

УДК 004.22

Паязов М.М.

PhD,

доцент кафедры «Современные информационные технологии»

Узбекский государственный университет мировых языков

г. Ташкент

Ахраров Б.С.

PhD,

доцент кафедры «Современные информационные технологии»

Узбекский государственный университет мировых языков

г. Ташкент

Умарова Н.Р.

Старший преподаватель кафедры «Современные информационные технологии, Узбекский государственный университет мировых языков, г.

Ташкент

Сабиржанов Р.

Старший преподаватель кафедры «Современные информационные технологии, Узбекский государственный университет мировых языков,

г. Ташкент

Ахмедов А.М.

Студент 4-го курса Университета Синергия по направлению IT,

г. Москва

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОПЕРАТИВНОЙ ПАМЯТИ
КОМПЬЮТЕРА С ПОМОЩЬЮ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ
ОПТИМИЗАЦИИ**

Аннотация. Эффективность оперативной памяти (RAM) играет критическую роль в повышении производительности вычислительных систем.

В данной статье предлагается подход к оптимизации RAM на основе многопараметрической оптимизации с учетом ключевых факторов: частоты, таймингов, пропускной способности и энергопотребления. Разработана математическая модель оценки эффективности RAM и представлен алгоритм многопараметрической оптимизации.

Ключевые слова: оперативная память, эффективность RAM, алгоритмы оптимизации, кэширование данных, модели памяти, математическое подход.

Payazov M.M., PhD,

Associate Professor of the Department of Modern Information Technologies

Uzbek State University of World Languages, Tashkent

Akhrarov B.S., PhD,

Associate Professor of the Department of Modern Information Technologies

Uzbek State University of World Languages, Tashkent

Umarova N. R.

Senior lecturer of the Department of Modern Information Technologies

Uzbek State University of World Languages, Tashkent

Sabirdjanov R.

Senior lecturer of the Department of Modern Information Technologies

Uzbek State University of World Languages, Tashkent

Akhmedov A. M.

4th year student of the Synergy University at the IT department, Moscow

IMPROVING THE EFFICIENCY OF COMPUTER RAM MEMORY WITH MULTI-PARAMETRIC OPTIMIZATION

Abstract. The efficiency of Random Access Memory (RAM) plays a critical role in enhancing the performance of computing systems.

This paper proposes an approach to RAM optimization based on multiparametric optimization, taking into account key factors such as frequency, timing, bandwidth, and power consumption. A mathematical model for evaluating RAM efficiency has been developed, and an algorithm for multiparametric optimization is presented.

Keywords: RAM, RAM efficiency, optimization algorithms, data caching, model memory, mathematical approach.

Введение

Оперативная память (RAM, от англ. Random Access Memory) - это один из ключевых компонентов компьютера или любого цифрового устройства. Она временно хранит данные и инструкции, которые центральный процессор использует в данный момент времени [1].

RAM (Random Access Memory) — это энергозависимая память, которая предоставляет временный и быстрый доступ к данным, необходимым процессору для выполнения задач. В отличие от постоянной памяти (жёсткий диск, SSD), RAM работает только пока устройство включено [2].

Существуют ключевые параметры оперативной памяти, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1. Физические и технические характеристики оперативной памяти.

Характеристика	Описание
Объём	Влияет на количество обрабатываемых данных

Тип памяти	определяет поколение и скорость - DDR, DDR2, DDR3, DDR4, DDR5
Напряжение	Влияет на энергопотребление и теплоотдачу. DDR4 обычно работает при 1.2 В, DDR5 – при 1.1 В.
Стандартные форматы:	DIMM – для настольных ПК. SO-DIMM – для ноутбуков и компактных устройств.

RAM состоит из миллионов ячеек, каждая из которых хранит 1 бит данных - 0 или 1. Эти ячейки сгруппированы в строки и столбцы и доступны напрямую (random access) без необходимости последовательного прохода.[3]

Ячейка представляет собой конденсатор + транзистор (в случае DRAM).

Конденсатор хранит заряд (1 — если заряжен, 0 — если разряжен).

Производительность RAM зависит от параметров тактовой частоты, пропускной способности, тайминга и канальности (таблица 2).

Таблица 2. Параметры производительности RAM.

Характеристика	Описание
Тактовая частота	Измеряется в MHz (например: 2400, 3200, 4800 MHz)
Пропускная способность	Кол-во данных в секунду (например, PC4-25600 = 25,600 MB/s)
Тайминг	Время задержки между подачей команды и началом её выполнения.
Канальность	Single, Dual, Quad Channel — влияет на ширину канала передачи данных

Таблица 3. Сравнение типов DDR.

Тип DDR	Частота (MHz)	Напряжение	Пропускная способность	Примечание
DDR3	1066-2133	1.5 В	До 17 ГБ/с	Устаревший стандарт
DDR4	2133-3200+	1.2 В	До 25,6 ГБ/с	Наиболее

DDR5	4800-8400+	1.1 В	и выше До 51,2 ГБ/с и выше	распространенный Современный высокая скорость
------	------------	-------	----------------------------------	---

Транзистор управляет доступом к конденсатору [4].

Когда процессору нужно прочитать данные, Контроллер памяти активирует нужную строку и столбец. Транзистор открывается, позволяя контроллеру прочитать заряд с конденсатора. Если заряд есть — это «1», если нет — «0». Результат передаётся в регистры процессора для дальнейшей обработки [4].

Повышение эффективности оперативной памяти

Современные вычислительные задачи требуют высокой производительности оперативной памяти. Эффективность оперативной памяти определяется её объемом и такими параметрами, как тактовая частота f , энергопотребление P , пропускная способность B , плотность ошибок (*ЕСС эффективность*), тайминги $t_{CL}, t_{RCD}, t_{RP}, t_{RAS}$.

Нами была разработана модель, позволяющая оптимизировать эффективность оперативной памяти с учетом нескольких взаимосвязанных параметров.

Математическая модель эффективности оперативной памяти:

Чтобы найти эффективности путем математических расчётов в начале необходимо определить следующие параметры оптимизации:

f – частота в МГц;

$T = [t_{CL}, t_{RCD}, t_{RP}, t_{RAS}]$ - вектор таймингов в наносекундах;

P – энергопотребление в Вт;

$B = f \cdot W \cdot 2$ – пропускная способность в Мб/с (где W – ширина шины, обычно 64 бита).

Далее найдём функции эффективности:

Предположим, что общая эффективность оперативной памяти = E_{RAM} .

Напишем формулу для эффективности:

$$E_{RAM} = \frac{B}{\alpha \cdot \sum T + \beta \cdot P} \quad (1)$$

далее,
$$\sum T = t_{CL} + t_{RCD} + t_{RP} + t_{RAS} \quad (2)$$

где α, β – весовые коэффициенты, определяющие важность латентности и энергопотребления. Интерпретация: чем выше пропускная способность при меньших задержках и энергопотреблении, тем выше получится эффективность.

Приступаем к оптимизации оперативной памяти. Сначала надо максимизировать эффективность оперативной памяти - E_{RAM} , подбирая оптимальные значения параметров f, T, P при ограничениях ниже формулы:

$$\left(\begin{array}{l} f_{\min} \leq f \leq f_{\max} \\ t_i^{\min} \leq t_i \leq t_i^{\max}, i \in \{CL, RCD, RP, RAS\} \end{array} \right) \quad (3)$$

здесь задача решается на основе ниже показанной формулы:

$$\max_{f, T, P} \frac{f \cdot W \cdot 2}{\alpha \cdot \sum T + \beta \cdot P} \quad (4)$$

Блок-схема процесса оптимизации представлена на рис.1.

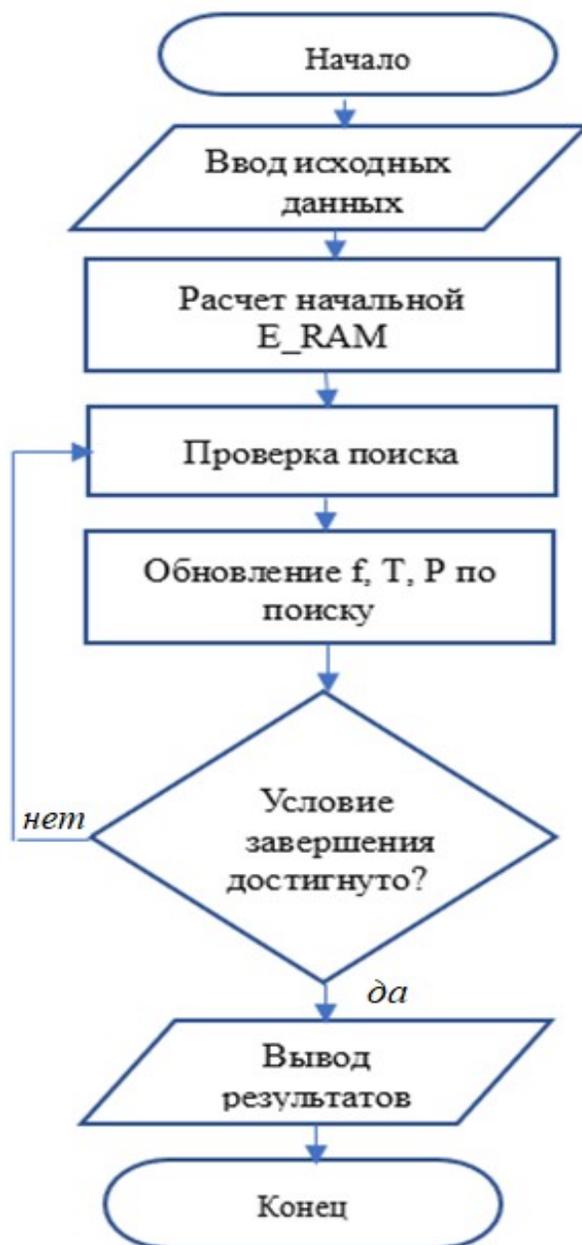


Рис.1. Блок-схема процесса оптимизации.

На основе симуляции с начальными исходными параметрами:

$f = 2400$ МГц;

$T = [15,15,15,35]$;

$P = 4.5$ Вт;

$$W = 64;$$

получены следующие значения параметров оптимизации:

$$f = 2666 \text{ МГц};$$

$$T = [14,14,14,32];$$

$$P = 4.2 \text{ Вт}.$$

Результат: эффективности оперативной памяти E_{RAM} улучшилось на **12.3%** по сравнению с начальным состоянием.

Выводы

Многопараметрическая оптимизация позволяет находить сбалансированные решения между пропускной способностью, латентностью и энергопотреблением RAM. Представленная математическая модель и алгоритм оптимизации применимы в задачах компоновки систем, BIOS-тюнинга и автоматического подбора профилей RAM.

Использованные источники:

1. Hennessy, J., Patterson, D. *Computer Architecture: A Quantitative Approach*, Morgan Kaufmann, 2020.
2. Kang, S., Leblebici, Y. *CMOS Digital Integrated Circuits*, McGraw-Hill, 2003.
3. Intel. *DDR4 SDRAM Specifications*, [Datasheet]. URL: <https://www.intel.com/content/www/us/en/docs/programmable/683568/current/ddr4-sdram.html>
4. IEEE Transactions on Computers (Volume: 73, Issue: 2, February 2024). URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10330894>