

Путеводитель по анализу памяти JVM

Владимир Плизга, Tibbo Systems

- Я – Владимир Плизгá
- Пишу на Java с 2011 г
(финтех, IIoT)
- Люблю помогать людям
(особенно разработчикам)



“Привет! Слушай тут чёто ваш релиз
не взлетел, OutOfMemory кидает.
Давай вы щас быстро гляните,
а то нам откатывать надо,
пока бизнес не пришел...”

Из рабочего чата

“Привет! Слушай тут чёто ваш релиз
не взлетел, OutOfMemory кидает.
Давай вы щас быстро гляните,
а то нам откатывать надо,
пока бизнес не пришел...”

Из рабочего чата



Быстро...
гляднем...
что?..

Снять диагностику
Как?

Нужны дампы
Какие?

$9 + 3x^2$

$\frac{dy}{dx} =$

Посмотреть память
Чем?

Найти утечку
Где?

$x = y \text{ then } y = x$

4×8
2

= 125

-34 10₀

1 + 3 - 2

$21 = (12+12)$

5+

$12 + 11 - 10 + 9 - 8 + 7$

5555555555555555

5555555555555555

5555555555555555

5555555555555555

5555555555555555

5555555555555555

5555555555555555

5555555555555555

5555555555555555

5555555555555555

5555555555555555

5555555555555555

5555555555555555

5555555555555555

5555555555555555

5555555555555555

Вместо плана



Погружение

Через лабораторный кейс

Подопытный кролик

Spring Pet Clinic REST

- Демо-приложение на Spring Boot
- CRUD-операции на WebMVC
- Встроенная БД (hsqldb)
- OpenAPI (Swagger UI)
 - ◆ вместо фронта на Angular



<https://github.com/Toparvion/spring-petclinic-rest>

Мониторинг: VisualVM

- До Java 9 был внутри JDK: bin/jvisualvm[.exe]
- Мониторит **локальные и удаленные** приложения (JMX)
- Поддерживает полезные **плагины**:
 - ◆ MBeans, Threads Inspector, VisualGC, BTrace Workbench, ...

Фича: дИагностика

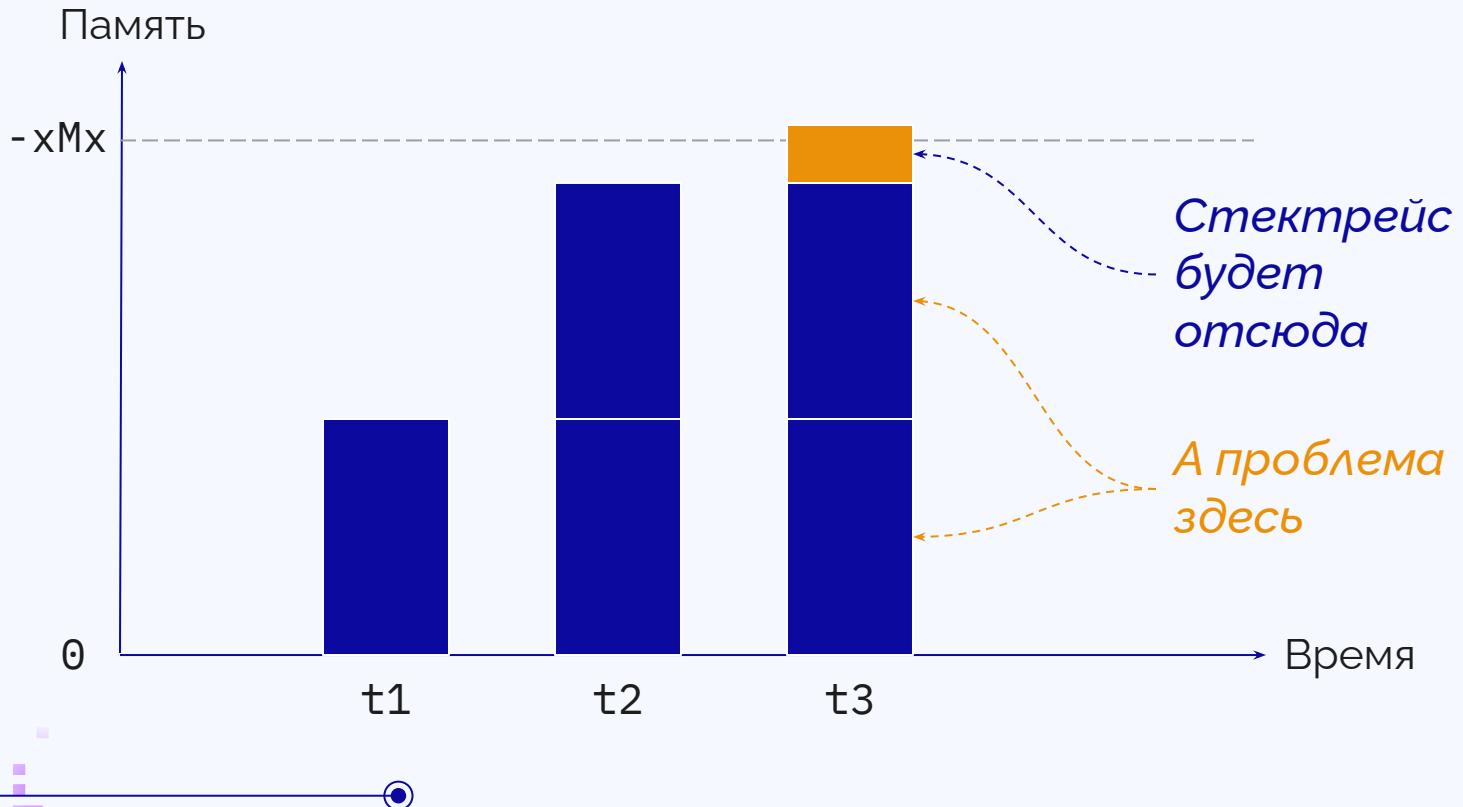
- Новый метод в REST API
- Принимает petId и строку симптомов
- Общается с нейросетью (якобы)
- Возвращает краткую сводку:
 - ◆ Код диагноза
 - ◆ Рекомендуемое лекарство
 - ◆ Дату следующего визита

Гипотезы о причинах ООМ

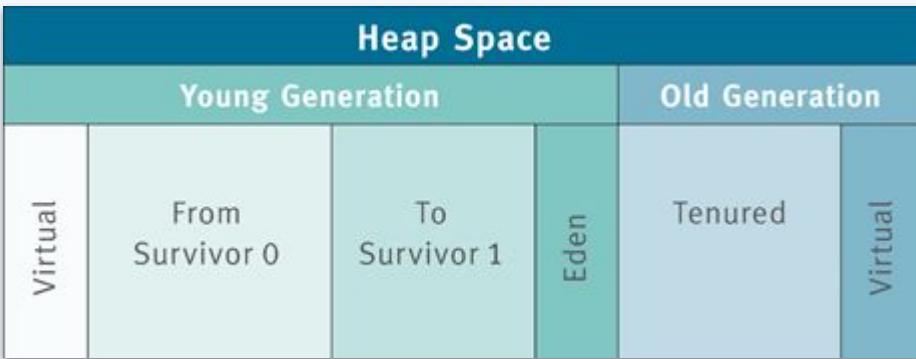
- Криворукий программист
- Раздулся кэш summaries
- Распухли строки в Summary
- Выросло число объектов Summary
- [прочее]



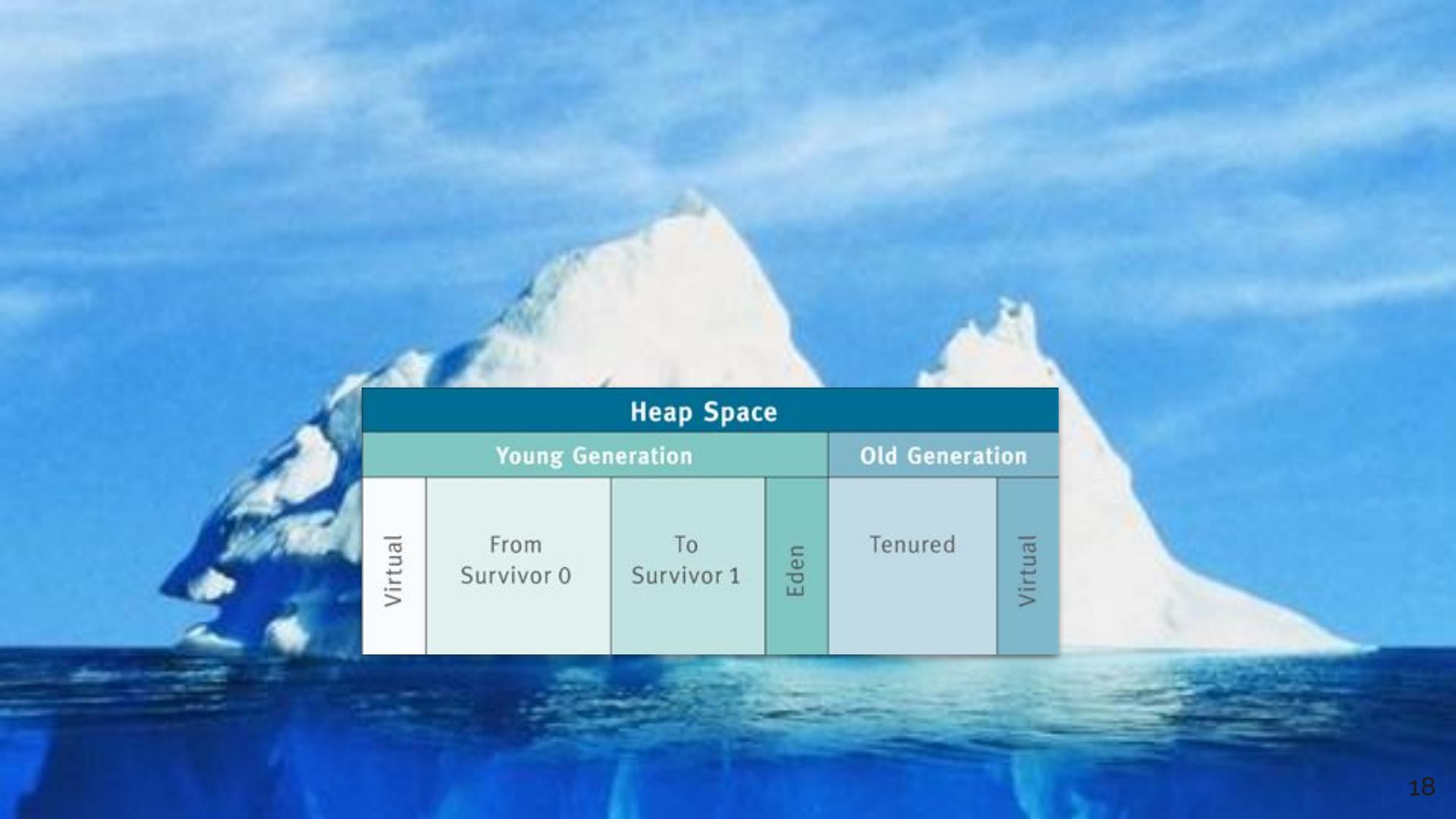
Почему стектрейс 00M не важен



Что будем смотреть

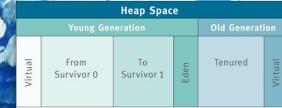


<https://www.linkedin.com/pulse/java-virtual-machine-changes-78-9-kunal-saxena>



Heap Space					
Young Generation				Old Generation	
Virtual	From Survivor 0	To Survivor 1	Eden	Tenured	Virtual

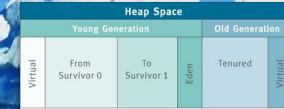
HEAP



**Code Cache +
GC & Compiler +
Symbol tables +
Thread stacks +
Direct buffers +
Mapped files +
Metaspace +
Native libs +
malloc +
...**

NON-HEAP (off-heap, native)

HEAP



↑
80% багов
↓

**Code Cache +
GC & Compiler +
Symbol tables +
Thread stacks +
Direct buffers +
Mapped files +
Metaspace +
Native libs +
malloc +
...**

NON-HEAP

(off-heap, native)

Heap Dump

Основной источник информации для анализа

Что есть heap dump?

- Снимок графа объектов в куче в какой-то момент
 - ◆ т.е. содержит классы **приложения и библиотек**
- Делается силами Java-машины
 - ◆ значит, она должна быть **жива**
- Хранится в двоичном формате HPROF
 - ◆ по умолчанию в рабочей **директории JVM**



Способы снятия дампа



По запросу

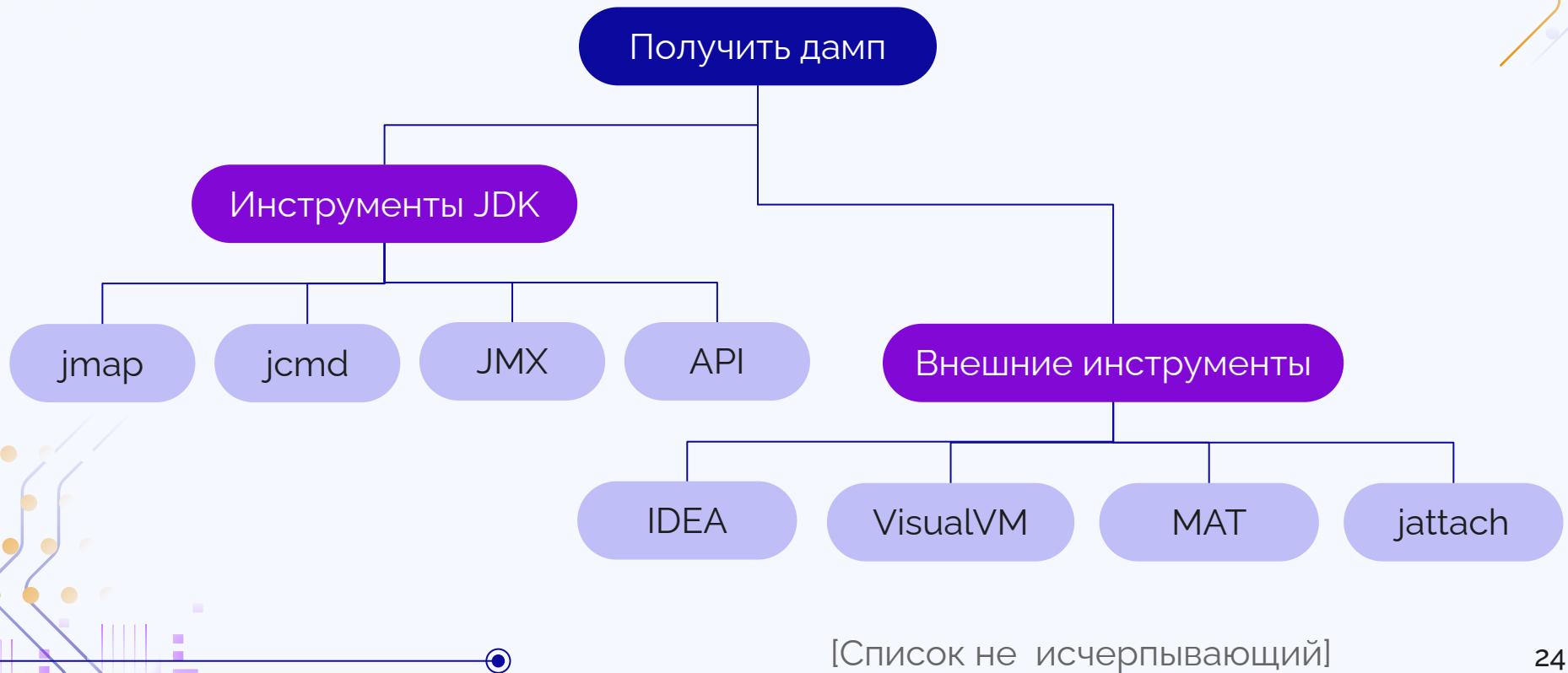
Когда есть проблема
или её предчувствие

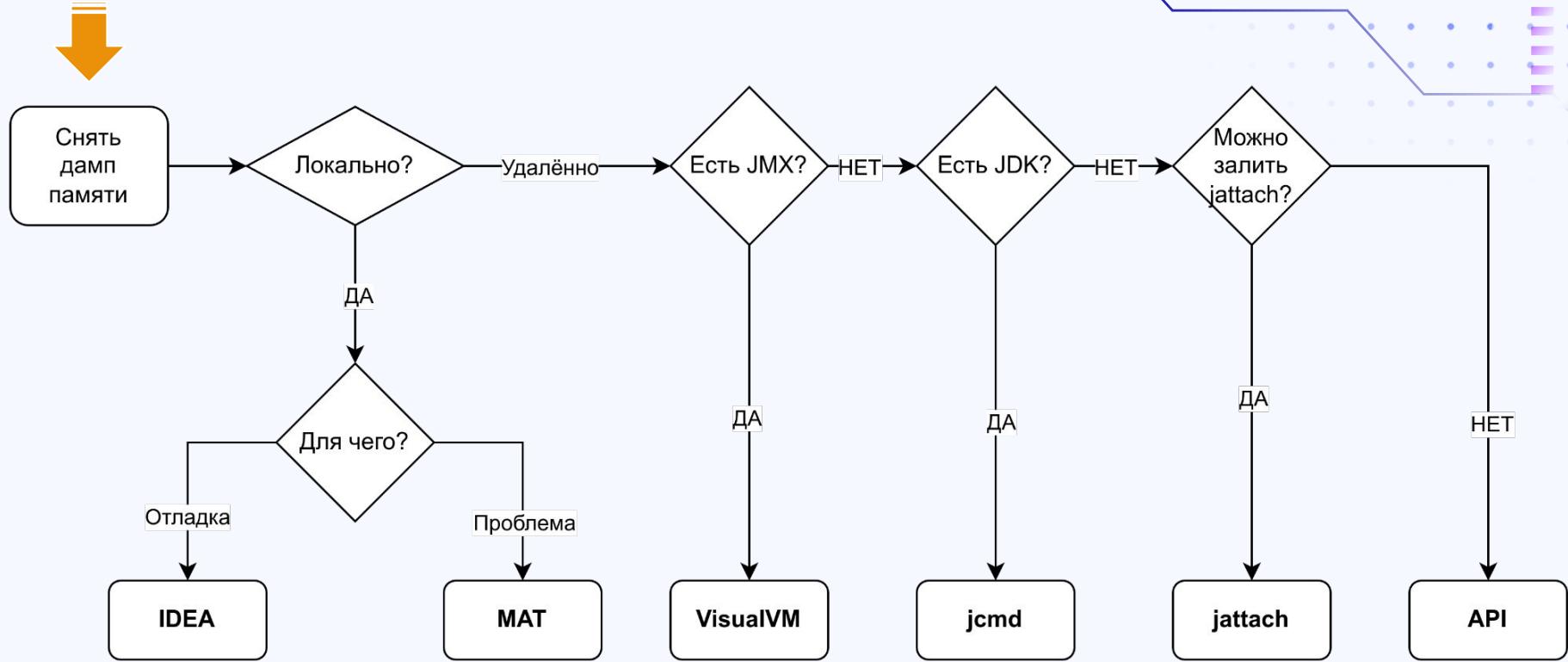


Автоматически

Когда случается
OutOfMemoryError

Снятие дампов по запросу





Примерный порядок выбора инструмента
для снятия дампа по запросу

Снятие дампов автоматически

- Через JVM-опцию `-XX:+HeapDumpOnOutOfMemoryError`
- По умолчанию сохраняет в `./java_pid<pid>.hprof`
 - ◆ но можно поменять: `-XX:HeapDumpPath=path`
 - ◆ `%p` в пути заменяется на PID процесса
- Срабатывает при любом ООМ (оны бывают разными)

Предостережение 1

Снятие дампа может
надолго заморозить
приложение (до минут)

Можно ускорить за счёт:

- Отключения FullGC
- Включения сжатия
- Снятия core dump (см. далее)



Предостережение 2

Вместе с дампом
могут сохраниться
конфиденциальные
данные

Можно его обfuscировать:
→ Штукой от PayPal
→ Экспортом из Eclipse MAT



Терминология

Вокруг кучи и её дампа

GC Roots

- Отправные точки для сборщика мусора (GC)
- Не удаляются сборщиком
- Не дают удалять свои зависимые* объекты

* зависимость бывает разной



Разновидности ссылок

- **Strong** (обычные) – не дают GC убрать объект
- **Weak** – дают убрать объект на любой чистке
- **Soft** – дают убрать объект в некоторых случаях
- **Phantom** – те же Weak, но нужны для отслеживания момента финализации

Разновидности GC Roots

Используемые классы

И объявленные в них
статические переменные

Активные потоки

Не достигшие состояния
TERMINATED

Локальные переменные

В том числе
аргументы методов

Мониторы синхронизации

Пока они кем-то
захвачены

другие



Размеры объектов в дампе

- **Shallow size** – собственный размер объекта
 - ◆ без учёта размера зависимых объектов
- **Retained size** – размер объекта и всех **полностью** зависимых объектов
 - ◆ т.е. объём памяти, который освободится, если удалить этот объект вместе с **его** поддеревом

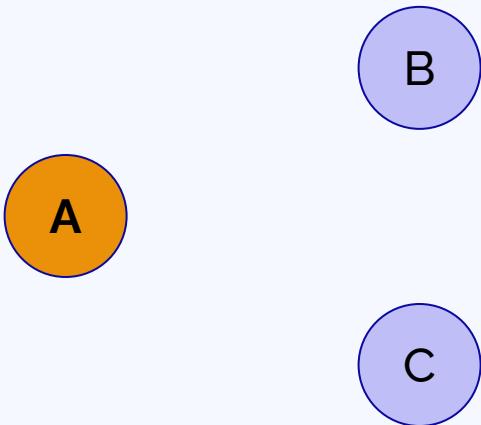
Размеры объектов в дампе

приблизительные...

“Most of the HPROF-based tools
have problems with deducing
the actual instance footprint ...
which can lead the analysis
in the wrong direction.”

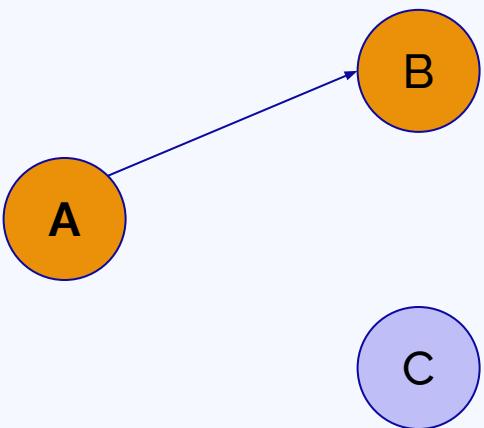
– <https://shipilev.net/blog/2014/heapdump-is-a-lie/>

Различия между shallow и retained



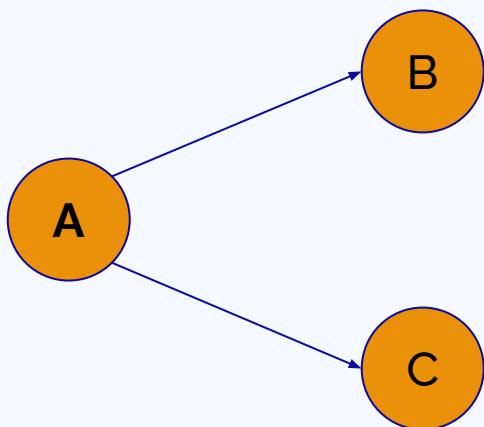
```
retained(A) = shallow(A)
```

Различия между shallow и retained

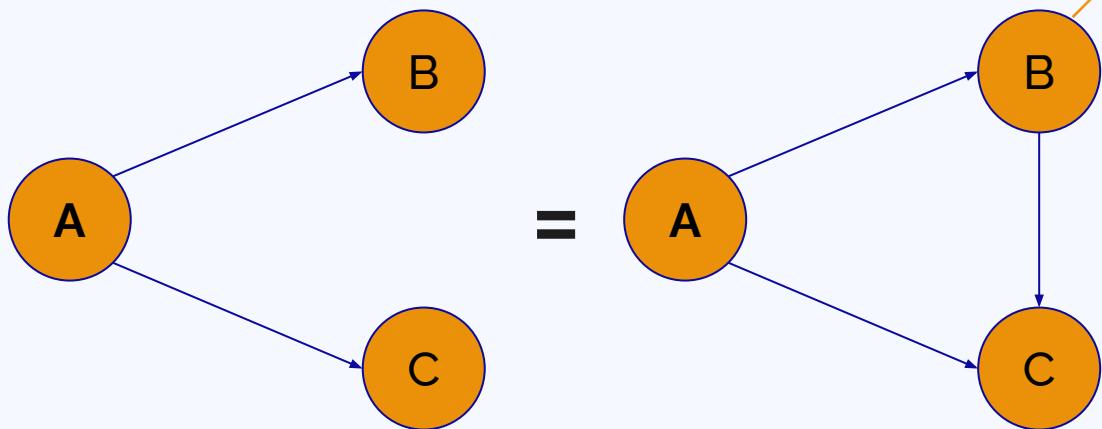


$$\begin{aligned}\text{retained}(A) &= \text{shallow}(A) + \text{shallow}(B) \\ &= \text{shallow}(A) + \text{retained}(B)\end{aligned}$$

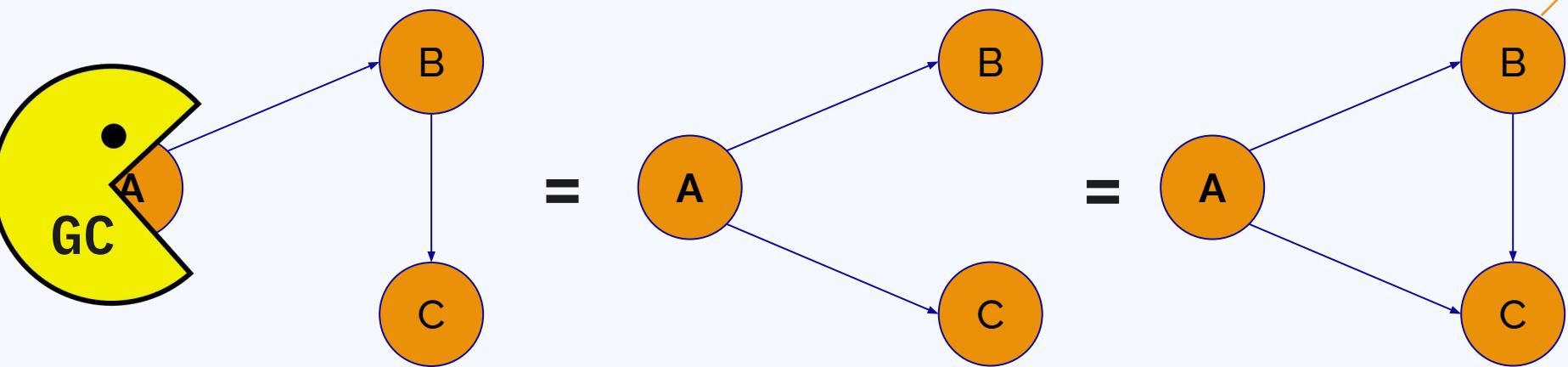
Различия между shallow и retained


$$\text{retained}(A) = \text{shallow}(A) + \text{shallow}(B) + \text{shallow}(C)$$

Различия между shallow и retained

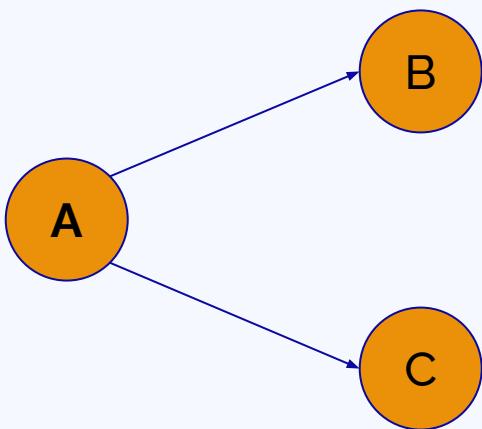

$$\text{retained}(A) = \text{shallow}(A) + \text{shallow}(B) + \text{shallow}(C)$$

Различия между shallow и retained

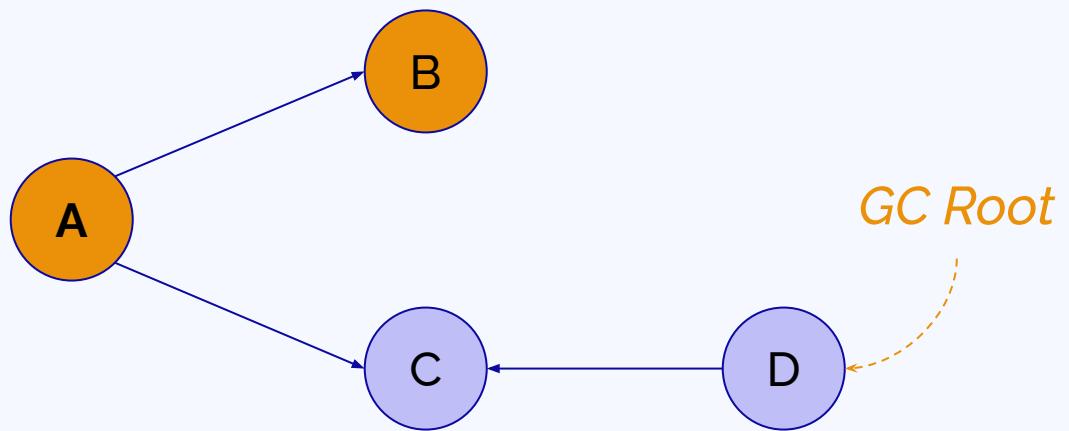


$$\text{retained}(A) = \text{shallow}(A) + \text{shallow}(B) + \text{shallow}(C)$$

Различия между shallow и retained

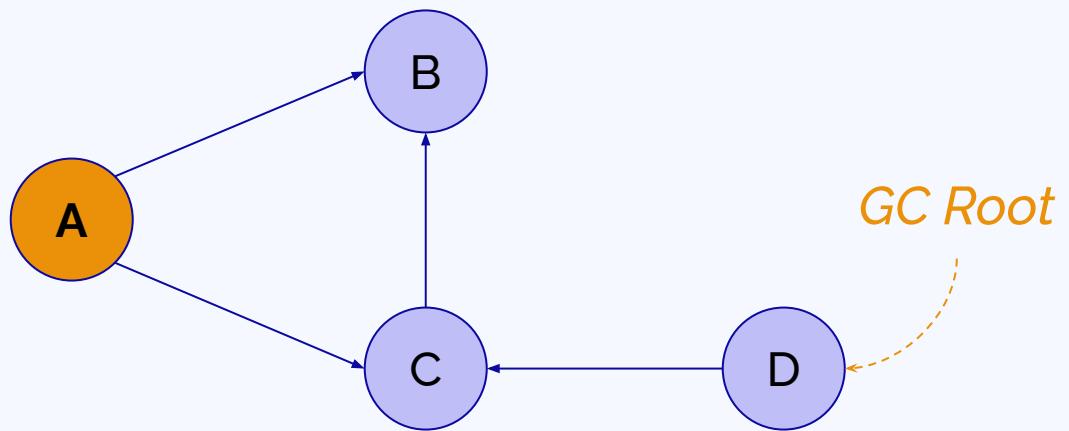

$$\text{retained}(A) = \text{shallow}(A) + \text{shallow}(B) + \text{shallow}(C)$$

Различия между shallow и retained



$\text{retained}(A) = \text{shallow}(A) + \text{shallow}(B) + \cancel{\text{shallow}(C)}$

Различия между shallow и retained



$\text{retained}(A) = \text{shallow}(A) + \cancel{\text{shallow}(B)} + \cancel{\text{shallow}(C)}$

Выводы о размерах объектов

- Retained size экземпляра, у которого нет ни одной ссылки на другие экземпляры или все они равны null, равен своему же shallow size
- Retained size экземпляра класса может быть сильно меньше простой суммы размеров его полей



**Небось опять
о своих бабах
думает**

**Почему в колонке
retained сумма
вообще не бьётся?**



Размышления вслух

Вопрос



Если простой сумме размеров полей нельзя верить, то как увидеть “чистый” состав объекта с т.з. retained size?

Ответ

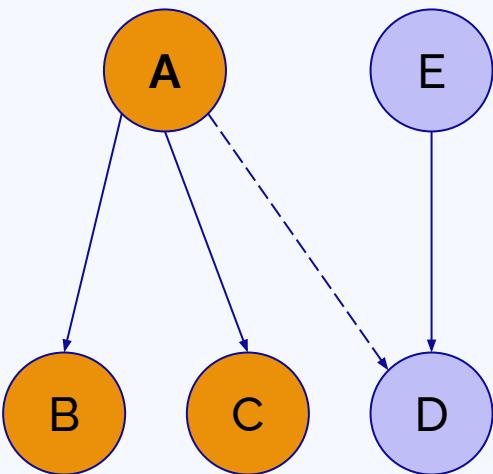
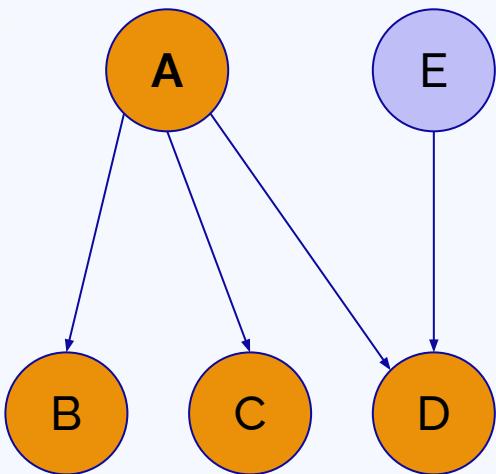


Нужно ввести такое **представление графа**, в котором для рассматриваемого объекта будут видны только те его поля, которые **вносят вклад** в retained size.

Знакомтесь: Dominator Tree

- Разновидность **трансформации** графа объектов
- **Цель**: подсветить объекты, от которых больше всего зависят retained-размеры других
- **Упрощённо**: отфильтрованный граф, в котором видны только ссылки, входящие в retained size

Object Graph vs Dominator Tree



В графе объектов есть **все поля** всех классов.

В дереве доминаторов нет полей, на объекты которых
ссылается **кто-то кроме текущего** объекта.

И зачем это всё?

GC Roots

Чтобы **понимать**, на чём “держится” куча

Retained size

Чтобы **оценивать** “влияние” объектов на размер кучи

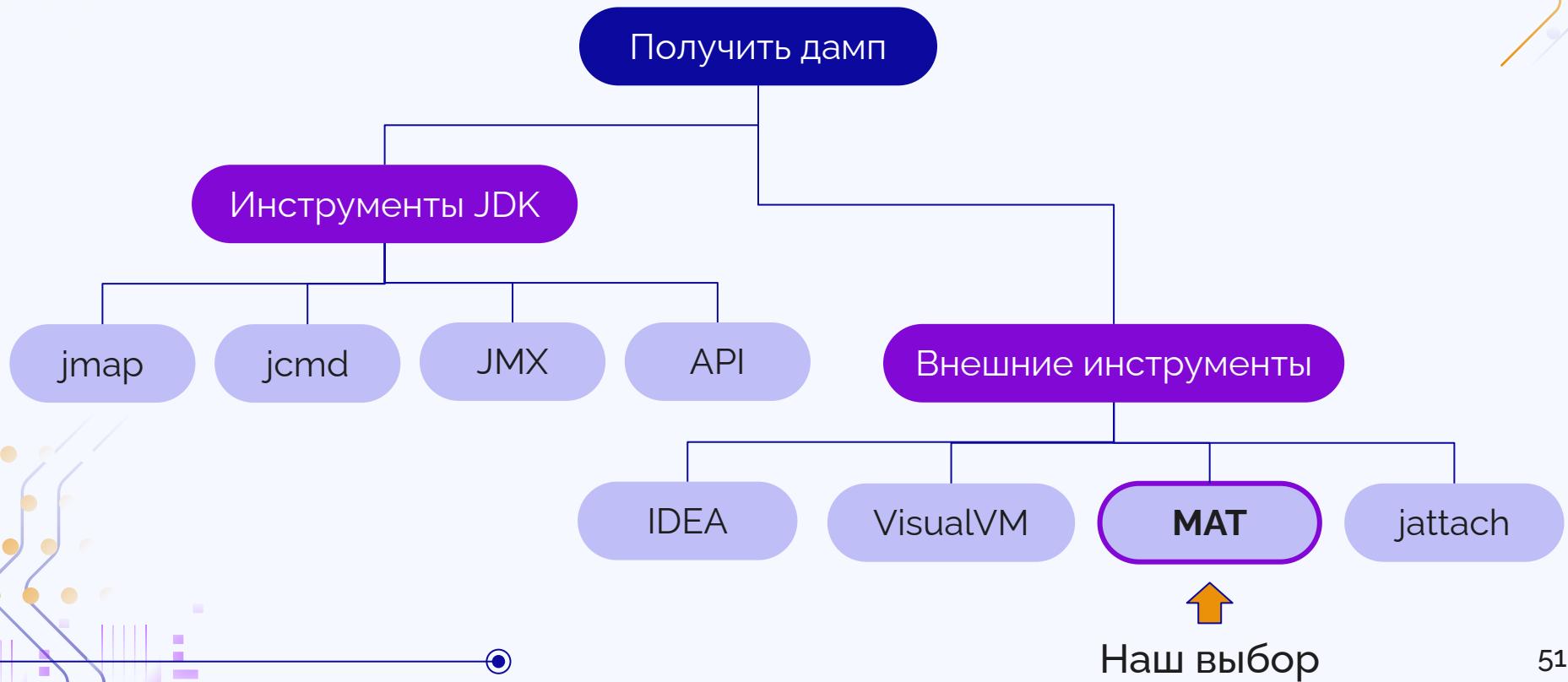
Типы ссылок

Чтобы **различать** “жёсткость” связей между объектами

Dominator tree

Чтобы **видеть** “чистую” структуру зависимостей

Инструменты для снятия дампов



Eclipse MAT

Основной инструмент для анализа дампов памяти

Eclipse MAT

- Полное имя: Eclipse Memory Analyzing Tool
 - ◆ построен на Eclipse Equinox Platform
 - ◆ <https://eclipse.dev/mat/downloads.php>
- Поддерживает разные способы **снятия** дампов
- Для **анализа** требует предварительного парсинга
 - ◆ В помощь есть скрипт ParseHeapDump

Acquire Heap Dump Dialog

Acquire a heap dump from a locally running Java process.

Choose a local process:

Description	PID	Heap Dump Provider
sun socket : com.intellij.idea.Main	16117	Attach API
sun socket : /home/vladimir/work/tools/mat//plu	46195	Attach API
sun socket : org.jetbrains.jps.cmdline.Launcher /s	94849	Attach API
sun socket : com.intellij.idea.Main	16117	Attach API using a helper JVM
sun socket : /home/vladimir/work/tools/mat//plu	46195	Attach API using a helper JVM
sun socket : org.jetbrains.jps.cmdline.Launcher /s	94849	Attach API using a helper JVM
com.intellij.idea.Main	16117	HPROF jmap dump provider
/home/vladimir/work/tools/mat//plugins/org.ecl	46195	HPROF jmap dump provider
org.jetbrains.jps.cmdline.Launcher /snap/intelli-j-i	94849	HPROF jmap dump provider

Refresh

Configure...

“Механизмы”
снятия

Начни с этого

Снятие дампа **локально** через Eclipse MAT

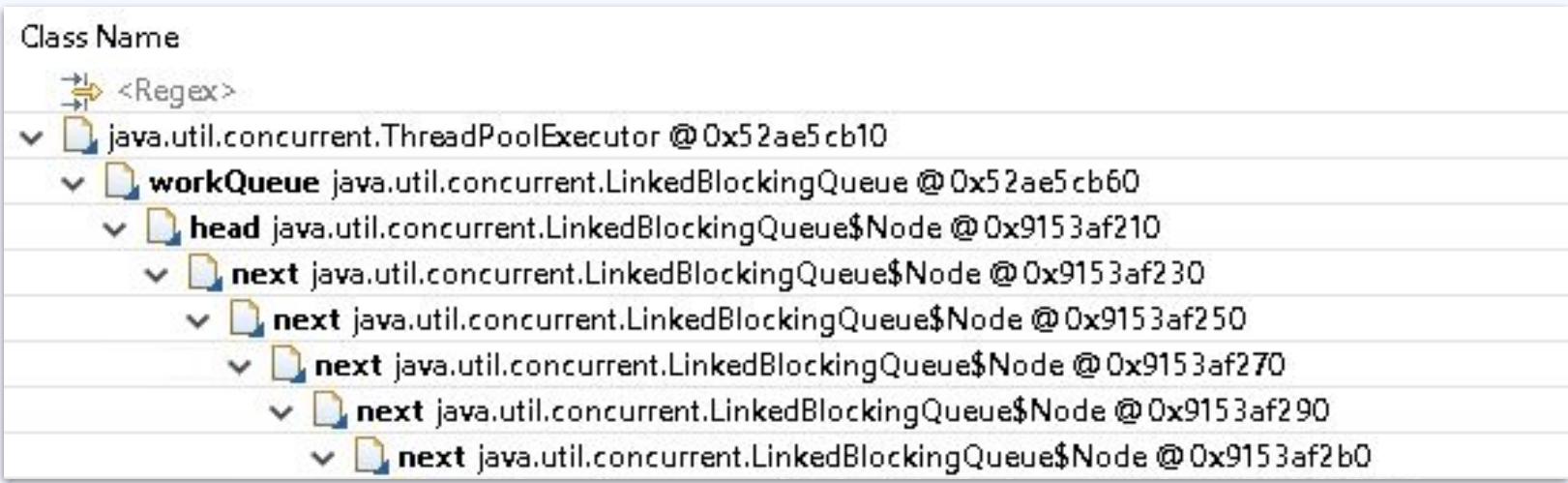
Навигация по графу объектов



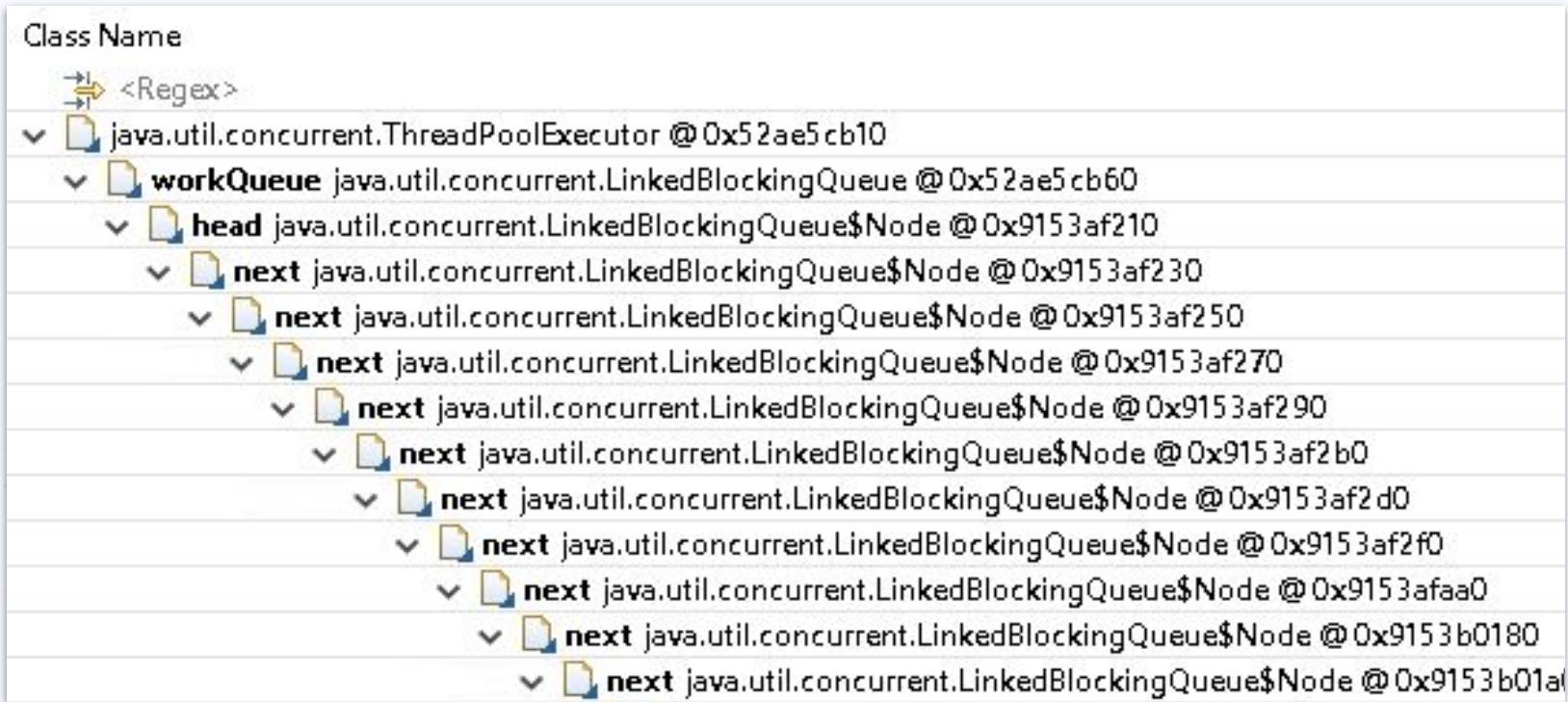
Навигация по графу объектов



Навигация по графу объектов

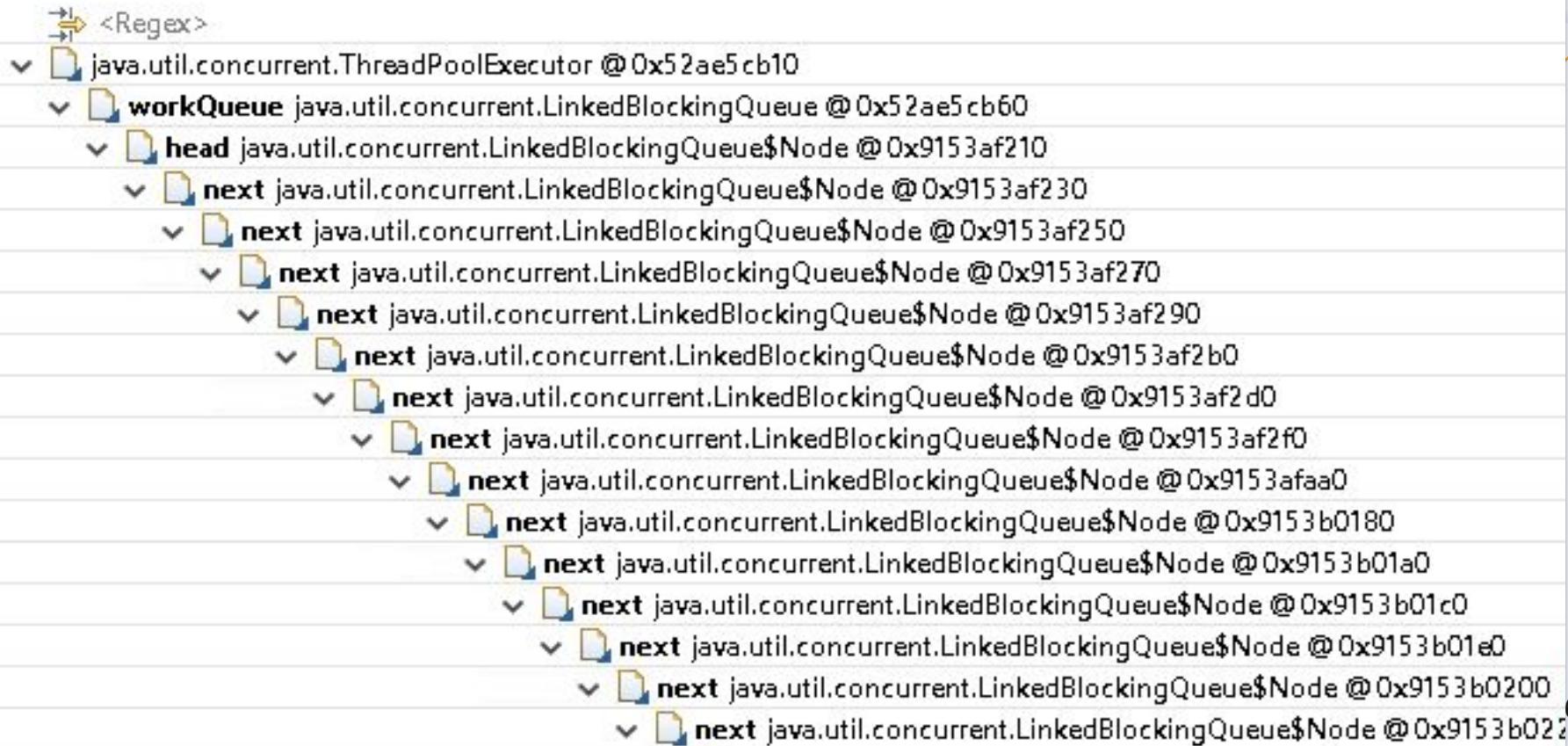


Навигация по графу объектов



Навигация по графу объектов

Class Name



Class Name:

```
<Regex>
java.util.concurrent.ThreadPoolExecutor @ 0x52ae5cb10
  workQueue java.util.concurrent.LinkedBlockingQueue @ 0x52ae5cb60
    head java.util.concurrent.LinkedBlockingQueue$Node @ 0x9153af210
      next java.util.concurrent.LinkedBlockingQueue$Node @ 0x9153af230
        next java.util.concurrent.LinkedBlockingQueue$Node @ 0x9153af250
          next java.util.concurrent.LinkedBlockingQueue$Node @ 0x9153af270
            next java.util.concurrent.LinkedBlockingQueue$Node @ 0x9153af290
              next java.util.concurrent.LinkedBlockingQueue$Node @ 0x9153af2b0
                next java.util.concurrent.LinkedBlockingQueue$Node @ 0x9153af2d0
                  next java.util.concurrent.LinkedBlockingQueue$Node @ 0x9153af2f0
                    next java.util.concurrent.LinkedBlockingQueue$Node @ 0x9153afaa0
                      next java.util.concurrent.LinkedBlockingQueue$Node @ 0x9153b0180
                        next java.util.concurrent.LinkedBlockingQueue$Node @ 0x9153b01a0
                          next java.util.concurrent.LinkedBlockingQueue$Node @ 0x9153b01c0
                            next java.util.concurrent.LinkedBlockingQueue$Node @ 0x9153b01e0
                              next java.util.concurrent.LinkedBlockingQueue$Node @ 0x9153b0200
                                next java.util.concurrent.LinkedBlockingQueue$Node @ 0x9153b0220
                                  next java.util.concurrent.LinkedBlockingQueue$Node @ 0x9153b0240
                                    next java.util.concurrent.LinkedBlockingQueue$Node @ 0x9153b0260
                                      next java.util.concurrent.LinkedBlockingQueue$Node @ 0x9153b0280
                                        next java.util.concurrent.LinkedBlockingQueue$Node @ 0x9153b02a0
                                          next java.util.concurrent.LinkedBlockingQueue$Node @ 0x9153b02c0
                                            next java.util.concurrent.LinkedBlockingQueue$Node @ 0x9153b02e0
                                              next java.util.concurrent.LinkedBlockingQueue$Node @ 0x9153b0300
                                                next java.util.concurrent.LinkedBlockingQueue$Node @ 0x9153b0320
                                                  next java.util.concurrent.LinkedBlockingQueue$Node @ 0x9153b0340
                                                    next java.util.concurrent.LinkedBlockingQueue$Node @ 0x9153b0360
                                                      next java.util.concurrent.LinkedBlockingQueue$Node @ 0x9153b0380
                                                        next java.util.concurrent.LinkedBlockingQueue$Node @ 0x9153b03a0
                                                          next java.util.concurrent.LinkedBlockingQueue$Node @ 0x9153b03c0
                                                            next java.util.concurrent.LinkedBlockingQueue$Node @ 0x9153b03e0
                                                              next java.util.concurrent.LinkedBlockingQueue$Node @ 0x9153b0400
                                                                next java.util.concurrent.LinkedBlockingQueue$Node @ 0x9153b0420
                                                                  next java.util.concurrent.LinkedBlockingQueue$Node @ 0x9153b0440
                                                                    next java.util.concurrent.LinkedBlockingQueue$Node @ 0x9153b0460
                                                                      next java.util.concurrent.LinkedBlockingQueue$Node @ 0x9153b0480
                                                                        next java.util.concurrent.LinkedBlockingQueue$Node @ 0x9153b04a0
                                                                          next java.util.concurrent.LinkedBlockingQueue$Node @ 0x9153b04c0
                                                                            next java.util.concurrent.LinkedBlockingQueue$Node @ 0x9153b04e0
```



Основные разделы Eclipse MAT

Overview

Схоже с Top Consumers

Dominator Tree

Знакомый термин, да?

Histogram

Просто и ясно

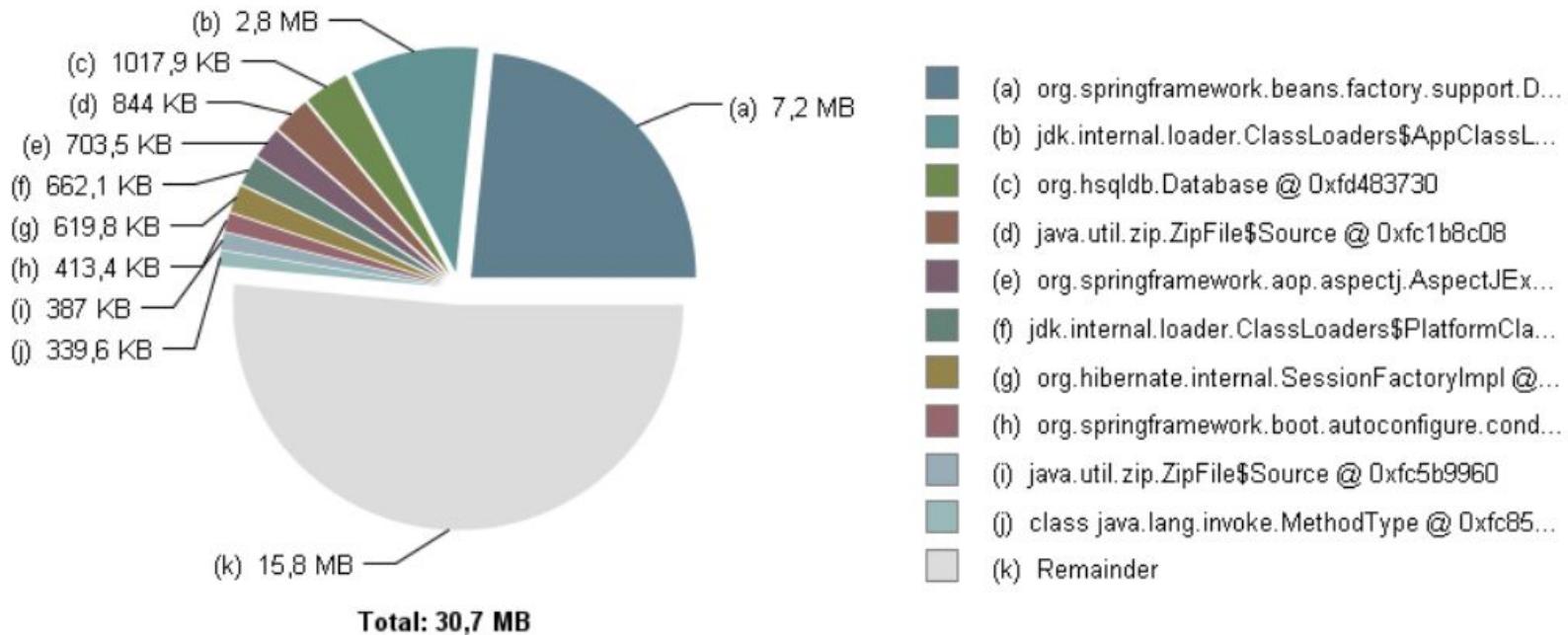
Threads

Не только состояния



Top Consumers

▼ Biggest Objects (Overview)



Top Consumers – разбивка объектов в куче по retained size

dominator_tree

Class Name	Shallow Heap	Retained Heap	Percentage
	<Numeric>	<Numeric>	<Numeric>
> <Regex>			
> org.springframework.beans.factory.support.DefaultListableBeanFactory @ 0xfc001e0	224	7 523 176	23,41 %
> jdk.internal.loader.ClassLoaders\$AppClassLoader @ 0xfc600468	96	2 971 528	9,24 %
> org.hsqldb.Database @ 0xfd483730	160	1 042 344	3,24 %
> java.util.zip.ZipFile\$Source @ 0xfc1b8c08	80	864 208	2,69 %
> org.springframework.aop.aspectj.AspectJExpressionPointcut @ 0xfd03da68	48	720 400	2,24 %
> jdk.internal.loader.ClassLoaders\$PlatformClassLoader @ 0xfc6004d0	96	677 952	2,11 %
> org.hibernate.internal.SessionFactoryImpl @ 0xfd0aa2608	120	634 672	1,97 %
> org.springframework.boot.autoconfigure.condition.ConditionEvaluationReport @ 0xfccb47a0	32	423 344	1,32 %
> java.util.zip.ZipFile\$Source @ 0xfc5b9960	80	396 336	1,23 %
> class java.lang.invoke.MethodType @ 0xfc855aa8	48	347 776	1,08 %
> java.util.zip.ZipFile\$Source @ 0xfc2966b0	80	226 128	0,70 %
> class sun.util.locale.BaseLocale\$Cache @ 0xfc559d68	8	209 864	0,65 %

→ Dominator Tree – более общее представление Top Consumers

◆ Может иметь группировку по классам, пакетам и classloader'ам

Histogram X

Class Name

Objects

Shallow Heap

Retained Heap

*petclinic.[\w.]+

Можно фильтровать регулярками

<Numeric>

<Numeric>

<Numeric>

C org.springframework.samples.petclinic.repository.jdbc.JdbcPet

13

624

>= 1 288

C org.springframework.samples.petclinic.model.Owner

10

400

>= 456

C org.springframework.samples.petclinic.model.PetType

6

144

>= 144

C org.springframework.samples.petclinic.rest.controller.PetRestController

1

40

>= 88

C org.springframework.samples.petclinic.service.ClinicServiceImpl

1

40

>= 40

C org.springframework.samples.petclinic.service.perf.memory.PortfolioService

1

32

>= 2 496

C org.springframework.samples.petclinic.rest.controller.OwnerRestController

1

32

>= 88

C org.springframework.samples.petclinic.repository.jdbc.JdbcPetRepositoryImpl

1

32

>= 4 088

C org.springframework.samples.petclinic.rest.controller.VetRestController

1

32

>= 88

C org.springframework.samples.petclinic.rest.controller.VisitRestController

1

24

>= 56

C org.springframework.samples.petclinic.rest.controller.UserRestController

1

24

>= 24

→ Histogram – общая разбивка объектов по классам

- ◆ Удобно для быстрой проверки наличия и числа объектов
- ◆ Может применяться к другим представлениям (Show as histogram)

Object / Stack Frame	Name	Shallow Heap	Retained Heap	Max. Locals' Retained Heap
	logback-2.	<Numeric>	<Numeric>	<Numeric>
↳ <Regex>				
java.lang.Thread @ 0xfc8a59c8	logback-2	104	216	
at jdk.internal.misc.Unsafe.park(ZJ)V (Unsafe.java(Native Method))				
at java.util.concurrent.locks.LockSupport.park()V (LockSupport.java:371)				
> at java.util.concurrent.locks.AbstractQueuedSynchronizer\$ConditionNode				32
> at java.util.concurrent.ForkJoinPool.unmanagedBlock(Ljava/util/concurrent/ForkJoinPool\$Worker;)V (ForkJoinPool.java:325)				32
> at java.util.concurrent.ForkJoinPool.managedBlock(Ljava/util/concurrent/ForkJoinPool\$Worker;)V (ForkJoinPool.java:325)				
> at java.util.concurrent.locks.AbstractQueuedSynchronizer\$ConditionObject				
< at java.util.concurrent.ScheduledThreadPoolExecutor\$DelayedWorkQueue\$DelayedWorkTask				
> <Java Local> java.util.concurrent.ScheduledThreadPoolExecutor\$DelayedWorkQueue\$DelayedWorkTask	32	112		
> <Java Local> java.util.concurrent.locks.ReentrantLock @ 0xfc8a5a78	16	16		
Σ Total: 2 entries				
> at java.util.concurrent.ScheduledThreadPoolExecutor\$DelayedWorkQueue\$DelayedWorkTask				112
> at java.util.concurrent.ThreadPoolExecutor.getTask()Ljava/lang/Runnable;				408

Видно локальные переменные

→ **Threads** – сводка потоков как объектов

◆ Примерно как thread dump, только гораздо подробнее

Круто, но...

- Каждый раздел удобен в **своих** случаях
- А если у меня **особый** случай?
- Что если об источнике проблемы
неизвестно ничего, кроме факта существования?



Нужен способ делать **любые запросы** к дампу

Кучно-реляционный маппинг

Heap Dump		Реляционная СУБД
Дамп	↔	Схема (база)
Класс	↔	Таблица
Экземпляр класса	↔	Строка таблицы
Поле класса	↔	Столбец таблицы

“Writing queries can be a bit of **an art**,
with some **trial and error** required.”

-
- https://wiki.eclipse.org/MemoryAnalyzer/OQL#Writing_Qualifiers

Специфика SQL для дампов

- Свойства объектов в дампе – синтетические столбцы
- Для учёта наследования классов – особый синтаксис
- Сравнивать строки – только через обёртку `toString()`
 - ◆ потому что строка – внезапно тоже объект `\"_(`_)_`
- ...

2 инструмента запросов в МАТ

Фича\Инструмент	OQL	Calcite SQL
Происхождение	<u>Встроен</u> в МАТ	<u>Внешний</u> плагин
Движок	(n/a)	<u>Apache Calcite</u> (<u>JDBC</u>)
Поддержка JOIN	Нет*	Есть
Функции count/avg/sum/...	Нет	Есть
GROUP BY / ORDER BY	Нет*	Есть

* Можно сделать косвенно





Eclipse MAT Calcite SQL Plugin

Найти все дублирующиеся URLs:

```
SELECT toString(u.file) AS file_str,  
       count(*) AS cnt,  
       sum(retainedSize(u.this)) AS sum_retained  
  FROM java.net.URL u  
 GROUP BY toString(u.file)  
 HAVING count(*) > 1  
 ORDER BY sum(retainedSize(u.this)) DESC
```

<https://github.com/vlsi/mat-calcite-plugin?tab=readme-ov-file#sample>

Особенности Calcite SQL

- Ссылка на текущий объект – `this`
- Синтетические свойства – через префикс `@`
- Классы-наследники – через префикс `instanceof.`
- Вложенные поля – как элементы `MAP`'ы

Особенности Calcite SQL

Найти классы всех питомцев младше* 2020-го года:

```
SELECT p.name AS "Name",
       p.this['birthDate']['year'] AS "Year",
       p.this['@className'] AS "Class"
FROM instanceof.org.springframework.samples.petclinic.model.Pet p
WHERE p.this['birthDate']['year'] > 2020
```

* Поле birthDate имеет тип LocalDate

А иголку в стоге сена можете?

```
SELECT u.username, u.password  
FROM "org.springframework.security.core.userdetails.User" u  
WHERE toString(u.username) = 'user'
```

username	password
user	{noop}43a10e2d-4aae-4aa4-b9f2-cc9fda7a2241



Размышления вслух

Вопрос



Если MAT Calcite SQL настолько похож на “настоящий” SQL, то нельзя ли доверить его генерацию нейросети?

Ответ



Можно, при условии, что в состав промпта войдёт **описание схемы** БД (дампа) в виде набора DDL-выражений, а сама модель будет **знать диалект** MAT Calcite SQL.



Фрагмент DDL дампа памяти

```
-- table with entities of type 'Pet'  
CREATE TABLE "org.springframework.samples.petclinic.model.Pet" (  
    this INTEGER PRIMARY_KEY,          -- unique ID for each entity  
    birthDate INTEGER,               -- can be joined with "...LocalDate" on 'this'  
    type INTEGER,                   -- can be joined with "...model.PetType" on 'this'  
    owner INTEGER,                  -- can be joined with "...model.Owner" on 'this'  
    visits INTEGER,  
    name VARCHAR(1024),  
    id INTEGER  
);
```

Да, ChatGPT читает комментарии.

а ты? о_о

Пример запроса через ChatGPT (1)

> *Who the Max cat belongs to?*

```
SELECT o.firstName, o.lastName  
FROM "org.springframework.samples.petclinic.model.Owner" o  
    JOIN "org.springframework.samples.petclinic.model.Pet" p  
        ON o.this = p.owner  
    JOIN "org.springframework.samples.petclinic.model.PetType" pt  
        ON p.type = pt.this  
WHERE toString(p.name) = 'Max' AND toString(pt.name) = 'cat'
```

Пример запроса через ChatGPT (1)

> *Who the Max cat belongs to?*

firstName	lastName

Jean	Coleman

Экспортированный результат из MAT

Пример запроса через ChatGPT (2)

> *Who is the oldest animal in our clinic?*

```
SELECT p.name, toString(pt.name) AS type, MIN(bd."year") AS birthYear
FROM "org.springframework.samples.petclinic.model.Pet" p
    JOIN "java.time.LocalDate" bd ON p.birthDate = bd.this
    JOIN "org.springframework.samples.petclinic.model.PetType" pt
        ON p.type = pt.this
GROUP BY p.name, toString(pt.name)
ORDER BY MIN(bd."year") ASC
FETCH FIRST 1 ROWS ONLY
```

Пример запроса через ChatGPT (2)

> *Who is the oldest animal in our clinic?*

name	type	birthYear

Mulligan	dog	2007

Экспортированный результат из MAT

Подробнее о Calcite SQL Plugin



Владимир
Ситников

Анализ
дампов памяти
Java-приложений



<https://youtu.be/t-WyfS9a7k?si=gMganDpBRYHKZaE4>

Попутное резюме по дампам

- Снимать с осторожностью
 - ◆ помня про замирание и секреты
- Открывать в Eclipse MAT
 - ◆ закладывая время на парсинг
- Смотреть на retained size
 - ◆ сортируя через dominator tree
- Делегировать LLM генерацию запросов
 - ◆ потягивая смузи трубочкой



Альтернативы

Снятию дампа и его анализу

Что не так с дампом?

- Снятие аффектит приложение
- Размер может быть большим
- Перед анализом нужен парсинг
- Некоторые действия не автоматизируемы

Плохая
повторяемость



Далеко не всегда нужен снимок всей кучи

Альтернатива 1: гистограмма

- Гистограмма классов может многое прояснить
- Для её получения не обязательно снимать дамп

```
$ jcmd <PID> GC.class_histogram
```

num	#instances	#bytes	class name (module)

1:	96283	10526160	[B
2:	93557	2993824	j.u.c.ConcurrentHashMap\$Node
3:	92015	2208360	java.lang.String
...			

[jcmd](#) / [jattach](#)

Альтернатива 2: аллокации (JFR)

- Бывает нужно понять, **как** были созданы объекты
- Для этого дамп не обязателен (а порой и бесполезен)
- Нужно захватывать **стектрейсы** аллокаций
- Можно применить Java Flight Recorder

Альтернатива 2: аллокации (JFR)

Запись аллокаций нужно включить явно:

- Через настройки в Mission Control
- Через командную строку
- Через файл конфигурации *.jfc

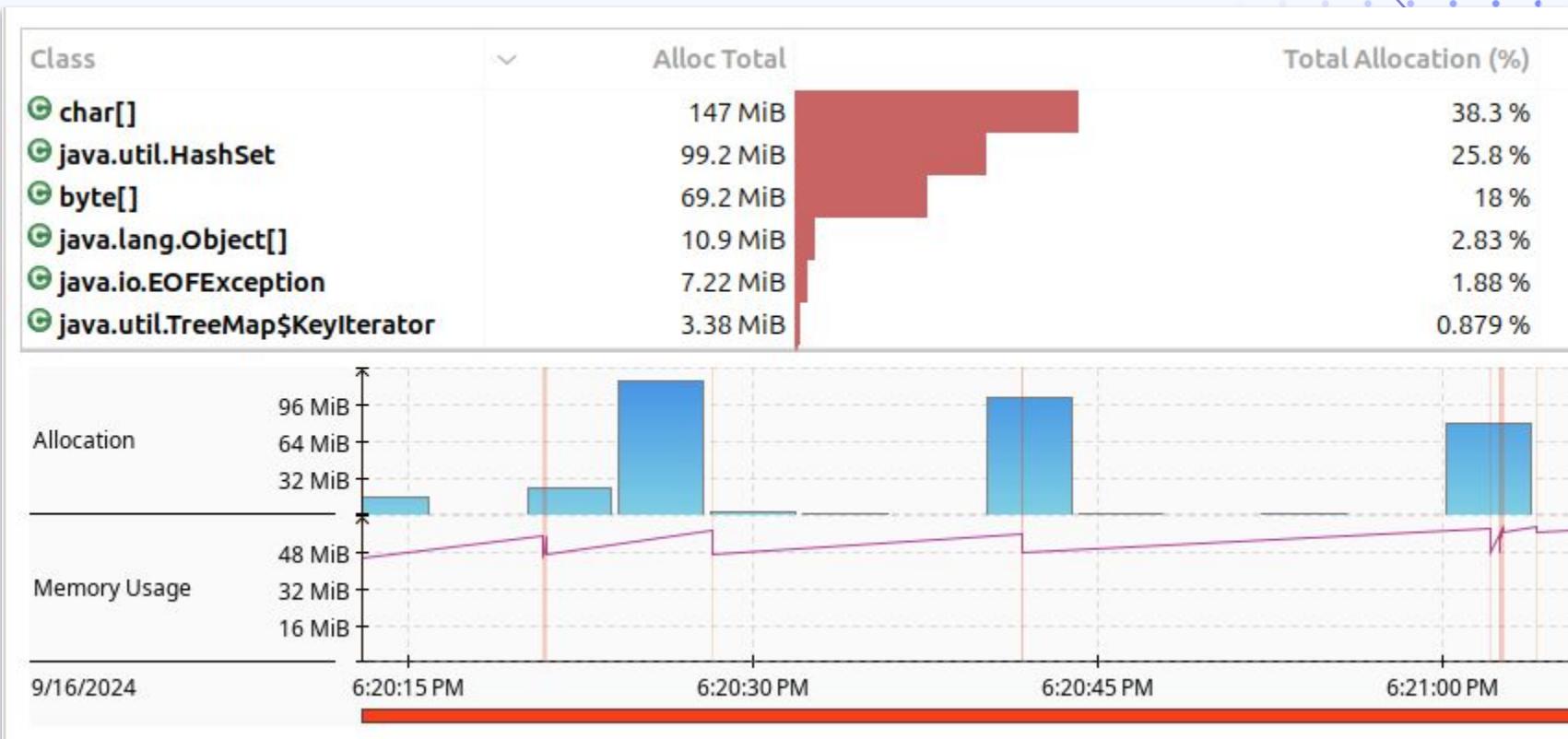


*Любым способом,
результат одинаков*

Event Details for Settings for 'My Recording'
Inspect and/or change the settings.

Filter: **Allocation**

- ✓ Java Application
 - ✓ Statistics
 - ✓ Thread Allocation Statistics
 - ↳ Enabled=true
 - ↳ Period=everyChunk
 - ✓ Allocation in new TLAB
 - ↳ Enabled=false
 - ↳ Stack Trace=true
 - ✓ Allocation outside TLAB
 - ↳ Enabled=false
 - ↳ Stack Trace=true
 - ✓ Object Allocation Sample
 - ↳ Enabled=true
 - ↳ Event Emission Throttle=150/s
 - ↳ Stack Trace=true

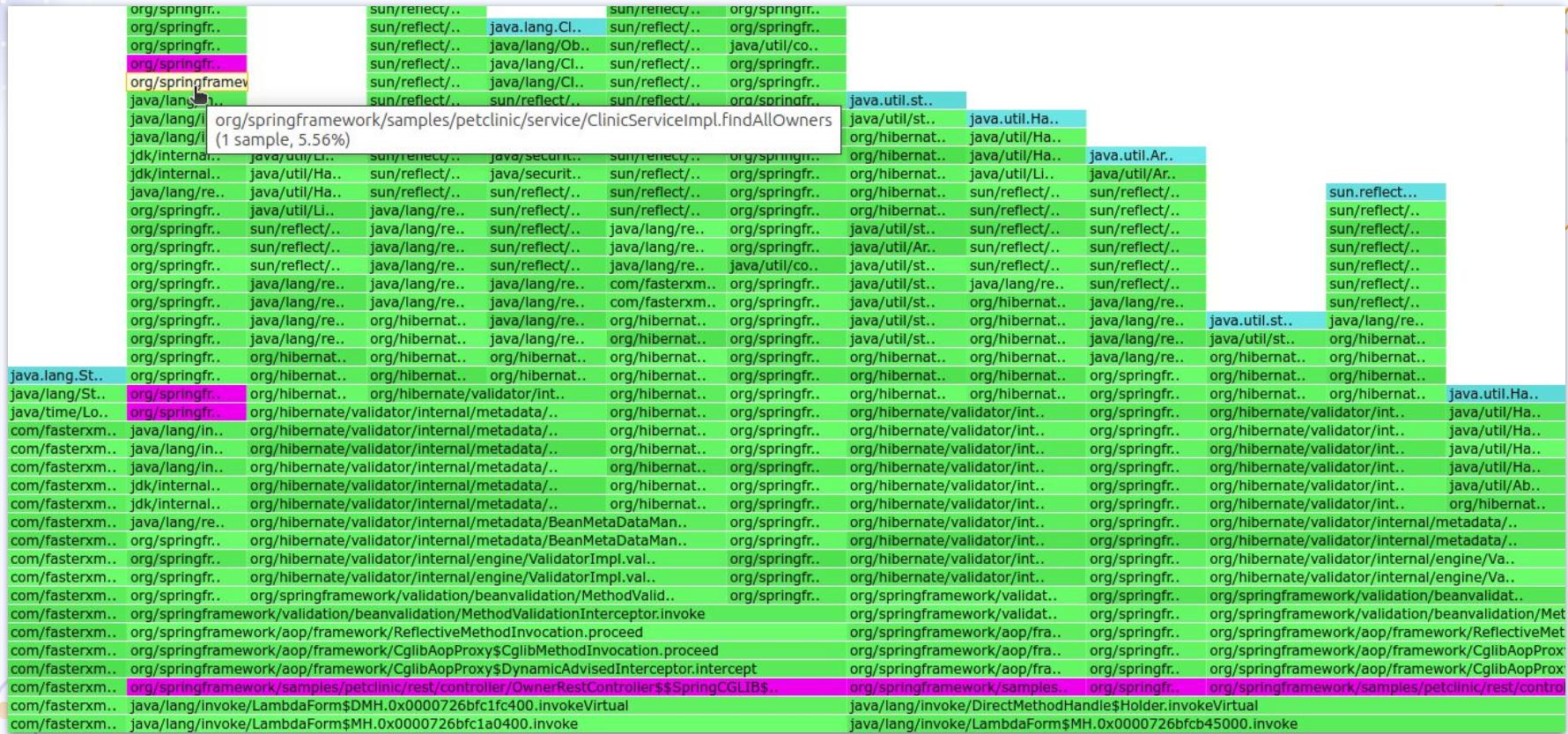


Результат: раздел **Memory** в Mission Control

Альтернатива 3: аллокации (ASPROF)

- Вместо JFR можно взять async-profiler
- И включить запись событий **alloc**
- Интервал профилирования можно менять
 - ◆ например, **--alloc 1M** запишет сэмпл при аллокации >1 МБ
- Результаты удобно экспортовать в JFR или HTML

```
$ asprof -d 60 -e alloc -f flame.html <PID>
```



Результат: flame graph (HTML) с аллокациями

Альтернатива 4: захват “на лету”

- Когда нужно увидеть значения переменных “**в живую**”
- Это как навтыкать `System.out.println()`
 - ◆ только в уже запущенном приложении
- Такое можно сделать с помощью btrace
 - ◆ а ещё jmint, но не на production

Основы применения BTrace

1. Пишем т.н. **trace script** – класс-пробник
2. Подключаем его к JVM
 - a. Либо на лету
 - b. Либо при старте
3. Ловим результаты (в консоли или файле)
4. Повторяем, если надо

@BTrace

```
public class Tracer {  
    @OnMethod(clazz = "+org.rrd4j.core.RrdPrimitive",  
              method = "writeDouble", type = "void (int, double, int)")  
    public static void writeDouble(  
        @ProbeMethodName(fqn = true) String methodName,  
        @Self Object rrdDoubleArray,  
        int index, double value, int count) {  
        String pointer = str(Reflective.getLong("pointer", rrdDoubleArray));  
        println("Arguments: pointer=" + pointer +  
               ", index=" + index + ", value=" + value + ", count=" + count);  
        jstack();  
    }  
}
```

@BTrace

```
public class Tracer {  
    @OnMethod(clazz = "+org.rrd4j.core.RrdPrimitive",  
              method = "writeDouble", type = "void (int, double, int)")  
    public static void writeDouble(  
        @ProbeMethodName(fqn = true) String methodName,  
        @Self Object rrdDoubleArray,  
        int index, double value, int count) {  
        String pointer = str(Reflective.getLong("pointer", rrdDoubleArray));  
        println("Arguments: pointer=" + pointer +  
               ", index=" + index + ", value=" + value + ", count=" + count);  
        jstack();  
    }  
}
```

```
@BTrace
```

```
public class Tracer {  
  
    @OnMethod(clazz = "+org.rrd4j.core.RrdPrimitive",  
              method = "writeDouble", type = "void (int, double, int)")  
    public static void writeDouble(  
        @ProbeMethodName(fqn = true) String methodName,  
        @Self Object rrdDoubleArray,  
        int index, double value, int count) {  
  
        String pointer = str(Reflective.getLong("pointer", rrdDoubleArray));  
        println("Arguments: pointer=" + pointer +  
               ", index=" + index + ", value=" + value + ", count=" + count);  
        jstack();  
    }  
}
```

```
@BTrace
```

```
public class Tracer {  
    @OnMethod(clazz = "+org.rrd4j.core.RrdPrimitive",  
              method = "writeDouble", type = "void (int, double, int)")  
    public static void writeDouble(  
        @ProbeMethodName(fqn = true) String methodName,  
        @Self Object rrdDoubleArray,  
        int index, double value, int count) {  
  
        String pointer = str(Reflective.getLong("pointer", rrdDoubleArray));  
        println("Arguments: pointer=" + pointer +  
               ", index=" + index + ", value=" + value + ", count=" + count);  
        jstack();  
    }  
}
```

```
@BTrace
```

```
public class Tracer {  
    @OnMethod(clazz = "+org.rrd4j.core.RrdPrimitive",  
              method = "writeDouble", type = "void (int, double, int)")  
    public static void writeDouble(  
        @ProbeMethodName(fqn = true) String methodName,  
        @Self Object rrdDoubleArray,  
        int index, double value, int count) {  
        String pointer = str(Reflective.getLong("pointer", rrdDoubleArray));  
        println("Arguments: pointer=" + pointer +  
               ", index=" + index + ", value=" + value + ", count=" + count);  
        jstack();  
    }  
}
```

@BTrace

```
public class Tracer {  
    @OnMethod(clazz = "+org.rrd4j.core.RrdPrimitive",  
              method = "writeDouble", type = "void (int, double, int)")  
    public static void writeDouble(  
        @ProbeMethodName(fqn = true) String methodName,  
        @Self Object rrdDoubleArray,  
        int index, double value, int count) {  
        String pointer = str(Reflective.getLong("pointer", rrdDoubleArray));  
        println("Arguments: pointer=" + pointer +  
               ", index=" + index + ", value=" + value + ", count=" + count);  
        jstack();  
    }  
}
```

Альтернатива 5: dump, но не heap

- Heap dump можно получить из **core dump**:
 - ◆ “сырой слепок” адресного пространства процесса
 - ◆ делается силами ОС или внешнего инструмента (не JVM)
 - ◆ используется для отладки и troubleshooting'a

Способы получения core dump



По запросу

Когда нужно
заглянуть “в кишки”



Автоматически

Когда происходит
крах JVM

Получение core dump автоматически

→ Временно:

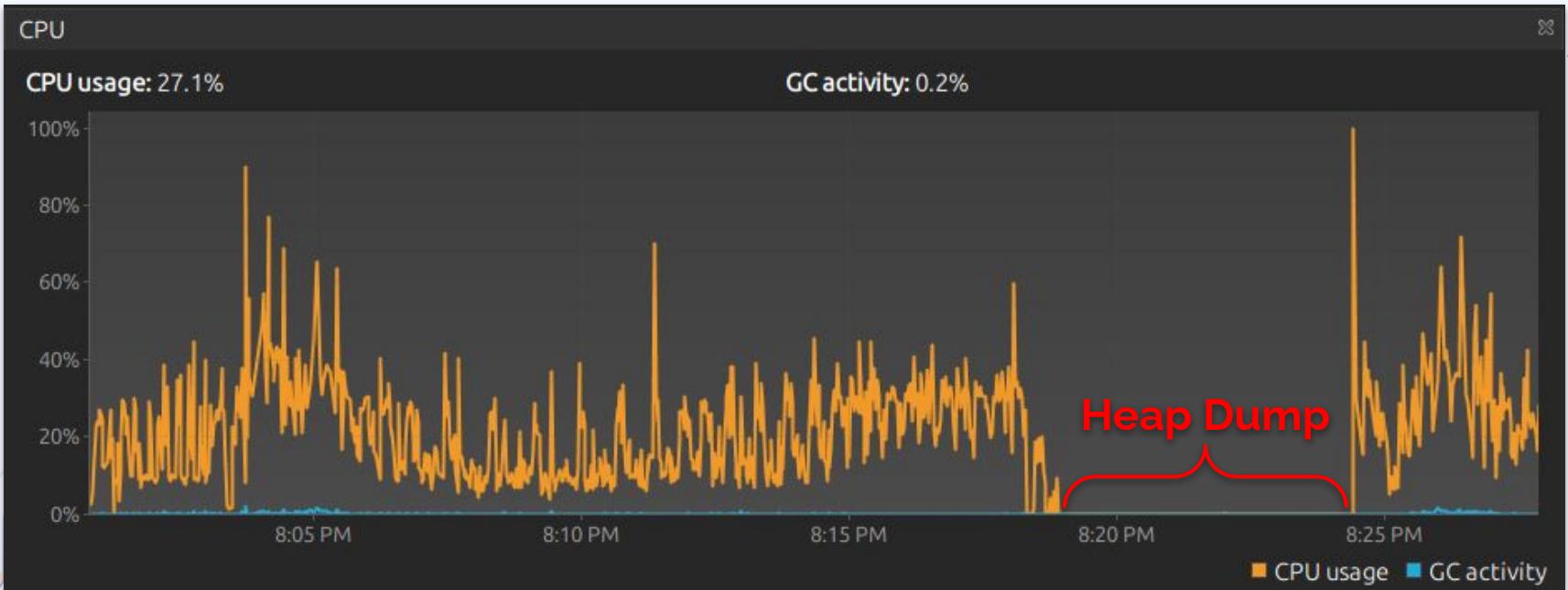
- ◆ `ulimit -S -c unlimited`

→ Постоянно (`sudo`):

- ◆ `echo "* soft core unlimited" >> /etc/security/limits.conf`

→ **Важно:** после краха память приложения может находиться в **неконсистентном** состоянии

Зачем снимать core вместо heap?



Получение core dump по запросу

Может быть **заметно быстрее**, чем heap dump.

Однако:

- Требует **отдельного** инструмента (gdb)
- Может отъесть **много места** на диске (VIRT MEM)
- Нет **гарантий** успешной конвертации в HPROF
 - ◆ зато есть пример успеха

Получение core dump по запросу

```
sudo apt install gdb          # установить отладчик  
sudo gdb -p <PID>           # подключиться к JVM  
  (gdb) gcore /tmp/jvm.core   # снять core dump  
  (gdb) detach                # отключиться от JVM  
  (gdb) quit                  # выйти из отладчика  
  
sudo jhsdb jmap --binaryheap \  
  --dumpfile /tmp/out.hprof \  
  --exe /usr/bin/java \  
  --core /tmp/jvm.core        # вызвать конвертер из JDK  
                            # выходной файл  
                            # путь к JVM  
                            # путь к core dump
```

Сводка альтернатив

- **jcmd <PID> GC.class_histogram**
 - ◆ когда надо проверить **состав классов**
- **JFR / AsyncProfiler**
 - ◆ когда надо выяснить точный **стектрейс** аллокации
- **BTrace**
 - ◆ когда нужно извлечь точные **значения** на горячую
- **Core dump**
 - ◆ когда надо снять **быстрее** или **после краха** JVM

Закругление

Резюме и выводы

Искать баги в дампах – это...



Где искать данные о памяти

При жизни

- Метрики JVM: **Used/Max Heap**
- Метрики ОС: **Resident Set Size (RSS)**
- Гистограмма классов
- Native Memory Tracking (**NMT**)
- Логи GC (-Xlog:gc)

Постмортем

- Записи в мониторинге
- Логи приложения и GC
- Heap dump
- Core dump
- Файлы hs_err_pid*

Takeaways

- Проблем с памятью не избежать, но можно **подготовиться**:
 - ◆ пропишите `HeapDumpOnOutOfMemoryError` уже сегодня
- Анализировать дампы лучше в Eclipse MAT
 - ◆ сначала **Top Consumers & Dominator Tree**, потом OQL/SQL
- Прежде чем снимать/открывать дамп, см. **альтернативы**
 - ◆ чтобы найти способ разобраться **быстрее**

Полезные доклады

- Андрей Паньгин – Память Java-процесса по полочкам
 - ◆ [доклад] Для представления “общей картины”
- Владимир Ситников – Разбор сложных случаев ООМ
 - ◆ [доклад] Для более глубокого погружения в тему
- Emily Chang - Monitor Java memory management
 - ◆ [статья] Для понимания метрик и поведения GC

Спасибо !

Можно задавать вопросы :)

Владимир Плизгá
@Toparvion



CREDITS: This presentation template was created by [Slidesgo](#), and includes icons by [Flaticon](#), and infographics & images by [Freepik](#)



<https://toparvion.pro/event/2024/jugnsk/>