Actor Model

Курс «Параллельные вычисления»

Вадим Цесько
incubos.org

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

23 мая 2018 г.

Содержание

О лекторе

- http://kspt.icc.spbstu.ru/people/tsesko/
- http://digiteklabs.ru
- https://yandex.ru
- https://compscicenter.ru/teachers/12/
- https://v.ok.ru

Disclaimer

If I had asked people what they wanted, they would have said faster horses.

Henry Ford

Jonas Bonér

State: You're Doing It Wrong — Alternative Concurrency Paradigms For The JVM[a].

[a] `http://www.slideshare.net/jboner/state-youre-doing-it-wrong-javaone-2009`

Параллельное программирование

Damien Katz

- Beginner: "Threads are hard."
- Intermediate: "Don't fear multithreading."
- Expert: "Threads are hard."

Тем не менее

The free lunch is over[a].

[a] Herb Sutter. *The Free Lunch Is Over*. 2009

Проблема

Источник

Разделяемое состояние.

А точнее

Изменяемое разделяемое состояние.

И

Часто оно **неизбежно**.

Классификация задач и подходов

- Shared State Concurrency (чугунная пуля)
  - Невероятно сложно
  - Даже для экспертов
- Координация независимых задач/процессов
  - Message-Passing Concurrency (Actor Model)
- Workflow-зависимые процессы
  - MapReduce, Spark, Tez, etc.
  - Dataflow Concurrency
- Консенсус и истинное разделяемое знание
  - Transactional RDBMS
  - Software Transactional Memory (STM)

Происхождение

- Carl Hewitt[1], Peter Bishop and Richard Steiger. A Universal Modular Actor Formalism for Artificial Intelligence. 1973.
- Gul Agha. Actors: A Model of Concurrent Computation in Distributed Systems. 1986.
- Изначально для описания параллельных вычислений
- Позднее в качестве основы для многочисленных реализаций

[1] http://letitcrash.com/post/20964174345/carl-hewitt-explains-the-essence-of-the-actor

Actor

- Всё это актор
- Функционируют параллельно
- Асинхронно обмениваются сообщениями
- При обработке сообщения актор может
  - отправить конечное число сообщений другим акторам
  - создать конечное число новых акторов
  - назначить поведение для обработки следующего сообщения
- Порядок доставки сообщений не специфицирован
- Акторы имеют «адреса»

Concurrency vs Parallelism

- Actor Model не о Parallelism, а о Concurrency[2]

Concurrency

Способность выполняться параллельно.

Parallelism

Действительно параллельное выполнение.

[2] Rob Pike. Concurrency is not Parallelism: `https://player.vimeo.com/video/49718712`

Реализации

Языки[3] с «родной» поддержкой:

- Erlang
- Scala
- ...

Библиотеки для языков:

- Scala
- Java
- F#
- ...

[3] http://en.wikipedia.org/wiki/Actor_model

Erlang

- Joe Armstrong, Ericsson, 1986
- Для разработки распределённых, отказоустойчивых, неостанавливающихся приложений мягкого реального времени
- Поддерживает «горячую» замену кода
- Пример — ПО коммутатора Ericsson AXD301
  - миллион строк кода
  - доступность **0.999999999** (31 ms/year downtime)

Parallelism vs Concurrency

Поддержка SMP в 2006.

Akka

Будем использовать

Akka (Scala API).

Некоторые пользователи:

- The Guardian
- CISCO
- Ebay
- Groupon
- BBC
- Amazon.com
- Яндекс ☺

О проекте

Jonas Bonér:

- Java Champion
- Terracotta JVM clustering, JRockit JVM, AspectWerkz AOP, Eclipse AspectJ

Ресурсы:

- `http://akka.io/docs/`
- `http://letitcrash.com/`

Код:

- `https://github.com/akka/akka`
- Apache V2 license

Производительность

Внимание

Синтетические тесты ☺

Erlang R14B04 vs **Akka** 2.0-SNAPSHOT[4]:

- 1M mps vs **2.1M mps**

Akka 2.0[5]:

- **50M mps**
- 48-core, 128 GB, `ForkJoinPool`

[4] `http://letitcrash.com/post/14783691760/akka-vs-erlang`

[5] `http://letitcrash.com/post/20397701710/50-million-messages-per-second-on-a-single-machine`

Особенности реализации

- **300 байт** на актор
- Актор: состояние, поведение, почтовый ящик, список детей, стратегия супервизора
- Множество акторов на множестве нитей
- Нет гарантированной доставки, семантика **at-most-once**, порядок сохраняется
- Сообщения обрабатываются **строго по порядку**
- Иерархия: создаваемые акторы — дети, родитель — супервизор
- Актор скрыт за **переносимой** `ActorRef`
- Подход «Let it crash»

Пути

Примеры

- `akka://system/user/a/b`
- `akka.tcp://system@server.yandex.ru:2552/user/a/b`

Конструирование ссылок

- Создание акторов: `ActorRefProvider.actorOf`
- Поиск акторов: `ActorRefProvider.actorSelection`
- Каждый актор знает себя, родителя и детей

Примеры

```
1 context.actorSelection("../brother") ! msg
2 context.actorSelection("/user/service") ! msg
3 context.actorSelection("../*") ! msg
```

Определение актора

```
1  class Partitioner(partitionStorage: ActorRef) extends Actor {
2
3    def receive = {
4      case PartitionFeed(partner, offers) =>
5          partition(partner, offers)
6      case msg =>
7          log.error("Unsupported message received: {}", msg)
8    }
9
10   def partition(partner: Partner, offers: Traversable[Offer]) {
11     ...
12
13     partitionStorage ! UpdatePartitions(partner, partitioning)
14   }
15 }
```

Создание актора

```
1  val system = ActorSystem("sharder")
2
3  val partitionStorage = ...
4
5  val partitioner =
6    system.actorOf(
7      FromConfig.props(
8        Props(classOf[Partitioner], partitionStorage)
9          .withDispatcher("dispatcher.cpu")),
10     "partitioner")
```

Конфигурация диспетчера

Конфигурация в HOCON[6]:

```
dispatchers.cpu {
  type = Dispatcher
  executor = "fork-join-executor"

  fork-join-executor {
    parallelism-min = 4
    parallelism-factor = 1.0
  }
}
```

[6] Human-Optimized Config Object Notation: https://github.com/typesafehub/config

HOCON

Независимая самоценная библиотека:

- Чистая Java без зависимостей
- Поддерживает Java properties и JSON superset
- Merge и `include` из файлов, URL, classpath
- Мощная поддержка вложенности
- Поддержка duration (`10 seconds`) и size (`512K`)
- Конвертация типов

Диспетчеры

- Dispatcher
- PinnedDispatcher
- BalancingDispatcher
- CallingThreadDispatcher

на

- fork-join-executor
- thread-pool-executor

Почтовые ящики

- UnboundedMailbox
- BoundedMailbox
- UnboundedPriorityMailbox
- BoundedPriorityMailbox

```
1 trait MessageQueue {
2   def enqueue(receiver: ActorRef, handle: Envelope): Unit
3   def dequeue(): Envelope
4   def numberOfMessages: Int
5   def hasMessages: Boolean
6   def cleanUp(owner: ActorRef, deadLetters: MessageQueue): Unit
7 }
```

Пулы акторов

```
akka.actor.deployment {
  /partitioner {
    router = smallest-mailbox-pool
    nr-of-instances = 4
  }
}
```

```
akka.actor.deployment {
  /unifier {
    router = round-robin-pool
    resizer {
      lower-bound = 2
      upper-bound = 16
    }
  }
}
```

Типы роутеров

Реализации `Pool` и `Group`:

- `RoundRobin`
- `Random`
- `SmallestMailbox`
- `Broadcast`
- `ScatterGatherFirstCompleted`
- Самописные

Конфигурирование из кода

```
1 val shardActorPaths: immutable.Seq[String] = ...
2
3 val shard = system.actorOf(
4   RoundRobinGroup(shardActorPaths).props(),
5   "shard")
```

Удалённые акторы

```
akka {
  actor {
    provider = "akka.remote.RemoteActorRefProvider"
  }

  remote {
    enabled-transports = ["akka.remote.netty.tcp"]

    netty.tcp {
      hostname = "server.yandex.ru"
      port = 2553
    }
  }
}
```

Тестирование акторов

- Модульное тестирование с `TestActorRef`
- Интеграционное тестирование с `Probe`
- Проверки с сопоставлением по шаблону

Пример теста

```
1  val probe = TestProbe()
2  val burstScaler = TestActorRef(new BurstScaler(probe.ref))
3
4  before {
5    burstScaler.underlyingActor.sent =
6        burstScaler.underlyingActor.sent.empty
7  }
8
9  "A BurstScaler" should {
10   "always forward the first message" in {
11     probe.within(1 second) {
12       burstScaler ! 1
13       probe.expectMsg(1)
14     }
15   }
16 }
```

Супервизор

Решение при сбое:

1. `Resume`
2. `Restart`
3. `Stop`
4. `Escalate`

- Принятое решение (1-3) действует рекурсивно
- Функция `Exception` $\Rightarrow$ `Directive`
- `Terminated`, `preStart`, `preRestart`, `postStop`, `postRestart`
- `OneForOneStrategy` и `AllForOneStrategy`
- Ограничение количества перезапусков

Супервизор по умолчанию

```
1 final val defaultDecider: Decider = {
2   case _: ActorInitializationException => Stop
3   case _: ActorKilledException         => Stop
4   case _: DeathPactException           => Stop
5   case _: Exception                    => Restart
6 }
7
8 final val defaultStrategy: SupervisorStrategy =
9   OneForOneStrategy()(defaultDecider)
```

Выпало из рассмотрения

- FSM
- Persistence
- Typed Actors
- Cluster
- Event Bus
- Streams
- HTTP
- Experimental

Акторы

- Храните состояние вовне
- Стройте **всю систему** на акторах
- Пишите асинхронный код
- Избегайте косвенного взаимодействия акторов
- Баги есть, но быстро чинят

Память и ящики

- Неограниченные ящики $\Rightarrow$ неограниченная память при перегрузке
- Ограниченные ящики $\Rightarrow$ возможные deadlock'и при наличии циклов
- $\Rightarrow$ стройте системы без циклов ☺
- Существует диспетчер по умолчанию
- Нет доступа к размеру ящика[7]

[7] http://letitcrash.com/post/17707262394/why-no-mailboxsize-in-akka-2

Alan Kay on OOP, 1967

I thought of objects being like biological cells and/or individual computers on a network, only able to communicate with messages (so messaging came at the very beginning – it took a while to see how to do messaging in a programming language efficiently enough to be useful).
OOP to me means only messaging, local retention and protection and hiding of state-process, and extreme late-binding of all things. It can be done in Smalltalk and in LISP. There are possibly other systems in which this is possible, but I'm not aware of them.

Задача

- Запросы приходят по одному
- Общаться с хранилищем эффективнее пачками
- Допустима фиксированная задержка

Решение

```
1  class Batcher[T: ClassTag](persister: ActorRef, batchSize: Int, flushPeriod:
       FiniteDuration) extends Actor {
2    var batch = Seq.empty[T]
3    context.setReceiveTimeout(flushPeriod)
4    def receive = {
5      case event: T =>
6        batch = batch :+ event
7        if (batch.size == batchSize) flush()
8      case ReceiveTimeout => if (batch.nonEmpty) flush()
9    }
10   def flush() {
11     persister ! BatchRequest(batch)
12     batch = Seq.empty[T]
13   }
14 }
```

Задача

- На входе поток запросов
- WebSockets/HTTP persistence

Решение

- Актор на соединение (Akka IO[8])
- Актор на запрос (Spray[9]/Akka HTTP[10])

[8] http://doc.akka.io/docs/akka/2.4.4/scala/io.html

[9] http://spray.io/documentation/1.2.3/spray-can/http-server/

[10] http://doc.akka.io/docs/akka/2.4.4/scala/http/introduction.html

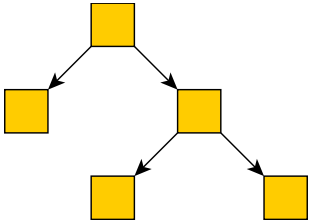
Задача

- Обработка запроса — общение с другими акторами
- Взаимодействия запрос-ответ
- Необходимо восстановить контекст перед ответом пользователю

Решение

- Трансформируем контекст `HttpContext` в `AnyRef`
- Контракт: каждый актор копирует непрозрачный контекст из запроса в ответ
- Корневой узел трансформирует контекст `AnyRef` из ответа в `HttpContext`

Задача



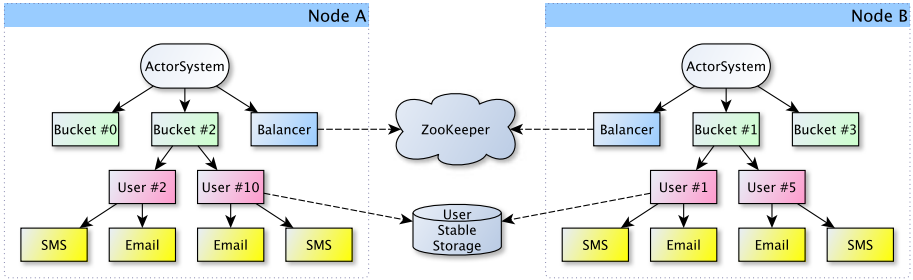
- Естественные подсистемы
- Масштабируемость
- Устойчивость к сбоям
- Реактивность
- Сессионность

Решение

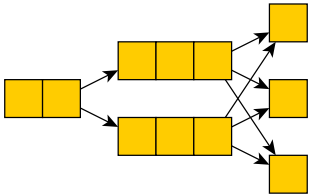
- User pinning (DC, node) + proxy
- Иерархия акторов для каждого активного пользователя/подписки/визита/запроса/whatever[11]
- Eviction
- State flush and/or persistence

[11] http://2016.secr.ru/program/submitted-presentations/streaming-matching-of-events

Компонент сервиса уведомлений



Задача



- Масштабируемость
- Устойчивость к сбоям
- Ограниченное потребление памяти

Решение

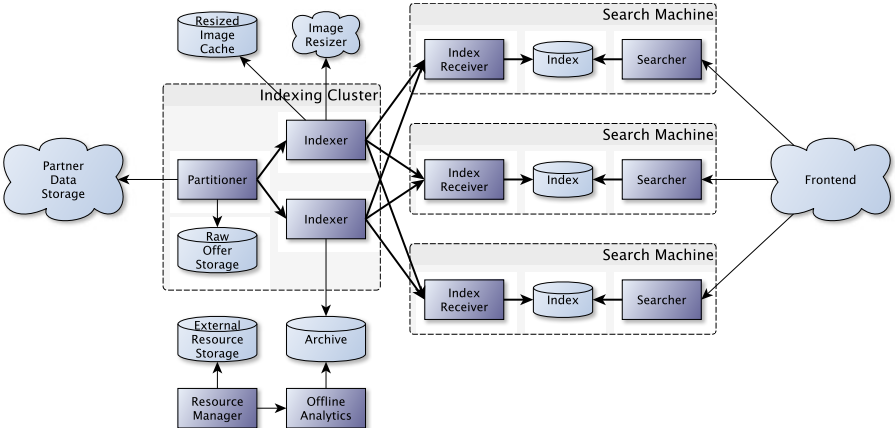
- Каждая стадия — актор[12]
- Ограниченные очереди
- Back pressure
- `LoadBalancingDispatchers`
- Графики размеров очередей
- Декомпозиция тяжёлых стадий
- Масштабирование пулами
- Загрузка CPU 100%
- `InstrumentedUnboundedSkipClonesMailbox`

[12] `http://2014.jpoint.ru/talks/07/`

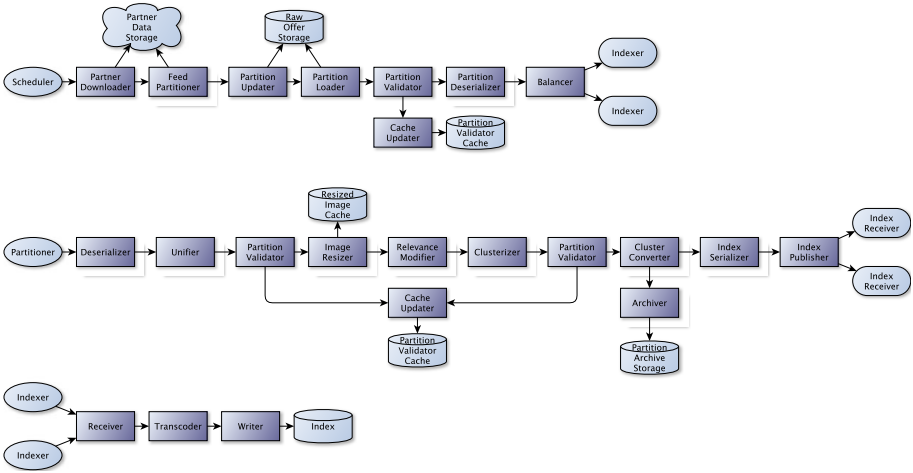
Проблемы

- Ёмкость зависит от структуры конвейера
- Затор приводит к отбрасыванию случайных задач

Архитектура



Гиперконвейер



О чём приходится думать

- Наблюдаемость
  - Логгирование
  - Графики
  - Мониторинги
- Поведение при перегрузке
  - Детектирование перегрузки
  - Ограничение ресурсов
  - Превентивный reject
  - Восстановление после перегрузки
  - Выравнивание нагрузки

Futures and Promises

David Ross

So a Promise can be broken, but you can't change the Future. Love the metaphors.

Зачем

- `Future` возникают, когда появляется асинхронный IO
- Т. е. повсеместно

Происхождение

- Henry Baker and Carl Hewitt. The Incremental Garbage Collection of Processes[13]. 1977.

Future

Структура данных для **синхронного** (блокирующегося) или **асинхронного** (неблокирующегося) извлечения результата параллельной операции.

[13] `http://en.wikipedia.org/wiki/Futures_and_promises`

Реализации

- Java (`java.util.concurrent.Future`)
- Scala[14] (**Akka**[15])
- C#
- Python
- Haskell
- Clojure
- Oz
- R
- Scheme
- Node.js

[14] `http://docs.scala-lang.org/overviews/core/futures.html`

[15] `http://doc.akka.io/docs/akka/2.4.4/scala/futures.html`

Future

```scala
import scala.concurrent.ExecutionContext.Implicits.global
```

```scala
val future = Future {
  "Hello" + "World"
}
val result = Await.result(future, 1 second)
```

```scala
val future = Future.successful("Yay!")
```

```scala
val otherFuture =
  Future.failed[String](
      new IllegalArgumentException("Bang!"))
```

Promise

```scala
import scala.concurrent.{Future, Promise}
import scala.concurrent.ExecutionContext.Implicits.global

val p = Promise[T]()
val f = p.future
val producer = Future {
  val r = produceSomething()
  p success r
  continueDoingSomethingUnrelated()
}
val consumer = Future {
  startDoingSomething()
  f onSuccess {
    case r => doSomethingWithResult()
  }
}
```

Futures and Actors

Общение с акторами вне Actor System:

```
implicit val timeout = Timeout(5 seconds)
val future = actor ? msg
val result =
  Await.result(future, timeout.duration)
    .asInstanceOf[String]
```

Или так:

```
val future: Future[String] = ask(actor, msg).mapTo[String]
```

И обратно:

```
import akka.pattern.pipe
future pipeTo actor
```

map (1)

```
1  val f1 = Future {
2    "Hello" + "World"
3  }
4
5  val f2 = f1 map { x =>
6    x.length
7  }
8
9  val result = Await.result(f2, 1 second)
10
11 result must be(10)
12
13 f1.value must be(Some(Success("HelloWorld")))
```

map (2)

```
1 val f1 = Future {
2   "Hello" + "World"
3 }
4 val f2 = Future.successful(3)
5 val f3 = f1 map { x =>
6   f2 map { y =>
7     x.length * y
8   }
9 }
```

Тип f3?

- Future[Future[Int]]
- А хотели: Future[Int]

flatMap

```
1  val f1 = Future {
2    "Hello" + "World"
3  }
4  val f2 = Future.successful(3)
5  val f3 = f1 flatMap { x =>
6    f2 map { y =>
7      x.length * y
8    }
9  }
10
11 val result = Await.result(f3, 1 second)
12
13 result must be(30)
```

filter

```
1  val future1 = Future.successful(4)
2  val future2 = future1.filter(_ % 2 == 0)
3  val result = Await.result(future2, 1 second)
4  result must be(4)
5
6  val failedFilter = future1.filter(_ % 2 == 1).recover {
7    case _: NoSuchElementException => 0
8  }
9
10 val result2 = Await.result(failedFilter, 1 second)
11 result2 must be(0)
```

Await.result()

```
1 val f1 = ask(actor1, msg1)
2 val f2 = ask(actor2, msg2)
3
4 val a = Await.result(f1, 1 second).asInstanceOf[Int]
5 val b = Await.result(f2, 1 second).asInstanceOf[Int]
6
7 val f3 = ask(actor3, (a + b))
8
9 val result = Await.result(f3, 1 second).asInstanceOf[Int]
```

Блокировки

Каждый вызов `Await.result()` — блокировка.

For-comprehension

```
1  val f1 = ask(actor1, msg1)
2  val f2 = ask(actor2, msg2)
3
4  val f3 = for {
5    a <- f1.mapTo[Int]
6    b <- f2.mapTo[Int]
7    c <- ask(actor3, (a + b)).mapTo[Int]
8  } yield c
9
10 val result = Await.result(f3, 1 second)
```

Блокировки

Уже лучше, но усложняется с ростом числа акторов.

Комбинаторы

```
Future.sequence:
  M[Future[A]] => Future[M[A]]
```

```
Future.traverse:
  M[A] => (A => Future[B]) => Future[M[B]]
```

```
Future.fold:
  Traversable[Future[T]] => R => ((R, T) => R) => Future[R]
```

```
Future.reduce[T, R >: T]:
  Traversable[Future[T]] => ((R, T) => R) => Future[R]
```

Базовые

```
future onSuccess {
  case "bar"    => println("Got my bar alright!")
  case x: String => println("Got some random string: " + x)
}
```

```
future onFailure {
  case ise: IllegalStateException
    if ise.getMessage == "OHNOES" =>
      // OHNOES! We are in deep trouble, do something!
  case e: Exception =>
    // Do something else
}
```

```
future onComplete {
  case Success(result) => doSomethingOnSuccess(result)
  case Failure(error) => doSomethingOnFailure(error)
```

Порядок

Исполнение Callback'ов

Обработчики исполняются в **неопределенном порядке** и/или **параллельно**.

```
1 val result = Future { loadPage(url) } andThen {
2   case Left(exception) => log(exception)
3 } andThen {
4   case _ => watchSomeTV
5 }
```

Полезное

`Future.fallbackTo()`:

```
1 val future4 = future1 fallbackTo future2 fallbackTo future3
```

`Future.zip()`:

```
1 val future3 =
2   future1 zip future2 map { case (a, b) => a + " " + b }
```

Exceptions

Исключения доставляются **вместо** результата Future.

Но можно делать так:

```
1 val future = akka.pattern.ask(actor, msg1) recover {
2   case e: ArithmeticException => 0
3 }
```

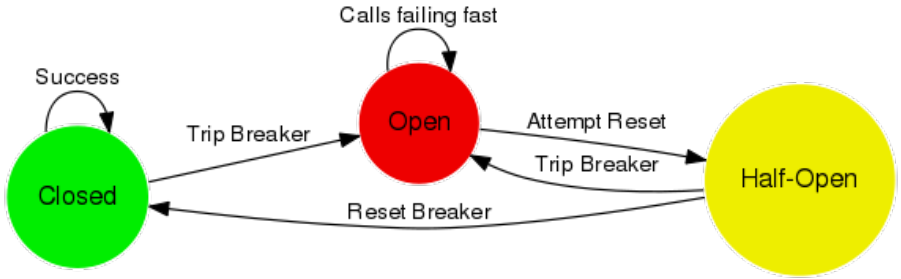
Или так:

```
1 val future = akka.pattern.ask(actor, msg1) recoverWith {
2   case e: ArithmeticException =>
3     Future.successful(0)
4   case foo: IllegalArgumentException =>
5     Future.failed[Int](
6         new IllegalStateException("All br0ken!"))
7 }
```

After

```
1 val delayed =
2   akka.pattern.after(
3   200 millis,
4   using = system.scheduler)(
5   Future.failed(
6     new IllegalStateException("OHNOES")))
7 val future = Future { Thread.sleep(1000); "foo" }
8 val result = Future firstCompletedOf Seq(future, delayed)
```

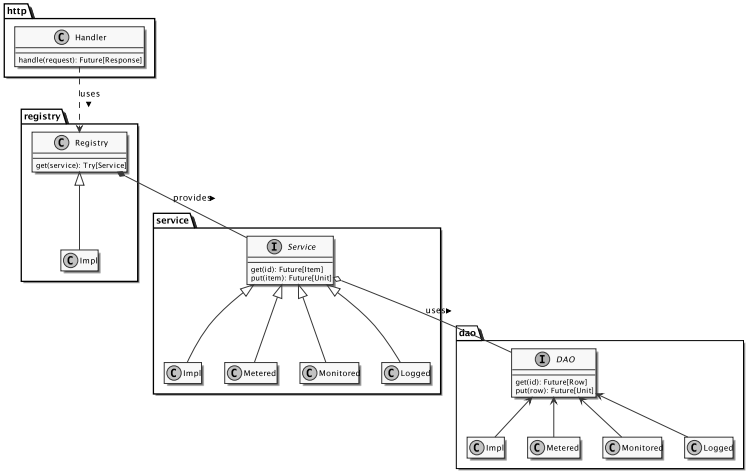
Circuit Breaker: States



Circuit Breaker: Code

```
1  class DangerousActor extends Actor with ActorLogging {
2    import context.dispatcher
3
4    val breaker =
5      new CircuitBreaker(
6        context.system.scheduler,
7        maxFailures = 5,
8        callTimeout = 10.seconds,
9        resetTimeout = 1.minute)
10         .onOpen(notifyMeOnOpen())
11
12   def notifyMeOnOpen(): Unit =
13     log.warning(
14       "My CircuitBreaker is now open, and will not close for one minute")
```

Типичный CRUD Web-сервис



Внимание

Проблема

Можно получить OOM из-за неограниченного накопления Future (FJP).

Решение

- Throttling на верхнем уровне
- Но легко пропустить callback и перестать отвечать на запросы
- Покрывайте 100% кода тестами

Reactive Streams

Ever-newer waters flow on those who step into the same rivers.

Heraclitus

Потоки данных[16]:

- Real-time источники
- Массовое копирование
- Batch-обработка больших объёмов
- Мониторинг/аналитика

[16] Roland Kuhn. Reactive Streams: Handling Data-Flows the Reactive Way: http://www.infoq.com/presentations/reactive-steams-akka

Проблема

Back Pressure

Consumer не справляется с потоком данных от producer.

Демаркация:

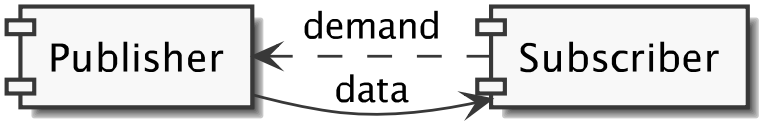
- Приложения
- Узлы
- Процессоры
- Потоки
- Акторы
- ...

Традиционные решения

- Блокирующие вызовы
- Push: буферизация и/или отбрасывание
- **Reactive way**[17]

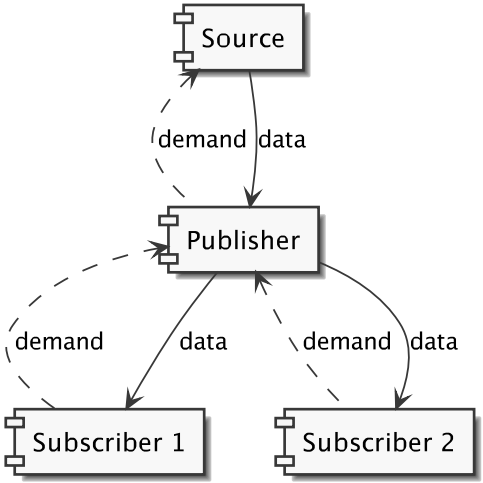
[17] `http://www.reactive-streams.org`

Основная идея

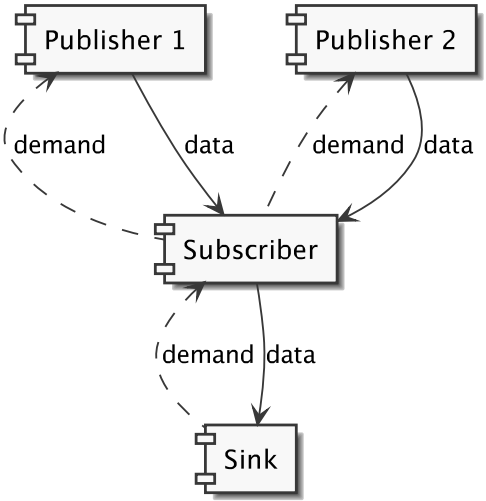


- Получатель контролирует скорость потока данных
- Потребление памяти зависит от потребности
- Consumer быстрее — push
- Producer быстрее — pull
- Все вызовы неблокирующие

Split Data = Merge Demand



Merge Data = Split Demand



The Reactive Streams Project

Консорциум[18]:

- Netflix
- Twitter
- Red Hat
- Pivotal
- Typesafe

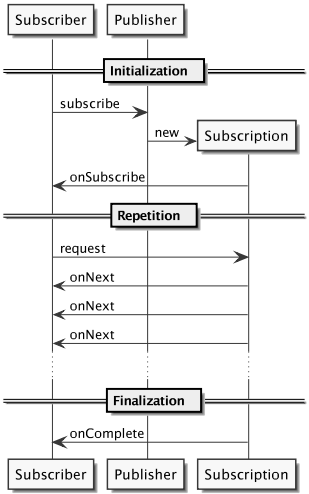
Секрет успеха

- Минимальные интерфейсы
- Строгая спецификация семантики
- TCK
- Свобода для идиоматичных API

API

```
1  public interface Publisher<T> {
2      public void subscribe(Subscriber<? super T> s);
3  }
4
5  public interface Subscriber<T> {
6      public void onSubscribe(Subscription s);
7      public void onNext(T t);
8      public void onError(Throwable t);
9      public void onComplete();
10 }
11
12 public interface Subscription {
13     public void request(long n);
14     public void cancel();
15 }
```

Sequence


Subscriber
Publisher
Initialization
subscribe
new
Subscription
onSubscribe
Repetition
request
onNext
onNext
onNext
Finalization
onComplete
Subscriber
Publisher
Subscription

Реализации

- RxJava
- Project Reactor
- Vert.x
- **Akka Streams**
- **Slick**
- **Java 9**
- etc.[19]

[19] https://en.wikipedia.org/wiki/Reactive_Streams

Ссылки

- http://www.reactive-streams.org
- https://github.com/reactive-streams/reactive-streams-jvm
- https://github.com/typesafehub/activator-akka-stream-scala
- JSR 166[20] in Java 9 by Doug Lea

[20] http://gee.cs.oswego.edu/dl/jsr166/dist/docs/java/util/concurrent/Flow.html

Conclusion

- Параллельные программы — это неизбежно
- Нужны более простые способы создания **корректных параллельных** программных систем
- Низкоуровневый параллелизм — это чрезвычайно сложно
- Но есть альтернативы[21]:
  - Message-Passing Concurrency (Actor Model)
  - Futures
  - Reactive Streams
- No Silver Bullet

[21] ScalaDays 2013. Concurrency — The good, the bad, the ugly: `http://www.parleys.com/play/51c0bc58e4b0ed877035680a/`

Куда двигаться дальше

- `http://www.reactivemanifesto.org`
- Jamie Allen. *Effective Akka*. 2013
- Derek Wyatt. *Akka Concurrency*. 2013
- Series: The Neophyte's Guide to Scala[22]
- EAI Patterns Series[23]
- Chris Okasaki. *Purely Functional Data Structures*. 1999
- JCIP 2nd edition + JMM
- Transactional Memory and Beyond[24]

[22] `http://letitcrash.com/post/64667109914/series-the-neophytes-guide-to-scala`

[23] `http://letitcrash.com/post/59190266995/eai-patterns-series-by-vaughnvernon`

[24] `https://jug.ru/talks/meetups/transactional-memory-and-beyond/`

Вопросы?

- https://incubos.org/blog/
- https://twitter.com/incubos
- mail@incubos.org