Исследование применимости сопрограмм в параллельных системах обработки данных.

Евгений Пантелеев

Новосибирский государственный университет

Научный руководитель: Бульонков Михаил Алексеевич,
канд. физ-мат наук
ИСИ СО РАН

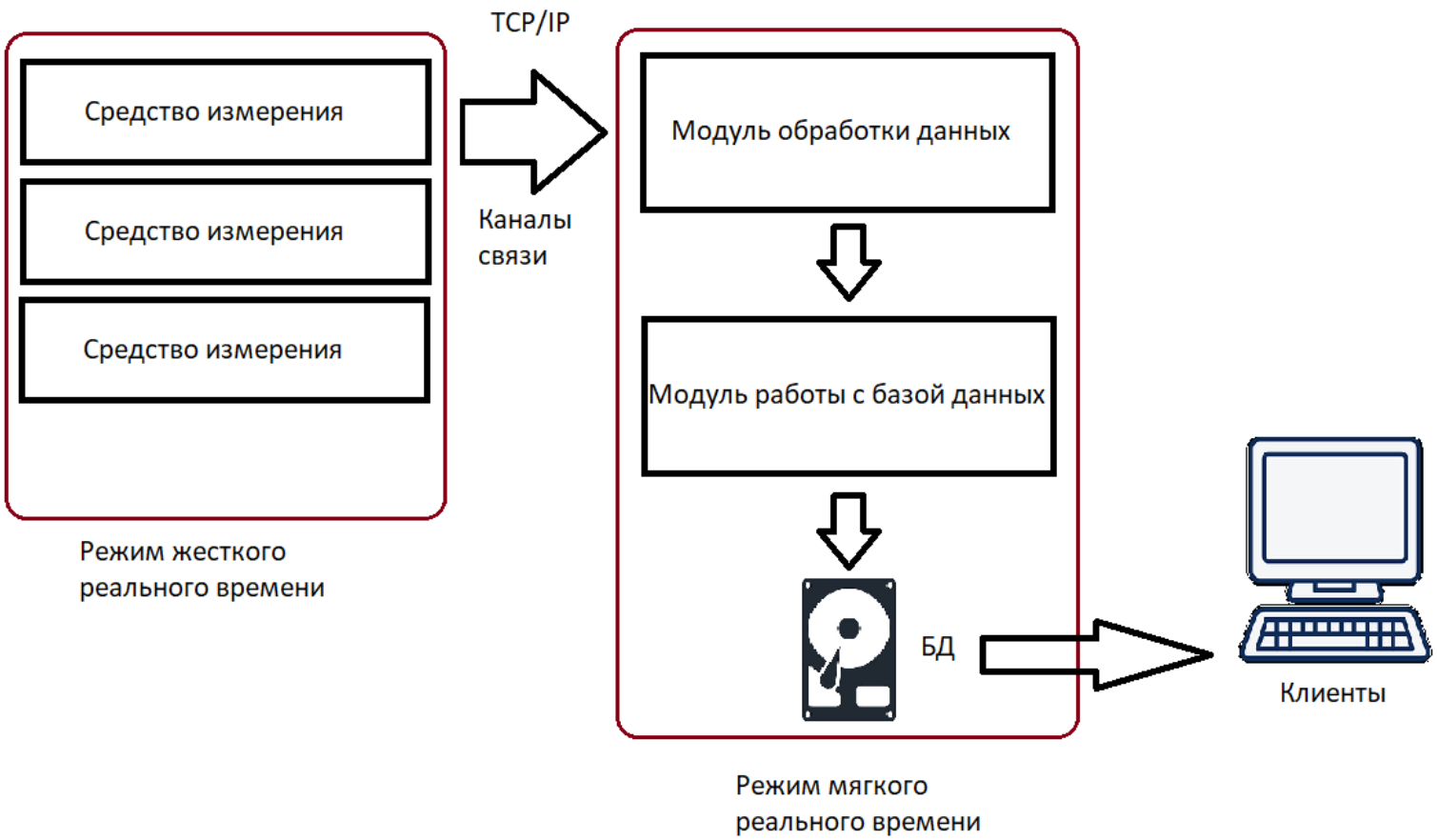
Новосибирск
2021г.

Параллельная обработка данных

В мире существует множество задач, требующих параллельной обработки данных:

- Параллельные вычисления. Например, библиотека Colt Parallel, используемая CERN для математических расчетов.
- Системы сбора и обработки данных.

Система обработки и сбора данных



- Для ускорения работы со множеством каналов связи необходим параллелизм.

Язык Java

1. Допустимо применение языка Java в системах мягкого реального времени.
2. Java упрощает написание кода благодаря автоматическому управлению памятью и контролю ошибок при исполнении.

Параллелизм

- Традиционно, параллелизм реализуется внутри операционной системы с помощью механизма потоков.
- Однако, модель потоков имеет ряд минусов.
- Потоки – это достаточно ”тяжеловесный” механизм: их создание и переключение несет в себе крупные накладные расходы.
- Избежать накладных расходов на использование потоков можно, применяя вместо них сопрограммы.

Сопрограммы

- **Сопрограмма** (англ. coroutine) - программный модуль, который работает *конкурентно* с другими такими модулями. При использовании сопрограммы ведут себя как обычные потоки.
- Сопрограммы уже реализованы в языках программирования C++20, C#, Go.
- Модуль сопрограмм в Java находится в стадии работающего прототипа (OpenJDK/Loom)

Цели и задачи

Цель: изучение применимости сопрограмм вместо потоков в параллельных системах.
Поставленные задачи:

- Провести анализ реализаций сопрограмм в других языках.
- Реализовать прототип модуля сопрограмм.
- Сравнить производительность сопрограмм и потоков.
- Выявить ключевые плюсы использования сопрограмм.

Работа проводится на базе Huawei JDK.

Анализ реализаций

Был создан набор тестов производительности сопрограмм для языков Go, Java (с “Loom Project”).
Тесты создавались для измерения 2 параметров.

- Скорость переключения контекста.
- Потребление памяти.

Репозиторий с тестами:
https://github.com/minium2/coroutines-benchmark

Реализация прототипа сопрограмм

Для работы минимального прототипа требуется:

1. Переключение контекста сопрограмм.
2. Сборка мусора.

Переключение сопрограмм может быть реализовано различными способами:

- OpenJDK/Loom: копирование стека сопрограммы при переключении.
- Go: изменение указателя стека.

В HuaweiJDK выбран подход языка Go, поскольку он более эффективен.

Измерение скорости переключения сопрограмм в управляемых средах

Ubuntu, kernel 4.15, Intel Core i7-8700, 4.6 ГГц, 32 Гб ОЗУ
Каждое значение усреднено по 100 измерениям.

Шт.	*Число переключений, тыс./сек.*		
	HuaweiJDK	*OpenJDK/"Loom"*	*Go*
100	*12 980 ± 540*	*1 900 ± 20*	*18 187 ± 219*
1 000	*11 420 ± 694*	*1 775 ± 20*	*17 934 ± 332*
5 000	*5 875 ± 183*	*1 703 ± 30*	*12 892 ± 339*
10 000	*4 459 ± 162*	*1 924 ± 235*	*8 307 ± 80*
20 000	*3 604 ± 93*	*1 863 ± 217*	*7 045 ± 72*
30 000	*3 031 ± 94*	*1 772 ± 182*	*6 391 ± 94*
40 000	*2 653 ± 87*	*1 606 ± 194*	*5 790 ± 67*
50 000	*2 315 ± 60*	*1 503 ± 157*	*5 292 ± 122*

Измерение скорости переключения потоков и сопрограмм

Ubuntu, kernel 4.15, Intel Core i7-8700, 4.6 ГГц, 32 Гб ОЗУ, HuaweiJDK

Каждое значение усреднено по 100 измерениям.

Для измерения используется только одно ядро ЦП.

Шт.	*Число переключений, тыс./сек.*	
	Сопрограммы	*Потоки*
100	*12 980 ± 540*	*2 306 ± 50*
1 000	*11 420 ± 694*	*2 300 ± 27*
5 000	*5 875 ± 183*	*1 554 ± 37*
10 000	*4 459 ± 162*	*1 016 ± 29*
20 000	*3 604 ± 93*	*753 ± 28*
30 000	*3 031 ± 94*	*556 ± 16*
40 000	*2 653 ± 87*	*436 ± 12*
50 000	*2 315 ± 60*	*361 ± 8*

Измерение потребление памяти сопрограмм в управляемых средах

Ubuntu, kernel 4.15, Intel Core i7-8700, 4.6 ГГц, 32 Гб ОЗУ

Шт.	*Резидентная память*			
	HuaweiJDK	*OpenJDK/"Loom"*	*Go*	*Потоки*
100	*18 Мб*	*130 Мб*	*3,040 Мб*	*34 Мб*
1000	*22 Мб*	*161 Мб*	*3,105 Мб*	*35 Мб*
5000	*32 Мб*	*187 Мб*	*3,156 Мб*	*37 Мб*
10000	*37 Мб*	*193 Мб*	*3,308 Мб*	*40 Мб*
20000	*45 Мб*	*196 Мб*	*3,320 Мб*	*49 Мб*
30000	*49 Мб*	*197 Мб*	*3,350 Мб*	*56 Мб*
40000	*51 Мб*	*200 Мб*	*3,390 Мб*	*63 Мб*
50000	*57 Мб*	*202 Мб*	*3,407 Мб*	*72 Мб*

Вычислительные задачи

Для измерений была применена библиотека Colt Parallel и ее вариант на сопрограммаах OpenJDK/Loom.

Время перемножения матриц 6000x7000

Потоки	Сопрограммы
45.6 ± 1.8 сек.	24.0 ± 5.6 сек.

Время вычисления дискретного преобразования Фурье.

Потоки	Сопрограммы
77.2 ± 0.3 мсек.	77.4 ± 0.4 мсек.

Измерения проводились на CentOS, linux 4.18.0 Intel® Xeon® Gold 6130, 2.10 ГГц.

Ключевые отличия от потоков ОС

- Переключение контекста сопрограммы требует меньше накладных расходов, чем потока. Измерено: скорость переключения сопрограмм в 5–7 раз больше, чем у потоков.
- Меньшее потребление физической памяти более, чем на 20%.

План дальнейших работ

- Реализовать переключение сопрограммы при вызове ввода–вывода.
- Оценить реальный рост производительности от применения сопрограмм в системах обработки данных.

Результаты

- Создан набор тестов для сравнения производительности потоков и сопрограмм.
- Реализован базовый прототип сопрограмм на базе HuaweiJDK.
- Проведен анализ результатов тестов производительности.
- Выявлены ключевые отличия сопрограмм от потоков. Можно ожидать прирост производительности при использовании сопрограмм в системах сбора данных.