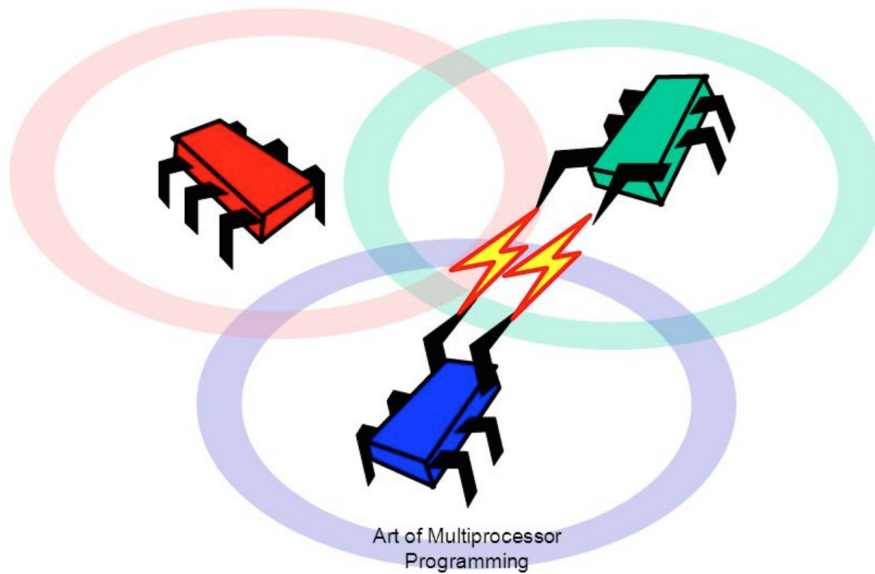


Concurrent Computing: теория и практика



Страница для студентов

Тема курса в одном предложении: теория и практика **конкурентных (concurrent) вычислений в разделяемой памяти.**

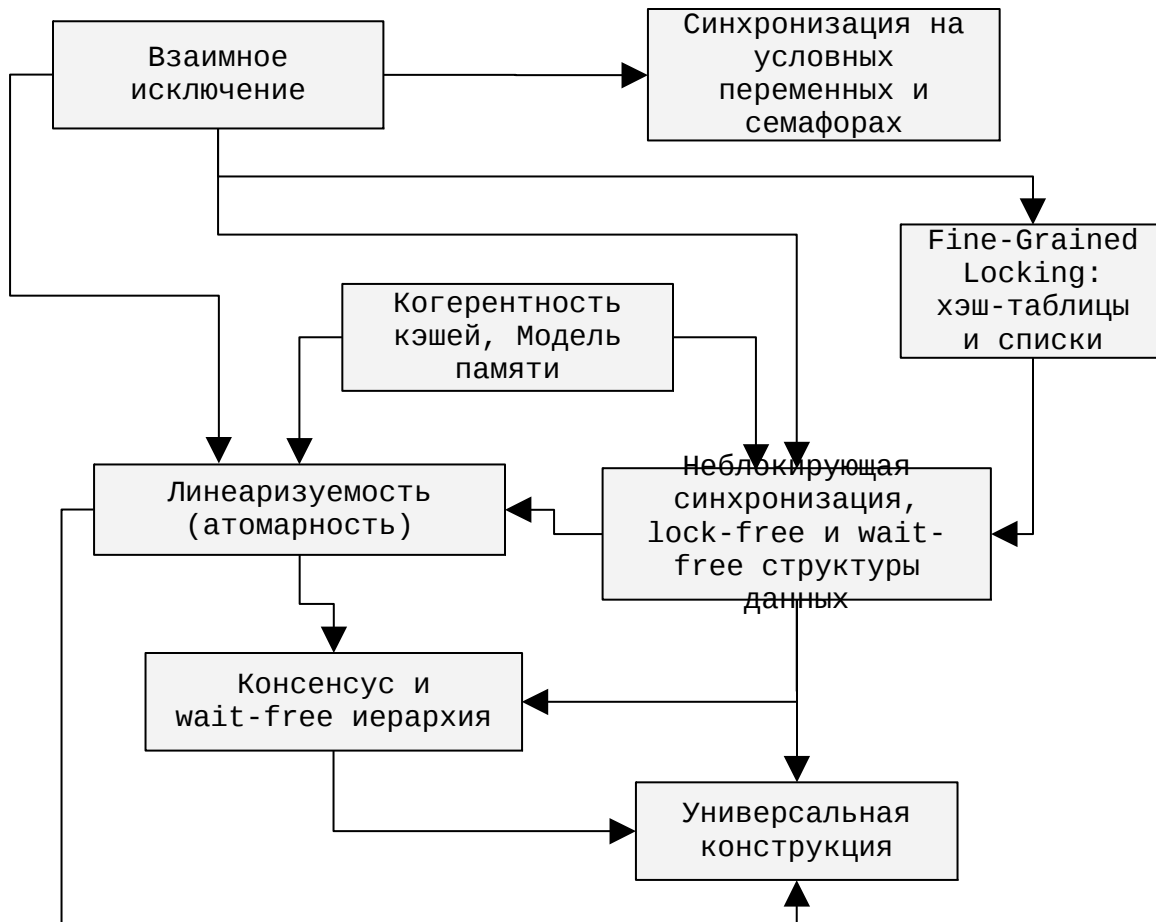
[ChangeLog с предыдущей итерацией](#)

План курса:

- Введение, потоки и операционная система
- Взаимное исключение: протоколы и свойства

- Синхронизация с помощью условных переменных и семафоров
- Мелкогранулярные блокировки, хэш-таблицы, списки и ский-списки
- Когерентность кэшей и спинлоки
- Модель памяти sequential consistency для data race free программ (SC-DRF)
- Неблокирующая синхронизация (гарантии прогресса lock-freedom и wait-freedom), lock-free структуры данных (стек, очередь, список, хэш-таблица), механизмы управления памятью (сборки мусора)
- Линеаризуемость и другие модели согласованности для высокоуровневых объектов
- Сила атомарных операций: консенсус и wait-free иерархия
- Универсальная lock-free и wait-free конструкция
- Дополнительные темы: concurrent GC, изоляция транзакций и транзакционная память, применение идей консенсуса и универсальной конструкции в распределенных системах (State Machine Replication, Paxos).

Диаграмма зависимостей тем



Домашние задания

Разминочные задачи: <https://deadlockempire.github.io>

Тестовый контекст:

<https://contest.yandex.ru/contest/3954/problems/>

1. [Взаимное исключение](#)

Дедлайн: 6 марта, 6:00

<https://contest.yandex.ru/contest/4067/problems/>

2. [Механизмы синхронизации](#)

Дедлайн: 20 марта, 6:00

<https://contest.yandex.ru/contest/4118/problems/>

3. [Блокирующая очередь и пул потоков](#)

Дедлайн: 27 марта, 6:00

<https://contest.yandex.ru/contest/4115/problems/>

4. [Хэш-таблицы и списки](#) - 15 баллов

Дедлайн: хэш-таблица - 6 апреля, 6:00, список - 12 апреля, 06:00

<https://contest.yandex.ru/contest/4278/problems/>

[Вопросы и задачи по мелкогранулярным блокировкам](#)

5. [Когерентность кэшей](#) - 5 баллов

Дедлайн: 18 апреля, 6:00

<https://contest.yandex.ru/contest/4366/problems>

В помощь: [Заметки про когерентность кэшей и спинлоки](#)

6. [Модель памяти](#) - 10 баллов

Дедлайн: 25 апреля

7. Lock-Free структуры данных - 25 баллов

<https://contest.yandex.ru/contest/4489/problems>

Дедлайн: стек - 9 мая, очередь - 15 мая, остальные задачи - 21 мая

Баллы: стек - 5 баллов, очередь - 5 баллов, список - 7 баллов, список + хэш-таблица - 15 баллов, стек с версионированными указателями - 7 баллов.

В помощь: [Заметки про реализацию lock-free списка](#)

[Вопросы и упражнения по lock-free структурам данных и управлению памятью](#)

8. [Линеаризуемость](#) - 10 баллов

Дедлайн: 9 мая

9. [Консенсус](#) - 10 баллов

Дедлайн: 15 мая

[Репозиторий с исходным кодом для задач](#)

[Регламент сдачи домашних заданий](#)

Зачет по теории:

[Билеты по теоретической части курса](#)

[Вопросы на понимание теории](#)

Материалы по темам:

[Статьи по темам лекций](#)

[Слайды лекций](#)

Про lock-free:

[Data Structures in the Multicore Age](#) - обязательная к прочтению обзорная статья про дизайн лок-фри структур данных

[Simple, Fast, and Practical Non-Blocking and Blocking Concurrent Queue Algorithms](#) - классическая лок-фри очередь Майкла-Скотта

[Split-Ordered Lists - Lock-free Resizable Hash Tables](#) - расширяемая лок-фри хэш-таблица на основе сортированного списка

Больше статей - [здесь](#)

Про модель памяти:

Про порядок событий в модели обмена сообщениями и про логические часы: [Capturing Causality in Distributed Systems](#)

Отличная вводная статья про модели памяти: [Memory Models: A Case for Rethinking Parallel Languages and Hardware](#)

Дизайн модели памяти для языка C++: [Foundations of C++ Memory Model](#)

Строгое формальное изложение модели памяти Java: [The Java Memory Model: A Formal Explanation](#)

Про когерентность кэшей:

[Memory Barriers: Hardware View for Software Hackers](#)

[Симулятор протоколов когерентности](#)

[Modern Microprocessors: A 90-Minute Guide!](#)

Про мелкогранулярные блокировки:

Список на оптимистичных блокировках:

[A Lazy Concurrent List-Based Set Algorithm](#)

Скип-лист на оптимистичных блокировках:

[A Simple Optimistic Skip-List Algorithm](#)

[Реализация скип-листа на оптимистичных списках от Facebook](#)

Практические оптимизации при реализации скип-листов:

[Skip Lists: Done Right](#)

Про применение скип-листов в движках баз данных:

<http://blog.memsql.com/the-story-behind-memsqls-skiplist-indexes/>

Про семафоры:

Книга Little Book of Semaphores:

<http://greenteapress.com/wp/semaphores/>

Статья про применения семафоров:

<http://preshing.com/20150316/semaphores-are-surprisingly-versatile/>

Про фьютексы:

Статья [Futexes Are Tricky](#)

Про реализацию условных переменных и мьютексов с помощью фьютексов:

https://locklessinc.com/articles/mutex_cv_futex/

Про локи на фьютексах:

<https://bartoszmilewski.com/2008/09/01/thin-lock-vs-futex/>

Про операционные системы:

<http://duartes.org/gustavo/blog/post/anatomy-of-a-program-in-memory/>

<http://duartes.org/gustavo/blog/post/when-does-your-os-run/>

<http://duartes.org/gustavo/blog/post/system-calls/>

<http://duartes.org/gustavo/blog/post/what-does-an-idle-cpu-do/>

Style Guide

Google C++ Style Guide:

<https://google.github.io/styleguide/cppguide.html>

Изучаем стайл гайд на примере кода с подробными комментариями:

<https://bitbucket.org/snippets/rlipovsky/qAR9M>

Компилятор

Рекомендуемый компилятор - clang.

Он поддерживает набор санитайзеров, которые умеют обнаруживать UB, утечки и проезды по памяти, многопоточные гонки.

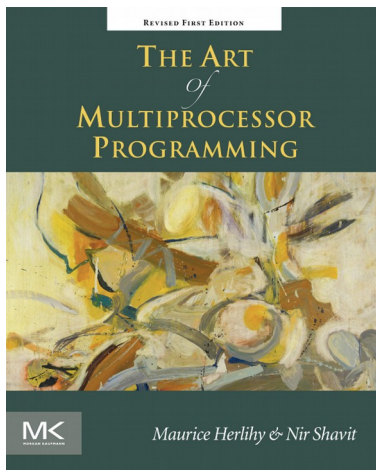
Документация по санитайзерам:

<http://clang.llvm.org/docs/UndefinedBehaviorSanitizer.html>
<http://clang.llvm.org/docs/AddressSanitizer.html>
<http://clang.llvm.org/docs/ThreadSanitizer.html>

Учебники

Все [книги](#) доступны в электронном виде.

Главный учебник: The Art of Multiprocessor Programming / Maurice Herlihy, Nir Shavit [AMP]



Если вы можете прочитать только одну книгу про многопоточное программирование, то этой книгой должна быть AMP.

Теория:

Notes on Theory of Distributed Systems / James Aspens [NTDS]

Глава II: Shared Memory

Concurrent Programming: Algorithms, Principles, and Foundations / Michel Raynal [CP-APF]

Практика:

Is Parallel Programming Hard, And, If So, What Can You Do About It? / Paul E. McKenney [IPPH]

Книга многопоточность от разработчика ядра Linux

Java Concurrency in Practice / Brian Goetz, Doug Lea, Joshua Bloch, ... [JCIP]

Паттерны/идиомы многопоточного программирования для практиков на Java.

C++ Concurrency in Action / Anthony Williams [CPPCIA]

Практика многопоточного программирования на C++11. Книга доступна на русском языке!

Книги по смежным дисциплинам:

Про операционные системы:

xv6 - A Simple, Unix-like Teaching Operating System

Про архитектуру процессоров:

Computer Architecture: A Quantitative Approach / Hennessy, Patterson

Про C++:

Effective Modern C++ / Scott Meyers

Материалы курса Maurice Herlihy по учебнику **Art of Multiprocessor Programming**

[Видеозаписи лекций](#)

[Слайды](#)