Эффективная реализация сопрограмм в управляемой среде исполнения

Евгений Пантелеев

Новосибирский государственный университет

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

Новосибирск
2021г.

Сопрограммы

- **Сопрограмма** (англ. coroutine) - программный модуль, организованный для обеспечения взаимодействия с другими модулями по принципу кооперативной многозадачности.
- Сопрограммы способны приостанавливать свое выполнение, сохраняя *контекст* (программный стек и регистры), и передавать управление другой.

Ключевые отличия от потоков ОС

- Переключение контекста сопрограммы требует меньше накладных расходов, чем переключение потока.
- Как правило меньший размер стека, а значит, потребление памяти так же меньше.

Применение сопрограмм.

- Обработка множества независимых событий.
- Организация параллельной обработки данных.

Поддержка в языках программирования

(a) C++20

(b) C#

(c) Go

В языке Java сопрограммы не реализованы.

Project Loom

Fibers and Continuations

- Project Loom – проект на базе OpenJDK, целью которого является разработка сопрограмм для языка Java.
- На данный момент уже доступна ранняя версия проекта.

Цели и задачи

Цель: реализация прототипа сопрограмм в Java.
Поставленные задачи:

- Разработать тесты для сравнения производительности потоков и сопрограмм.
- Реализовать переключение сопрограмм.
- Реализовать трассировку ссылок объектов на стеках сопрограмм для сборки мусора.
- Сравнить производительность сопрограмм и потоков.

Работа проводится на базе Huawei JDK.

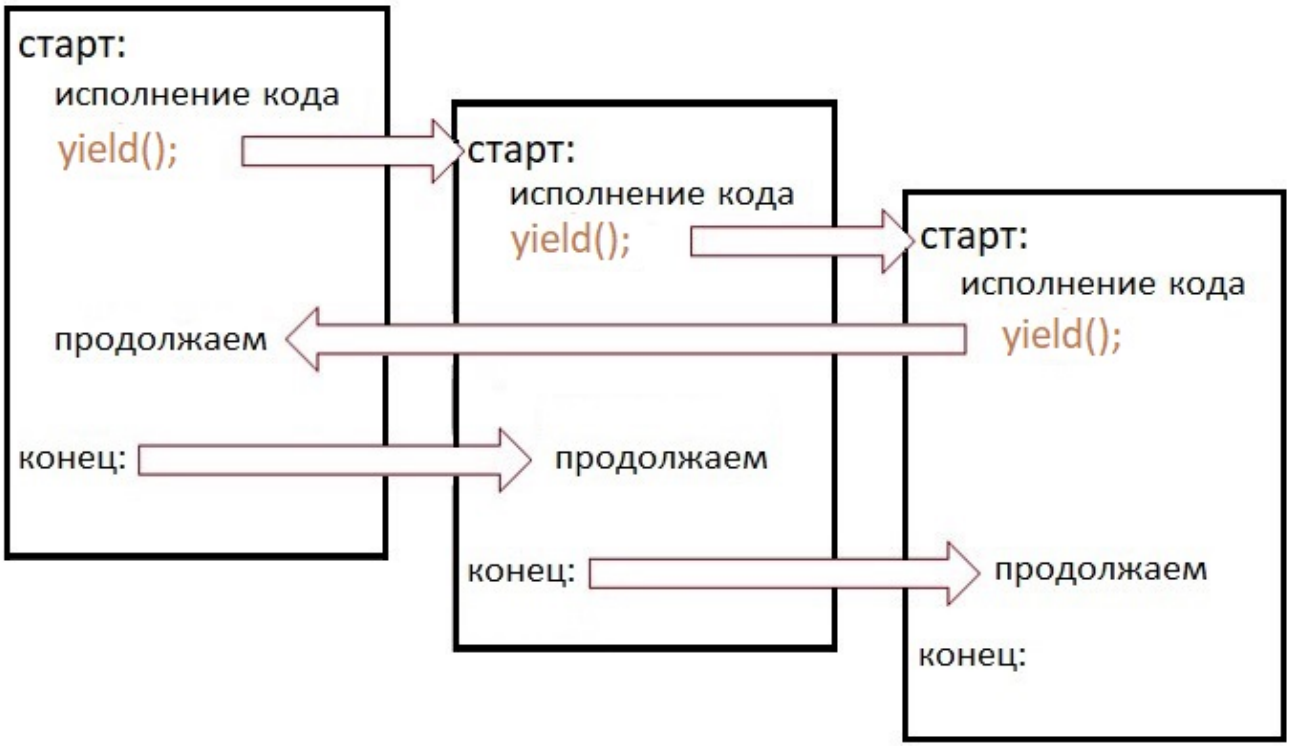
Тесты производительности

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

Переключение сопрограмм



- Функция yeild() переключает управление от одной сопрограммы другой.
- Завершение выполнения сопрограммы приводит к переключению на другую.

Подходы к реализации переключения сопрограмм

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

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

Трассировка стеков

- Для работы сборщика мусора необходимо хранить адрес начала и конца стека каждой сопрограммы.
- При сборке мусора сканируются все стеки сопрограмм для поиска корневого множества живых объектов.

Измерение скорости переключения сопрограмм

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	*1 956 ± 38*	*1 900 ± 20*	*18 187 ± 219*
1 000	*1 829 ± 12*	*1 775 ± 20*	*17 934 ± 332*
5 000	*1 578 ± 39*	*1 703 ± 30*	*12 892 ± 339*
10 000	*1 316 ± 20*	*1 924 ± 235*	*8 307 ± 80*
20 000	*1226 ± 8*	*1 863 ± 217*	*7 045 ± 72*
30 000	*1068 ± 7*	*1 772 ± 182*	*6 391 ± 94*
40 000	*928 ± 7*	*1 606 ± 194*	*5 790 ± 67*
50 000	*881 ± 5*	*1 503 ± 157*	*5 292 ± 122*

Функции для переключения контекста

- Первый прототип использовал функции для переключения контекста getcontext/setcontext из glibc.

Функции для переключения	*Число переключений, дол. ед.*
*Из библиотеки Си **tbox***	*7.8*
Boost.Context	*2.2*
*getcontext/setcontext из **glibc***	*1*

К сожалению, эти функции нельзя использовать, поскольку они не учитывают внутренние особенности JVM.

Измерение скорости переключения сопрограмм в HuaweiJDK с новыми функциями переключения контекста

Ubuntu, kernel 4.15, Intel Core i7-8700, 4.6 ГГц, 32 Гб ОЗУ
Каждое значение усреднено по 100 измерениям.
Для измерения используется только одно ядро ЦП.

Шт.	*Число переключений, тыс./сек.*	
	getcontext/setcontext	*Новые функции*
100	*1 956 ± 38*	*12 980 ± 540*
1 000	*1 829 ± 12*	*11 420 ± 694*
5 000	*1 578 ± 39*	*5 875 ± 183*
10 000	*1 316 ± 20*	*4 459 ± 162*
20 000	*1226 ± 8*	*3 604 ± 93*
30 000	*1068 ± 7*	*3 031 ± 94*
40 000	*928 ± 7*	*2 653 ± 87*
50 000	*881 ± 5*	*2 315 ± 60*

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*
100	*18 Мб*	*130 Мб*	*3,040 Мб*
1000	*22 Мб*	*161 Мб*	*3,105 Мб*
5000	*32 Мб*	*187 Мб*	*3,156 Мб*
10000	*37 Мб*	*193 Мб*	*3,308 Мб*
20000	*45 Мб*	*196 Мб*	*3,320 Мб*
30000	*49 Мб*	*197 Мб*	*3,350 Мб*
40000	*51 Мб*	*200 Мб*	*3,390 Мб*
50000	*57 Мб*	*202 Мб*	*3,407 Мб*

Измерение потребление памяти потоков

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

Шт.	*Размер физической памяти*	
	Сопрограммы	*Потоки*
100	*18 Мб*	*34 Мб*
1000	*22 Мб*	*35 Мб*
5000	*32 Мб*	*37 Мб*
10000	*37 Мб*	*40 Мб*
20000	*45 Мб*	*49 Мб*
30000	*49 Мб*	*56 Мб*
40000	*51 Мб*	*63 Мб*
50000	*57 Мб*	*72 Мб*

План дальнейших работ

- Поддержка synchronized блоков.
- Переключение сопрограммы при вызове ввода–вывода.

Результаты

- Создан набор тестов для сравнения производительности потоков и сопрограмм.
- Реализовано переключение контекста сопрограмм.
- Разработана трассировка ссылок объектов на стеках сопрограмм.
- Оптимизировано переключение контекста сопрограмм более чем в 3 раза.
- Проведен анализ результатов тестов производительности.