяти меньше скорости работы процессора.

Первичная причина увеличения объема встроенного кэша может заключаться в том, что кэш-память в современных процессорах работает на той же скорости, что и сам процессор. Частота процессора в этом случае никак не меньше 3200 МГц. Большой объем кэша позволяет процессору держать большие части кода готовыми к выполнению. Такая архитектура процессоров сфокусирована на уменьшении задержек, связанных с простоем процессора в ожидании данных. Современные программы, в том числе игровые, используют большие части кода, который необходимо извлекать из системной памяти по первому требованию процессора. Уменьшение промежутков времени, уходящих на передачу данных от памяти к процессору, – это надежный метод увеличения производительности приложений, требующих интенсивного взаимодействия с памятью. Кэш L3 имеет немного более высокое время ожидания, чем L1 и 2, это вполне естественно. Хотя он и медленнее, но все-таки он значительно более быстрый, чем обычная память. Не все приложения выигрывают от увеличения объема или скорости кэш-памяти. Это сильно зависит от природы приложения.

Если большой объем встроенного кэша – это хорошо, тогда что же удерживало Intel и AMD от этой стратегии ранее? Простым ответом является высокая себестоимость такого решения. Резервирование пространства для кэша очень дорого. Стандартный 3.2GHz Northwood содержит 55 миллионов транзисторов. Добавляя 2048 КБ кэша L3, Intel идет на увеличение количества

транзисторов до 167 миллионов. Простой математический расчет покажет нам, что EE – один из самых дорогих процессоров.

Частота промахов при обращении к кэш-памяти может быть значительно снижена за счет увеличения емкости кэша. Но большая кэш-память требует больше энергии, генерирует больше тепла и увеличивает число бракованных микросхем при производстве.

Один из способов обойти эти трудности — передача логики управления кэш-памятью от аппаратного обеспечения к программному.

Содержимое кэша всегда должно соответствовать содержимому основной памяти, чтобы процессор работал с самыми свежими данными. Поэтому в семействе процессоров 486 используется кэш со сквозной записью (write-through), при которой данные, записанные в кэш, автоматически записываются и в основную память.

В процессорах Pentium используется двунаправленный кэш (write-back), который работает при выполнении, как операций считывания, так и операций записи. Это позволяет еще больше повысить производительность процессора. Хотя встроенный кэш в процессоре 486 используется только при чтении, внешний кэш в системе может быть двунаправленным. Кроме того, в процессорах 486 предусмотрен дополнительный 4-байтовый буфер, в котором можно хранить данные вплоть до передачи в память. Это необходимо в том случае, если шина памяти занята.

Еще одна особенность улучшенной архитектуры кэша состоит в том, что кэш-память является неблокируемой. Это свойство позволяет уменьшать или скрывать задержки памяти, используя перекрытие операций процессора с выборкой данных. Неблокируемая кэш-память дает возможность продолжать выполнение программы одновременно с неудачными обращениями в кэш при наличии некоторых ограничений. Другими словами, кэш-память улучшает обработку промаха кэша и позволяет процессору продолжать выполнение операций, не связанных с отсутствующими данными.

Кэш-контроллер, встроенный в процессор, также используется для наблюдения за состоянием системной шины при передаче управления шиной альтернативным процессорам, которые называются хозяевами шины (bus masters). Процесс наблюдения, в свою очередь, называется отслеживанием шины (bus snooping). Если устройство, управляющее передачей данных по шине (т.е. хозяин шины), записывает какие-либо данные в область памяти, копия которой хранится в кэше процессора, то содержимое кэша перестает соответствовать содержимому основной памяти. В этом случае кэш-контроллер отмечает эти данные как ошибочные и при следующем обращении к памяти обновляет содержимое кэша, поддерживая тем самым целостность всей системы.

Все процессоры, поддерживающие использование кэш-памяти, включают в себя буфер быстрого преобразования (Translation Lookaside Buffer – TLB), необходимый для обработки неудачных попыток преобразования адресов кэш-памяти. Буфер представляет собой процессорную таблицу, в которой хранятся данные о местоположении недавно вызывавшихся адресов физической памяти. Он ускоряет преобразование виртуальных адресов в адреса физической памяти. Для дальнейшего повышения быстродействия в новых процессорах (например, Athlon с ядром Palomino) увеличено количество строк таблицы TLB. В процессорах Pentium 4 с технологией Hyper-Threading для каждого виртуального потока процессора выделена отдельная инструкция TLB (iTLB).

При увеличении тактовой частоты время цикла уменьшается. В новых системах не используется кэш на системной плате, поскольку быстрые модули DDR-SDRAM или RDRAM, применяемые в современных системах Pentium 4/Celeron или Athlon XP, могут работать на тактовой частоте системной платы. В современных процессорах кэш-память как первого, так и второго уровней встроена непосредственно в ядро, благодаря чему кэш-память второго уровня работает на полной частоте процессора. Быстродействие кэш-памяти – более важный параметр, чем ее объем. Правило гласит, что меньший, но более быстрый кэш всегда предпочтительнее медленного кэша большого объема.

1. Кэш-память второго уровня находится на системной плате, и ее объем зависит от выбранной платы и количества установленных модулей.

2. Процессор Pentium Pro выпускался также с кэш-памятью объемом 1024 и 512 Кбайт.

3. Двухканальная память использует два банка одновременно, что в два раза увеличивает пропускную способность.

Кэш-память двух уровней обеспечивает взаимодействие между быстрым центральным процессором и более медленной оперативной памятью, а также позволяет минимизировать периоды ожидания, возникающие при обработке данных. Решающую роль в этом играет кэш-память второго уровня, расположенная на кристалле процессора. Это позволяет процессору работать с тактовой частотой, наиболее близкой к его максимальной частоте.

В системах, оснащенных кэш-памятью, каждый запрос к оперативной памяти выполняется в соответствии со следующим алгоритмом:

Просматривается содержимое кэш-памяти с целью определения, не находятся ли нужные данные в кэш-памяти; кэш-память не является адресуемой, поэтому поиск нужных данных осуществляется по содержимому – значению поля «адрес в оперативной памяти», взятому из запроса.

Если данные обнаруживаются в кэш – памяти, то они считываются из нее, и результат передается в процессор. Если нужных данных нет, то они вместе со своим адресом копируются из оперативной памяти в кэш-память, и результат выполнения запроса передается в процессор. При копировании данных может оказаться, что в кэш-памяти нет свободного места, тогда выбираются данные, к которым в последний период было меньше всего обращений, для вытеснения из кэш-памяти. Если вытесняемые данные были модифицированы за время нахождения в кэш-памяти, то они переписываются в оперативную память. Если же эти данные не были модифицированы, то их место в кэш-памяти объявляется свободным.

На практике в кэш-память считывается не один элемент данных, к которому произошло обращение, а целый блок данных, это увеличивает

вероятность так называемого «попадания в кэш», то есть нахождения нужных данных в кэш-памяти.

Достоинства кэш-памяти:

- увеличение быстродействия;
- увеличивает производительность;
- большая скорость вычислений;
- равномерная загрузка процессора;
- быстрее загружаются приложения.

Недостатки:

- малый объём;
- высокая стоимость;
- задержки при поиске информации;
- сложность установки и настройки.

### **Литература**

1. Гуров В.В. Архитектура микропроцессоров: Учебное пособие. М.: Бинум, Лаборатория знаний, 2012.
2. Таненбаум Э. Архитектура компьютера. СПб.: Питер, 2012.
3. Гуров В., Чуканов В. Основы теории и организации ЭВМ. М.: Бинум, Лаборатория знаний, 2012.
4. Новиков Ю.В. Основы микропроцессорной техники. М.: Бинум Лаборатория знаний, 2014.
5. Калачев А.В. Многоядерные процессоры: Учебное пособие. М., 2012.