

# Оптимизация программ

## Введение в оптимизацию программ

Мееров И.Б.

к.т.н., доц., зам. зав. каф. МОСТ,  
институт ИТММ

# Содержание

- Что такое оптимизация?
- Критерии оптимизации
- Требования к оптимизации
- Правила оптимизации
- Жизненный цикл оптимизации
- Бенчмарк
- Инфраструктура
- Оптимизация и параллельность
- Примеры
- Литература

# Оптимизация в математике и оптимизация программ

- **Оптимизация в математике  $\neq$  оптимизация программ**
- **Оптимизация в математике:** ищем глобальный или локальный минимум.
- **Оптимизация программ** не стремится к поиску оптимального варианта, т.е. варианта, который нельзя улучшить (за исключением маркетинговых соображений).
- **Цель** — поиск **приемлемого** варианта в смысле некоторых критериев.
- Оптимизация программ — *процесс улучшения программы в смысле некоторых критериев.*

# Цель оптимизации программ

Цель оптимизации программ:

получение из **работающего\*** варианта программы другого **работающего\*** варианта, удовлетворяющего некоторым критериям.

\* Принципиальный момент.

**Вопрос:** как организовать **инфраструктуру**?

**Ответ:** нужна постоянная проверка **работоспособности**.

// Примеры из практики

# Рассматриваемые критерии

Основными **критериями** при оптимизации программ являются:

- **Скорость работы**

**Миф:** компьютеры работают все быстрее и быстрее. Ничего делать не нужно 😊

// Большие задачи; Real-time; Финансы и др. области

- **Объем используемой памяти**

**Миф:** много дешевой памяти и будет еще больше. Ничего делать не нужно 😊

// Большие задачи; ограничения на ускорителях

- **Объем места, занимаемого на диске**

Выглядит сомнительным, но вспоминаем про инженерные расчеты и ограничения на кластерах

### 3. Рассматриваемые критерии.

## Скорость работы

Если программа работает медленно:

- **ее не удастся применить на практике**

пример: *Прогноз погоды* на завтра нужен сегодня, а не через неделю

пример: Система технического мониторинга не успеет подать сигнал об опасности

- **с ней откажутся работать потенциальные пользователи**

пример: *Обработка фотографий* – слишком большое время ожидания, и у нас не купят наш графический редактор

- **пользователи потеряют прибыль**

пример: финансовые расчеты, торговые роботы

### 3. Рассматриваемые критерии.

#### Объем используемой памяти

Если программа требует слишком много памяти (ОЗУ):

- **с ней откажутся работать потенциальные пользователи**  
пример: офисные приложения
- **программа будет работать за неудовлетворительное время**  
пример: работа на ускорителях (объем памяти)
- **данные не поместятся в память**  
пример: большие задачи (линейная алгебра и др. области)

### 3. Рассматриваемые критерии.

#### Объем места, занимаемого на диске

Если программа требует много места на жестком диске:

- **ее могут отказаться приобретать потенциальные пользователи**

пример: пользователей не обрадует, что следующая версия продукта «весит» втрое больше, чем текущая

- **может не хватить отведенного дискового пространства на кластере**

пример: научные и инженерные расчеты, научная визуализация



# Рассматриваемые критерии. Взаимодействие

- Скорость (performance)
- Память
- Место на диске

Часто критерии противоречивы:

- Используем дополнительную память – ускоряем работу
- Используем место на диске для однократного расчета и последующего хранения и использования – ускоряем работу (**пример**: кратчайшие пути, см. [Renato Werneck](#), 2010)

Обычно один из критериев является *основным*.

В современных условиях это чаще **скорость работы**, но есть и другие случаи.

**Н.В.** Важный момент: эффективность масштабируемости (за рамками лекции)

# Цели и задачи оптимизации

- Необходимость оптимизации должна быть обоснована
- Существует немало задач, в которых оптимизация не нужна, а иногда и вредна
- Чаще всего, оптимизация затрагивает лишь фрагмент приложения, незначительный в процентном отношении по объему кода
- Не нужно оптимизировать все подряд из любви к искусству!
- Не нужно писать «хакерский код», в котором никто не сможет разобраться (в т.ч. автор через месяц)!

# Требования к оптимизации \*

- Оптимизация ради оптимизации не только бесполезна, но и вредна.
- **Требования:**
  - Переносимость
  - Небольшая трудоемкость
  - Значимый выигрыш
  - Понятность программы
  - Возможность развития

\* По материалам К. Касперски. *Техника оптимизации программ. Эффективное использование памяти.* БХВ-Петербург, 2003.

# Требования к оптимизации. Переносимость

- Избегаем ассемблерных вставок.
- Избегаем недокументированных возможностей аппаратуры и средств разработки.

## Основная причина:

средства разработки и аппаратура тоже развиваются.

**Совместимость.**

# Требования к оптимизации.

## Небольшая трудоемкость

- Оптимизация не должна существенно увеличивать трудоемкость разработки и тестирования!

### Основная причина:

Необходимо уложиться в сроки и бюджет и выпустить продукт. **Рамки проекта.**

# Требования к оптимизации.

## Значимый выигрыш

- Оптимизация должна приносить значимый выигрыш.

### Основная причина:

Избегаем **Оптимизации ради оптимизации**. Соразмерность затрат и результата.

- \* Есть области, в которых 2% это значимый выигрыш:

**Пример:** моделирование финансовых рынков.

# Требования к оптимизации.

## Понятность программы

- Текст программы должен остаться понятным “нормальному” программисту.

Основная причина:  
Сопровождение

# Требования к оптимизации. Возможность развития

- Необходимо соблюдать в целом проектные решения.

## Основная причина:

**Модификации** неизбежны



# Правила оптимизации (1-3)\*

- Прежде чем оптимизировать программу, *убеждаемся в ее работоспособности.*
- Основной прирост производительности приходит от алгоритмической оптимизации и выбора структур данных, а не от «трюков» (*ищем эффективные алгоритмы и подходящие СД*).
- Оптимизация кода  $\neq$  Ассемблерная реализация (*улучшаем код для увеличения быстродействия в рамках ЯПВУ*).  
Используем возможности компилятора.
- Используем оптимизированные библиотеки.

\* По материалам К. Касперски. *Техника оптимизации программ. Эффективное использование памяти.* БХВ-Петербург, 2003.

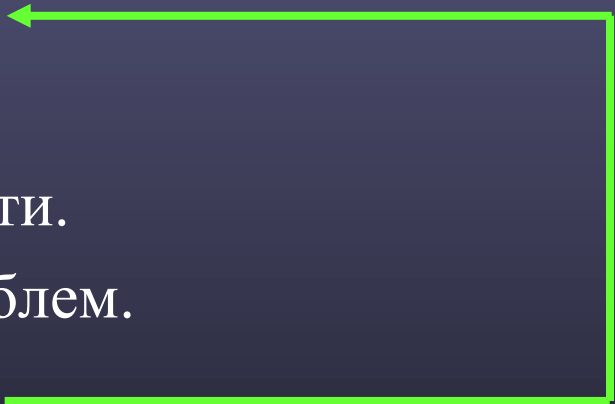
# Правила оптимизации (4-5)\*

- Перед переписыванием на Ассемблер изучаем ассемблерный листинг после работы компилятора (*можем ли сделать лучше?*).
- Если ничего не помогло, но мы знаем, как правильно реализовать алгоритм при помощи системы команд CPU, *только тогда переходим на Ассемблер.*

\* По материалам К. Касперски. *Техника оптимизации программ. Эффективное использование памяти.* БХВ-Петербург, 2003.

# Жизненный цикл оптимизации

Предполагаем, что программа написана и работает, но работает недостаточно быстро.

- Подготовить подходящий бенчмарк.
  - Провести тесты.
  - Провести анализ производительности.
  - Выявить проблемы производительности.
  - Выбрать метод решения одной из проблем.
  - Модифицировать код.
- 

*Много тонкостей. Далее будут примеры типичных ошибок на каждом этапе схемы.*

# Бенчмарк\*

- **Бенчмарк** — наборы тестовых данных, предназначенные для решения следующих задач:
  - **объективная** оценка производительности приложения;
  - создание полигона для дальнейшей оптимизации.

Бенчмарк должен быть *репрезентативен (!!!), прост в использовании, работать разумное время* (не слишком медленно, но и не слишком быстро), обеспечивать *воспроизводимость результатов*.

\* По материалам К. Касперски. *Техника оптимизации программ. Эффективное использование памяти. БХВ-Петербург, 2003.*

# Бенчмарк (примеры, проблемы)

- Примеры:
  - Сортировки
  - Архиваторы
  - Линейная алгебра (плотная, разреженная)
- **Примеры проблем:**
  - Неудачно подобранные данные
  - Чтение данных >90% времени

Не совсем про бенчмарк, но тоже важно:

- *Неправильная постановка эксперимента:*  
все запуски в одном процессе – некорректные результаты

# Средства оптимизации

- Оптимизирующий компилятор.
- Средства профилировки.
- Оптимизирующие библиотеки.
- *Главное средство*: голова программиста, снабженная знаниями основ программирования, теории сложности, алгоритмов и структур данных, архитектуры ВС и др.

// Будет отдельная лекция

# Виды оптимизации

- Алгоритмическая оптимизация
- Оптимизация структур данных
- Компиляторная оптимизация
- Использование оптимизированных библиотек
- Программная оптимизация

// Обсуждение с аудиторией

# И вновь «виды оптимизации»

- Алгоритмы и структуры данных — тема отдельного курса (все знакомы).
- Основной ресурс — выбор лучшего алгоритма и подходящих структур данных
- Теорию нужно применять грамотно (к вопросу о теоретической оценке констант в сложностных формулах).
  - Пример: Линейный поиск в массиве.



# Линейный поиск - 1

```
int Search(int key) {  
    int Index = -1;  
    for (i = 0; i < N; i++)  
        if (A[i] == key) Index = i;  
  
    return Index;  
}
```

# Линейный поиск – 2.

## Как уменьшить число проверок?

```
int Search(int key) {  
    int Index = -1;  
    for (i = 0; i < N; i++)  
        if (A[i] == key) {  
            Index = i;  
            break;  
        }  
    return Index;  
}
```

## Линейный поиск – 3.

Всегда ли это будет эффективно работать?

```
int Search(int key) {  
    int Index, i = 0;  
    A[N] = key;  
    while (A[i] != key) i++;  
    if (i == N) Index = -1; else Index = i;  
    return Index;  
}
```

**НЕТ!**

*Обсуждение примера и того, что с ним сделал компилятор ☺*

# И вновь «виды оптимизации» (анонс будущих лекций)

## ■ Компиляторная оптимизация:

- Используем C/C++ и Fortran, оптимизирующие компиляторы
- C лучше, чем C++. Поменьше ООП, STL и т.д. ☺

Компилятор предпочитает C и Fortran.

Если очень нужно, можно сделать умелый гибрид C++ на верхнем уровне и C на нижнем уровне (**примеры**).

- Что нам дает компилятор?
  - Множественные оптимизации: размещение данных, оптимизация циклов, векторизация (SIMD), предвыборка, встраивание функций, настройка точности... **Нужно смотреть отчеты (Qvec-report).**
  - LibM – библиотека математических функций

# И вновь «виды оптимизации» (анонс будущих лекций)

## ■ Использование оптимизированных библиотек:

- Intel Math Kernel Library (есть и другие: Boost, NAG, ACML, GSL, PETSc, SLEPc, солверы и многие другие)
- Проблемно-ориентированные библиотеки (OpenCV...)
- Библиотеки поддержки параллельных вычислений (TBV...)

# И вновь «виды оптимизации» (анонс будущих лекций)

## ■ Программная оптимизация, математика + базовые вещи:

- Векторизация циклов (долой зависимости, поможем компилятору, упростим циклы...)
- Вычисление мат. функций (Обсудим: **LibM**, **SVML**, **VML**)
- Замена делений там, где можно.

**Пример**:  $1 / \text{sqrt}(x) = \text{invsqrt}(x)$ ;

- Эквивалентные преобразования, **пример**: `cndf()` vs. `erf()`
- `float` vs. `double` (обсудим: `x87`, `scalar SSE`, `vector SSE`; не смешивать типы данных!)
- Помним про прогноз ветвлений (где можно, лучше обойтись без них – `lookup table` и др.)
- Убираем рекурсию

# И вновь «виды оптимизации» (анонс будущих лекций)

- Программная оптимизация, размещение данных в ОЗУ:
  - Многоуровневая иерархия памяти
  - Локальность (массив лучше, чем список; список – можно обдумать вариант с хранением в непрерывном участке памяти)
  - Пишем циклы в правильном порядке (**пример**: dgemm)
  - Поможем компилятору (одномерные массивы это хорошо)
  - SOA vs. AOS – что лучше?
  - Выравнивание массивов (для векторизации)
  - Выравнивание в структурах

# Оптимизация и параллелизм

- Выбор алгоритма
  - Разработка
  - Отладка и тестирование
- 

## ■ Оптимизация, распараллеливание?

**Вопрос**: в каком порядке? Универсального ответа нет.

**Пример**: сортировки (MSD, LSD, ...).

В ряде случаев необходимо ставить вопрос о разработке принципиально другого (параллельного) алгоритма.

## ■ Оптимизация и масштабируемость



# Использованные источники

При создании презентации активно использовались материалы книг:

**Крис Касперски.** *Техника оптимизации программ. Эффективное использование памяти.* – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2003.

**R. Gerber, A. Bik, K. Smith, X. Tian.** The Software Optimization Cookbook.

# Литература

- Что читать (области)?
  - Архитектура ЭВМ
  - Теория сложности
  - Алгоритмы и структуры данных
  - Параллельное программирование
  - Оптимизация программ

Какие книги и курсы лекций Вы знаете?

// Обсуждение

# Вопросы

- ???