

# История одной оптимизации производительности Node.js библиотеки

Андрей Печкуров



# О докладчике

- Пишу на Java (10+ лет), Node.js (5+ лет)
- Интересы: веб, архитектура, распределенные системы, производительность
- Можно найти тут:
  - <https://twitter.com/AndreyPechkurov>
  - <https://github.com/puzpuzpuz>
  - <https://medium.com/@apechkurov>

# О докладе

- Тема:
  - Подход к оптимизации производительности Node.js библиотек
- Подопытный:
  - Клиентская Node.js библиотека Hazelcast IMDG
- Аудитория:
  - Все, кто разрабатывает сетевые приложения на Node.js

# План

1. Знакомство с подопытным
2. Цели и общий подход
3. Бенчмарки и инструменты анализа
4. Оптимизация: замеры, гипотезы, эксперименты
5. Планы на будущее и выводы

# **1. Знакомство с подопытным**

# Hazelcast IMDG

- <https://hazelcast.org/>
- Hazelcast In-Memory Data Grid (IMDG)
- Большой набор распределенных структур данных  
(AP и CP согласно CAP теореме)
- Показательный пример - `Map`, который часто используют как кэш
- Написана на Java, умеет embedded и standalone режимы
- Хорошо масштабируется вертикально и горизонтально
- Часто используется в high-load и low-latency приложениях

# Возможности Hazelcast IMDG

	Java	Scala	C++	C#/.NET	Python	Node.js	Go	
Clients	Near Cache		HD	Near Cache				
	REST	Memcached	Clojure	<b>Open Client Network Protocol</b> (Backward & Forward Compatibility, Binary Protocol)				
	<b>Serialization</b> (Serializable, Externalizable, DataSerializable, IdentifiedDataSerializable, Portable, Custom)							
APIs	java.util.concurrent		Web Sessions (Tomcat/Jetty/Generic)		Hibernate 2 <sup>nd</sup> Level Cache	JCache	FencedLock/ Semaphore	
	Map	HD	MultiMap	Replicated Map	Set	List	Queue	ReliableTopic
	Topic	Ringbuffer	Continuous Query	HyperLogLog	Flake ID Gen.	CRDT PN Counter		CountDownLatch
	SQL Query	Predicate & Partition Predicate		Entry Processor		Executor Services	Aggregation	AtomicReference
	AP Subsystem						CP Subsystem	

# Hazelcast IMDG Node.js client

- <https://github.com/hazelcast/hazelcast-nodejs-client>
- Node.js 4+
- Стек: TypeScript, promisified API (bluebird)
- Первый стабильный релиз - май 2019

# Особенности библиотеки

- "Умная" клиентская библиотека
- Общается с нодами кластера по [открытыму бинарному протоколу](#) поверх TCP
- Поддерживает множество распределенных структур данных
- Умеет near cache, retry on failure, client stats и многое другое
- Как следствие - относительно большая кодовая база (~34К строк TS кода, не учитывая тесты)

# Пример использования

```
const Client = require('hazelcast-client').Client;

const client = await Client.newHazelcastClient();
const cache = await client.getMap('my-awesome-cache');

await cache.set('foo', 'bar');
const cached = await cache.get('foo');
console.log(cached); // bar
```

## **2. Цели и общий подход**

## Начальные цели

- Анализ текущей производительности перед стабильным релизом
- Включение в релиз "быстрых" правок (при необходимости)
- Постановка планов по дальнейшему анализу и оптимизации
- Спойлер: на сегодня большая часть из этих планов уже реализована

# Оптимизация?



# Оптимизация? Рецепт приготовления

0. Определить метрики производительности и их желаемые значения
1. Реализовать бенчмарк
2. Сделать замеры производительности
3. Проблема? Подобрать инструменты анализа
4. Найти узкие места, выдвинуть гипотезы и провести эксперименты
5. Сделать замеры
6. goto 0 .

# Возможные метрики

- Сетевая клиентская библиотека
- I/O bound нагрузка
- Основные метрики:
  - Операции в секунду (throughput)
  - Время выполнения операции (условно, latency)
- Вспомогательные метрики:
  - Загрузка процессора
  - Потребление памяти

## Выбор метрик?

- Оптимизируем throughput
- Желаемые значения:  $\forall (\forall)$

# Выбор метрик!



### **3. Бенчмарки и инструменты анализа**

# Старый бенчмарк

```
// ...
run: function () {
  var key = Math.random() * ENTRY_COUNT;
  var opType = Math.floor(Math.random() * 100);
  if (opType < GET_PERCENTAGE) {
    this.map.get(key).then(this.increment.bind(this));
  }
  // ...
  setImmediate(this.run.bind(this));
}
// ...
```

# Старый бенчмарк

```
// ...
run: function () {
    var key = Math.random() * ENTRY_COUNT;
    var opType = Math.floor(Math.random() * 100);
    if (opType < GET_PERCENTAGE) {
        this.map.get(key).then(this.increment.bind(this));
    }
    // ...
    setImmediate(this.run.bind(this));
}
// ...
```

# Старый бенчмарк

```
// ...
run: function () {
  var key = Math.random() * ENTRY_COUNT;
  var opType = Math.floor(Math.random() * 100);
  if (opType < GET_PERCENTAGE) {
    this.map.get(key).then(this.increment.bind(this));
  }
  // ...
  setImmediate(this.run.bind(this));
}
// ...
```

## Старый бенчмарк: минусы

- Все операции стартуют через рекурсивный `setImmediate()`
- Нет ограничений по количеству операций (concurrency limit, backpressure)
- Операции и входные данные выбираются случайным образом
- Все это снижает результат и ухудшает детерминированность

# Новый бенчмарк

```
const benchmark = new Benchmark({
    nextOp: () => map.get('foo'), // функция-фабрика для операций
    totalOpsCount: REQ_COUNT,     // общее число операций
    batchSize: BATCH_SIZE         // лимит на кол-во операций
});

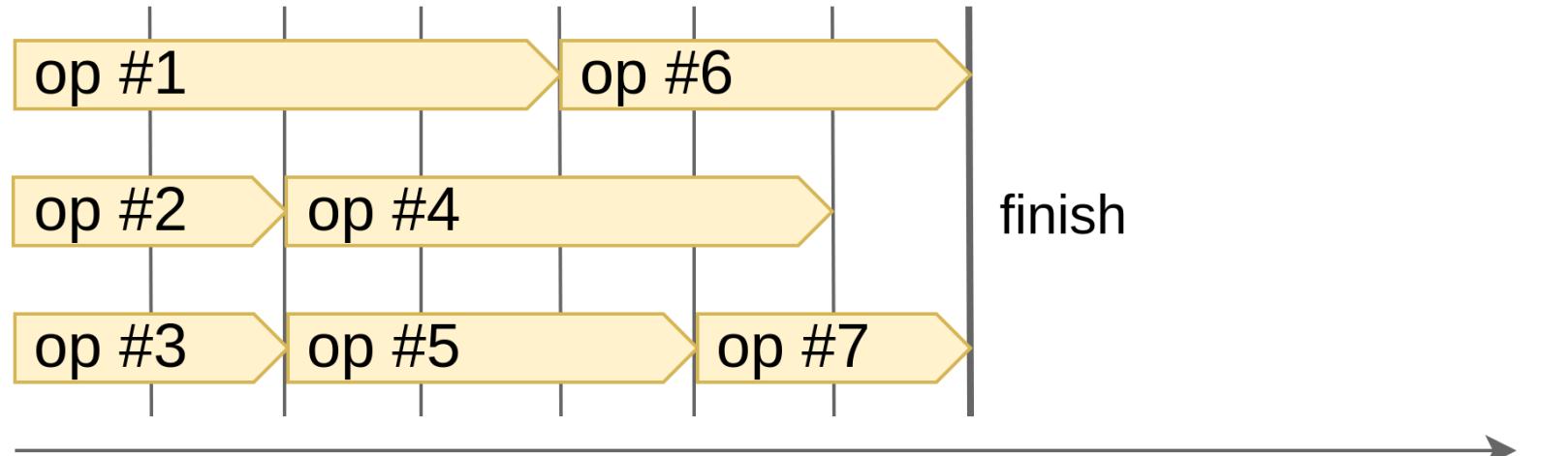
await benchmark.run();
```

## Новый бенчмарк: плюсы

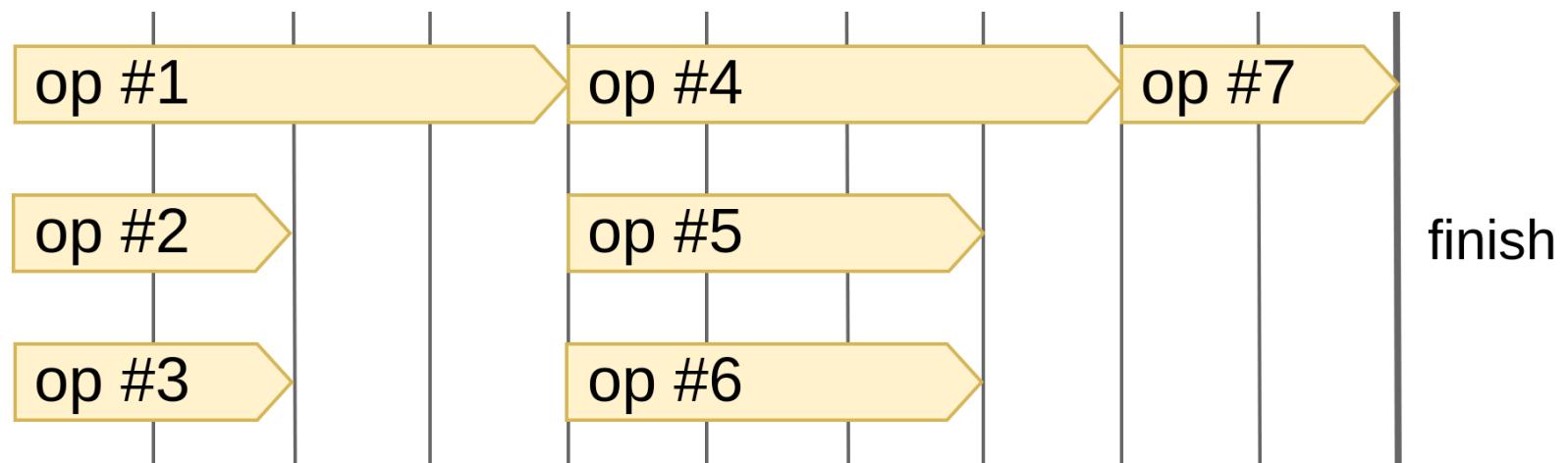
- Операции стартуют параллельно
- Общее число одновременно стартованных операций ограничено
- Операции и входные данные предопределены

# Новый бенчмарк: визуализация

Бенчмарк с batchSize = 3, totalOpsCount = 7



Обычный Promise.all():



# Сценарий бенчмарка

- Приложение-бенчмарк с клиентской библиотекой
- Кластер из одной ноды IMDG (Docker-контейнер)
- Локальная машина (loopback address)
- Фиксированные версии Linux, Node.js, IMDG и т.д.
- Операции: `Map#get()` и `Map#set()`
- Данные: фиксированные строки с ASCII-символами (3 В, 1 KB, 100 KB)
- Замер: несколько запусков и вычисление среднего результата
- Каждый запуск: 1 млн операций с лимитом 100

## Не инструмент #1

- Proof of concept (PoC)
- Все средства хороши, но нужен весь функционал кода на горячем пути

## Не инструмент #2

- Микробенчмарки позволяют быстро проверить гипотезу и/или обосновать результаты РоС
- Использовался фреймворк [Benchmark.js](#) (+ node-microtime)
- *Предупреждение:* могут показывать температуру в Антарктиде

# Инструмент #1

- Стандартный профилировщик Node.js
- Основан на V8 sample-based profiler
- Учитывает JS и C++ код
- `node --prof app.js`
- Можно получить человекочитаемое представление:  
`node --prof-process isolate-0xffffffffffff-v8.log > processed.txt`

# Пример человекочитаемого представления

[JavaScript]:

ticks	total	nonlib	name
2702	53.1%	53.3%	LazyCompile: *cpuIntensiveFn /home/puzpuzpuz/app.js:11:25
1728	34.0%	34.1%	LazyCompile: *<anonymous> :1:20
29	0.6%	0.6%	Eval: ~<anonymous> :1:20
15	0.3%	0.3%	Builtin: InterpreterEntryTrampoline
9	0.2%	0.2%	LazyCompile: *fibonacci /home/puzpuzpuz/app.js:15:20

...

[Summary]:

ticks	total	nonlib	name
4568	89.8%	90.2%	JavaScript
493	9.7%	9.7%	C++
17	0.3%	0.3%	GC
23	0.5%		Shared libraries
5	0.1%		Unaccounted

...

# Пример человекочитаемого представления

[JavaScript]:

ticks	total	nonlib	name
2702	53.1%	53.3%	LazyCompile: *cpuIntensiveFn /home/puzpuzpuz/app.js:11:25
1728	34.0%	34.1%	LazyCompile: *<anonymous> :1:20
29	0.6%	0.6%	Eval: ~<anonymous> :1:20
15	0.3%	0.3%	Builtin: InterpreterEntryTrampoline
9	0.2%	0.2%	LazyCompile: *fibonacci /home/puzpuzpuz/app.js:15:20

...

[Summary]:

ticks	total	nonlib	name
4568	89.8%	90.2%	JavaScript
493	9.7%	9.7%	C++
17	0.3%	0.3%	GC
23	0.5%		Shared libraries
5	0.1%		Unaccounted

...

# Пример человекочитаемого представления

[JavaScript]:

ticks	total	nonlib	name
2702	53.1%	53.3%	LazyCompile: *cpuIntensiveFn /home/puzpuzpuz/app.js:11:25
1728	34.0%	34.1%	LazyCompile: *<anonymous> :1:20
29	0.6%	0.6%	Eval: ~<anonymous> :1:20
15	0.3%	0.3%	Builtin: InterpreterEntryTrampoline
9	0.2%	0.2%	LazyCompile: *fibonacci /home/puzpuzpuz/app.js:15:20

...

[Summary]:

ticks	total	nonlib	name
4568	89.8%	90.2%	JavaScript
493	9.7%	9.7%	C++
17	0.3%	0.3%	GC
23	0.5%		Shared libraries
5	0.1%		Unaccounted

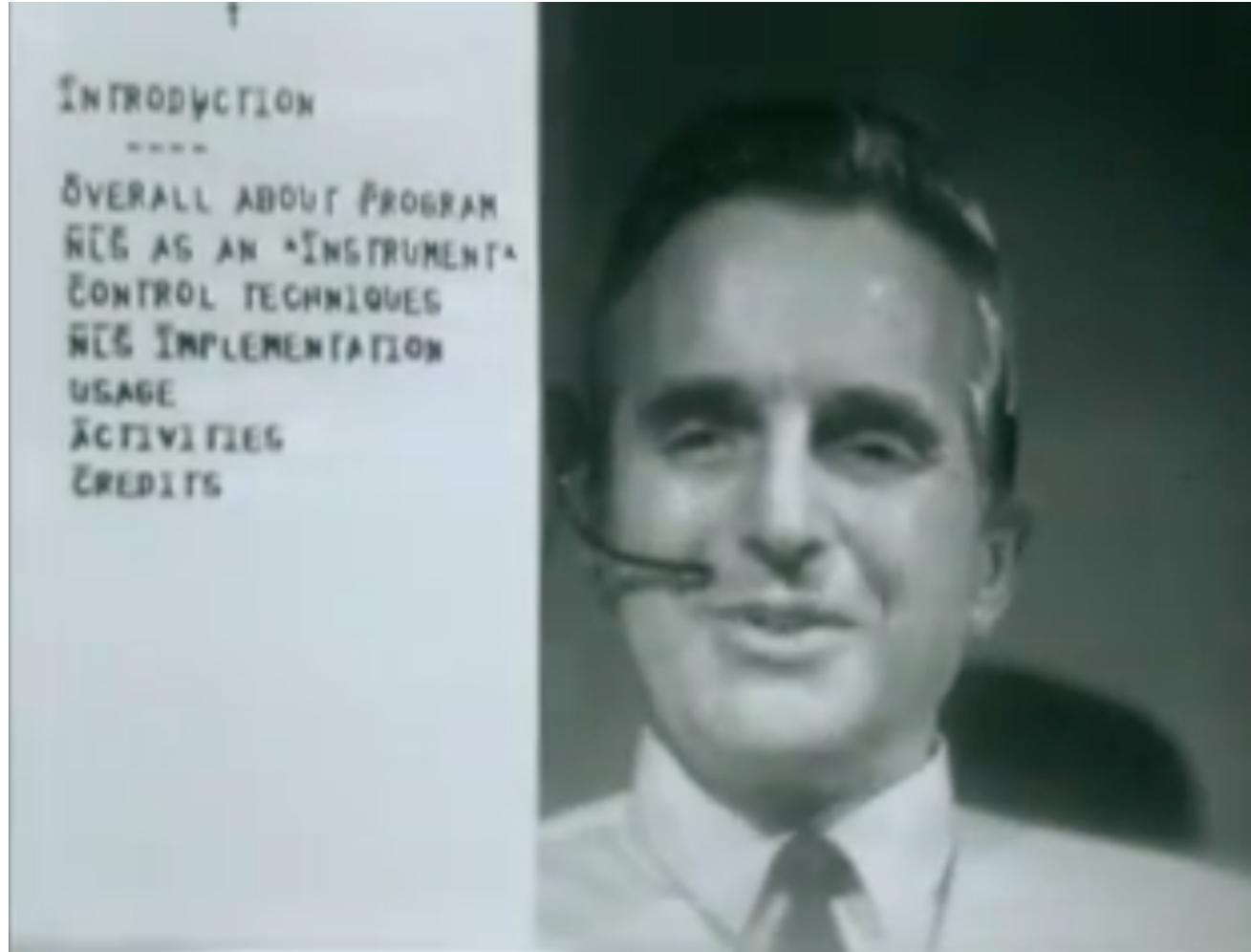
...

## Инструмент #2

- Визуализация профиля в виде flame graph
- Отлично работает для event loop'a Node.js
- Действительно помогает обнаруживать узкие места
- Спасибо Brendan Gregg, Netflix, [придумавшему подход](#) в 2013
- Наиболее популярный инструмент - [0x](#) (умеет V8, perf, DTrace)

```
$ npm install -g 0x
$ 0x -o app.js
```

# It's flame graph demo time!

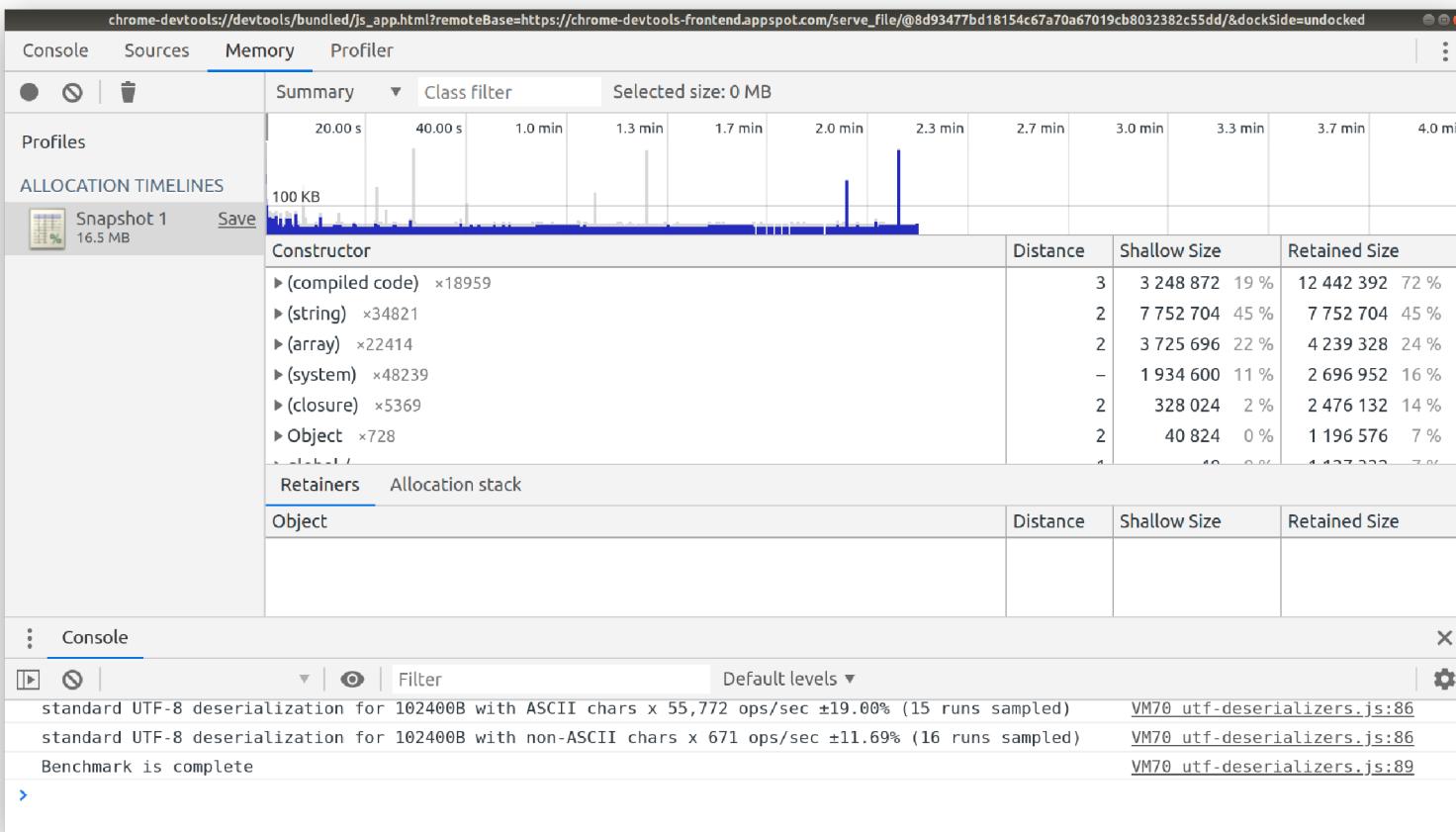


# Пример flame graph из реального мира



# Инструмент #3

- Профилировщик памяти из Chrome DevTools (Node.js)
- Умеет делать heap snapshot, отслеживать аллокации и не только



# Проверяем чеклист

- [X] Метрики
- [X] Бенчмарк
- [X] Инструменты анализа
- [ ] Оптимизация

## **4. Оптимизация: замеры, гипотезы, эксперименты**

# Горячий путь

1. Старт операции (создание `Promise`)
2. Сериализация сообщения в бинарный формат
3. Отправка в сеть в `socket.write(...)`
4. Чтение фрейма в `socket.on('data', ...)`
5. Десериализация ответного сообщения
6. Вызов `resolve()` у `Promise`'а операции

## Базовый замер

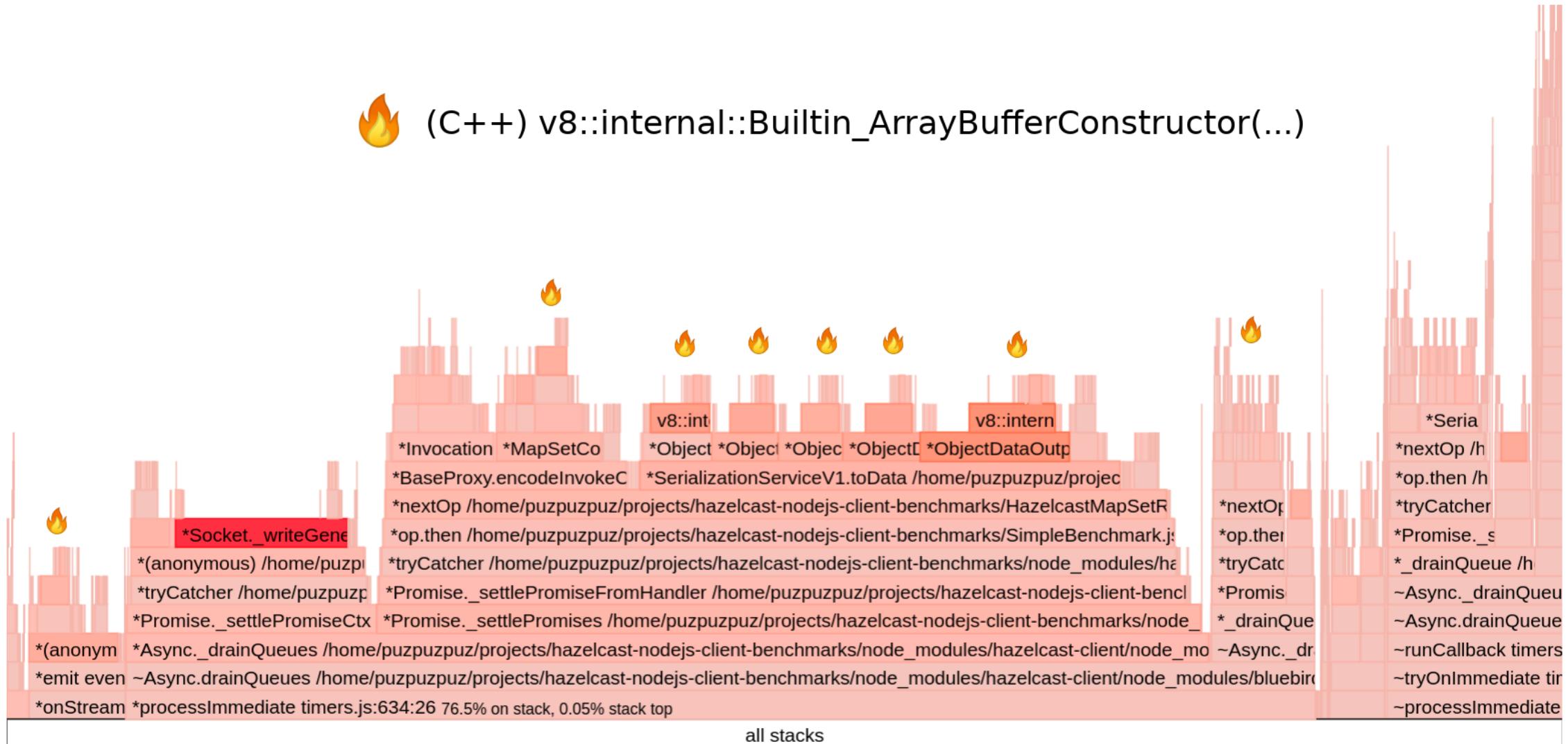
	get() 3 В	get() 1 KB	get() 100 KB	set() 3 В	set() 1 KB	set() 100 KB
v0.10.0	90 933	23 591	105	76 011	44 324	1 558

\* Абсолютные значения не важны (замеры сделаны на моем ноутбуке)

## Видны проблемы?

- Производительность практически линейно зависит от размера данных
- Java-клиент для `get('foo', 'bar')` быстрее примерно в 5 раз  
(конечно, сравнение заведомо некорректное)

# Профилировщик, приди! (запись 3 В)



## Профилировщик, приди! (запись 3 В)

```
...
[C++ entry points]:
  ticks    cpp    total   name
  2775    37.8%  21.8%  v8::internal::Builtin_ArrayBufferConstructor(...)
   991    13.5%   7.8%  __libc_write
   329     4.5%   2.6%  v8::internal::Builtin_ArrayConcat(....)
...
```

# Хьюстон, у нас аллокации

- Для работы с бинарными данными, конечно, используется `Buffer`
- В на горячем пути много `Buffer#alloc()/#allocUnsafe()`, а это "дорогая" операция
- Во время сериализации одной операции происходит несколько аллокаций, а затем буфера копируются в финальный
- Это упрощает код, но производительность страдает
- Сначала пробуем РоС с полумерой

# РоС с полумерой

```
export class ObjectDataOutput implements DataOutput {  
  
    protected buffer: Buffer;  
    private pos: number;  
  
    constructor() {  
        // пробуем аллоцировать жадно  
-        this.buffer = Buffer.allocUnsafe(1);  
+        this.buffer = Buffer.allocUnsafe(1024);  
  
        // ...  
    }  
}
```

## Замер производительности PoC

	get() 3 B	get() 1 KB	get() 100 KB	set() 3 B	set() 1 KB	set() 100 KB
v0.10.0	90 933	23 591	105	76 011	44 324	1 558
PoC	104 854	24 929	109	95 165	52 809	1 581
	+15%	+5%	+3%	+25%	+19%	+1%

## Промежуточные итоги

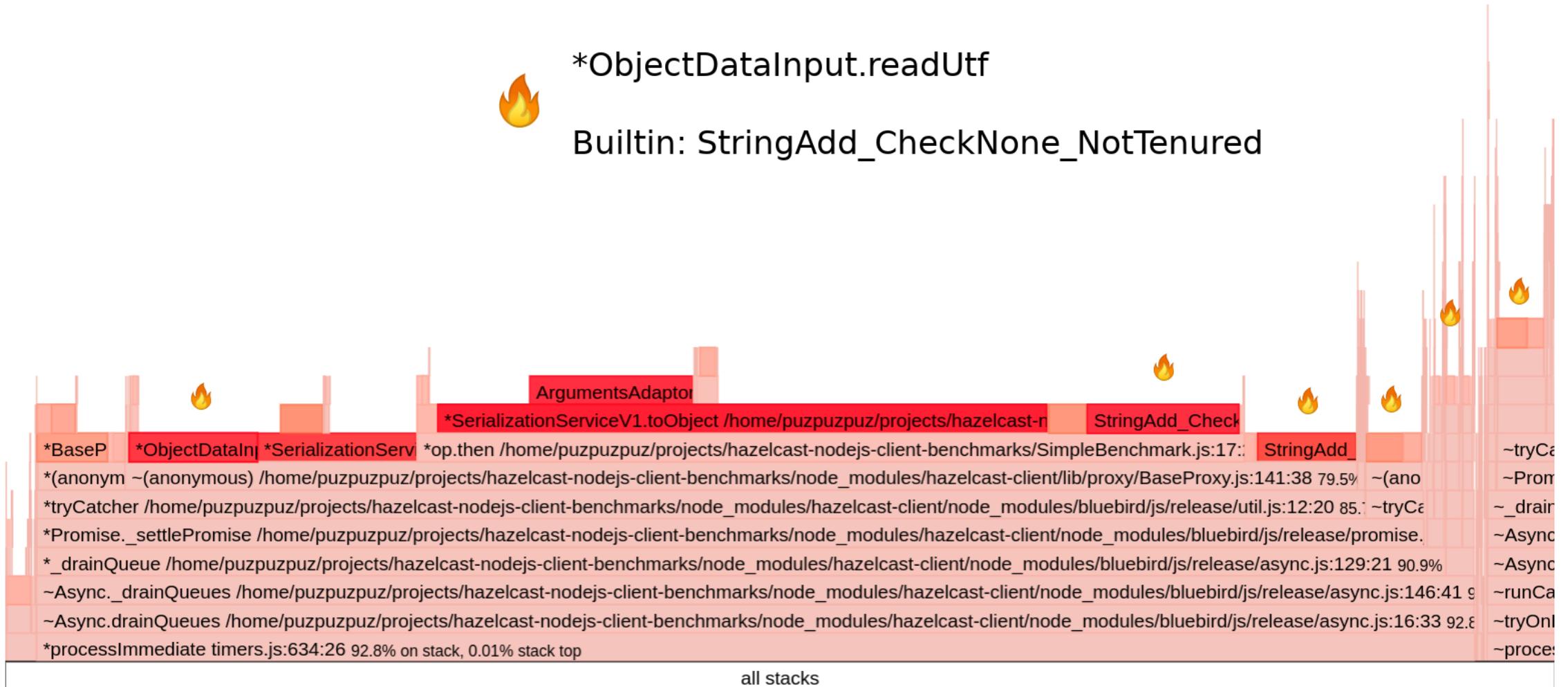
- Гипотеза верна и правка идет в ближайший релиз
- Нужно избавиться от оставшихся избыточных аллокаций в будущих релизах
- Результаты для больших размеров все равно оставляют желать лучшего
- Так что же у нас с зависимостью от размера данных?

# Профильтровщик, приди! (чтения 100 КВ)

## \*ObjectDataInput.readUtf



## Builtin: StringAdd\_CheckNone\_NotTenured



# А ЧТО ЭТО У НАС ТАМ?

```
private readUTF(pos?: number): string {
    const len = this.readInt(pos);
    // ...
    for (let i = 0; i < len; i++) {
        let charCode: number;
        leadingByte = this.readByte(readingIndex) & MASK_1BYTE;
        readingIndex = this.addOrUndefined(readingIndex, 1);
        const b = leadingByte & 0xFF;
        switch (b >> 4) {
            // ...
        }
        result += String.fromCharCode(charCode);
    }
    return result;
}
```

# А ЧТО ЭТО У НАС ТАМ?

```
private readUTF(pos?: number): string {
    const len = this.readInt(pos);
    // ...
    for (let i = 0; i < len; i++) {
        let charCode: number;
        leadingByte = this.readByte(readingIndex) & MASK_1BYTE;
        readingIndex = this.addOrUndefined(readingIndex, 1);
        const b = leadingByte & 0xFF;
        switch (b >> 4) {
            // ...
        }
        result += String.fromCharCode(charCode);
    }
    return result;
}
```

# А ЧТО ЭТО У НАС ТАМ?

```
private readUTF(pos?: number): string {
    const len = this.readInt(pos);
    // ...
    for (let i = 0; i < len; i++) {
        let charCode: number;
        leadingByte = this.readByte(readingIndex) & MASK_1BYTE;
        readingIndex = this.addOrUndefined(readingIndex, 1);
        const b = leadingByte & 0xFF;
        switch (b >> 4) {
            // ...
        }
        result += String.fromCharCode(charCode);
    }
    return result;
}
```

# Предварительная оптимизация?

- Итак, у нас нестандартная (де)серIALIZАЦИЯ UTF-8 строк
- Похоже на предварительную оптимизацию
- Почему бы не сравнить со стандартным API?

```
// сериализация  
buf.write(inStr, start, end, 'utf8');  
// десериализация  
const outStr = buf.toString('utf8', start, end);
```

## Микробенчмарк

	<b>100 В ASCII</b>	<b>100 KB ASCII</b>	<b>100 В UTF</b>	<b>100 KB UTF</b>
custom	1 515 803	616	1 093 390	613
standard	11 297 821	68 721	1 311 610	794
	<b>+645%</b>	<b>+11 056%</b>	<b>+20%</b>	<b>+29%</b>

\* Результаты для десериализации в ops/sec

# Проваливаемся в кроличью нору

- Buffer#toString()
- node:buffer.js#stringSlice()
- node:node\_buffer.cc#StringSlice()
- node:StringBytes#Encode()
- v8:String#NewFromUtf8()
- v8:Factory#NewStringFromUtf8()
- v8:Factory#NewStringFromOneByte()

# Что там, в hope?

```
// v8:Factory#NewStringFromUtf8()
MaybeHandle<String> Factory::NewStringFromUtf8(
    Vector<const char> string,
    PretenureFlag pretenure
) {
    // Check for ASCII first since this is the common case.
    const char* ascii_data = string.start();
    int length = string.length();
    int non_ascii_start = String::NonAsciiStart(ascii_data, length);
    if (non_ascii_start >= length) {
        // If the string is ASCII, we do not need to convert
        // the characters since UTF8 is backwards compatible with ASCII.
        return
            NewStringFromOneByte(
                Vector<const uint8_t>::cast(string), pretenure);
    }
    // ...
}
```

# Что там, в hope?

```
// v8:Factory#NewStringFromUtf8()
MaybeHandle<String> Factory::NewStringFromUtf8(
    Vector<const char> string,
    PretenureFlag pretenure
) {
    // Check for ASCII first since this is the common case.
    const char* ascii_data = string.start();
    int length = string.length();
    int non_ascii_start = String::NonAsciiStart(ascii_data, length);
    if (non_ascii_start >= length) {
        // If the string is ASCII, we do not need to convert
        // the characters since UTF8 is backwards compatible with ASCII.
        return
            NewStringFromOneByte(
                Vector<const uint8_t>::cast(string), pretenure);
    }
    // ...
}
```

# Что там, в hope?

```
// v8:Factory#NewStringFromUtf8()
MaybeHandle<String> Factory::NewStringFromUtf8(
    Vector<const char> string,
    PretenureFlag pretenure
) {
    // Check for ASCII first since this is the common case.
    const char* ascii_data = string.start();
    int length = string.length();
    int non_ascii_start = String::NonAsciiStart(ascii_data, length);
    if (non_ascii_start >= length) {
        // If the string is ASCII, we do not need to convert
        // the characters since UTF8 is backwards compatible with ASCII.
        return
            NewStringFromOneByte(
                Vector<const uint8_t>::cast(string), pretenure);
    }
    // ...
}
```

## РоС для сериализации

	get() 3 B	get() 1 KB	get() 100 KB	set() 3 B	set() 1 KB	set() 100 KB
v0.10.0	90 933	23 591	105	76 011	44 324	1 558
РоС	122 458	104 090	7 052	110 083	73 618	8 428
	+34%	+341%	+6 616%	+45%	+66%	+440%

## Промежуточные итоги

- Гипотеза про (де)сериализацию верна и правка идет в ближайший релиз

# Первый публичный релиз

	get() 3 B	get() 1 KB	get() 100 KB	set() 3 B	set() 1 KB	set() 100 KB
v0.10.0	90 933	23 591	105	76 011	44 324	1 558
v3.12	132 855	120 670	8 756	127 291	94 625	10 617
	+46%	+411%	+8 239%	+67%	+113%	+581%

## Editor's Cut

1. Эксперимент с пулом буферов для сериализации
  - Неудачный. К тому же, `Buffer#allocUnsafe()` и так [использует](#) пул (8 KB by default)
2. Эксперимент с Write Queue (aka Automated Pipelining)
  - Оказался перспективным и был отложен до следующего релиза.  
Простой РоС показал увеличение write throughput на 20-25%

# Оптимизация Automated Pipelining

- Подобная оптимизация использована в классе `WriteQueue` в DataStax Node.js Driver for Apache Cassandra
- Идея в объединении сообщений перед записью в сокет
- В результате делается меньше "дорогих" вызовов `Socket#write()`

# Pipelining

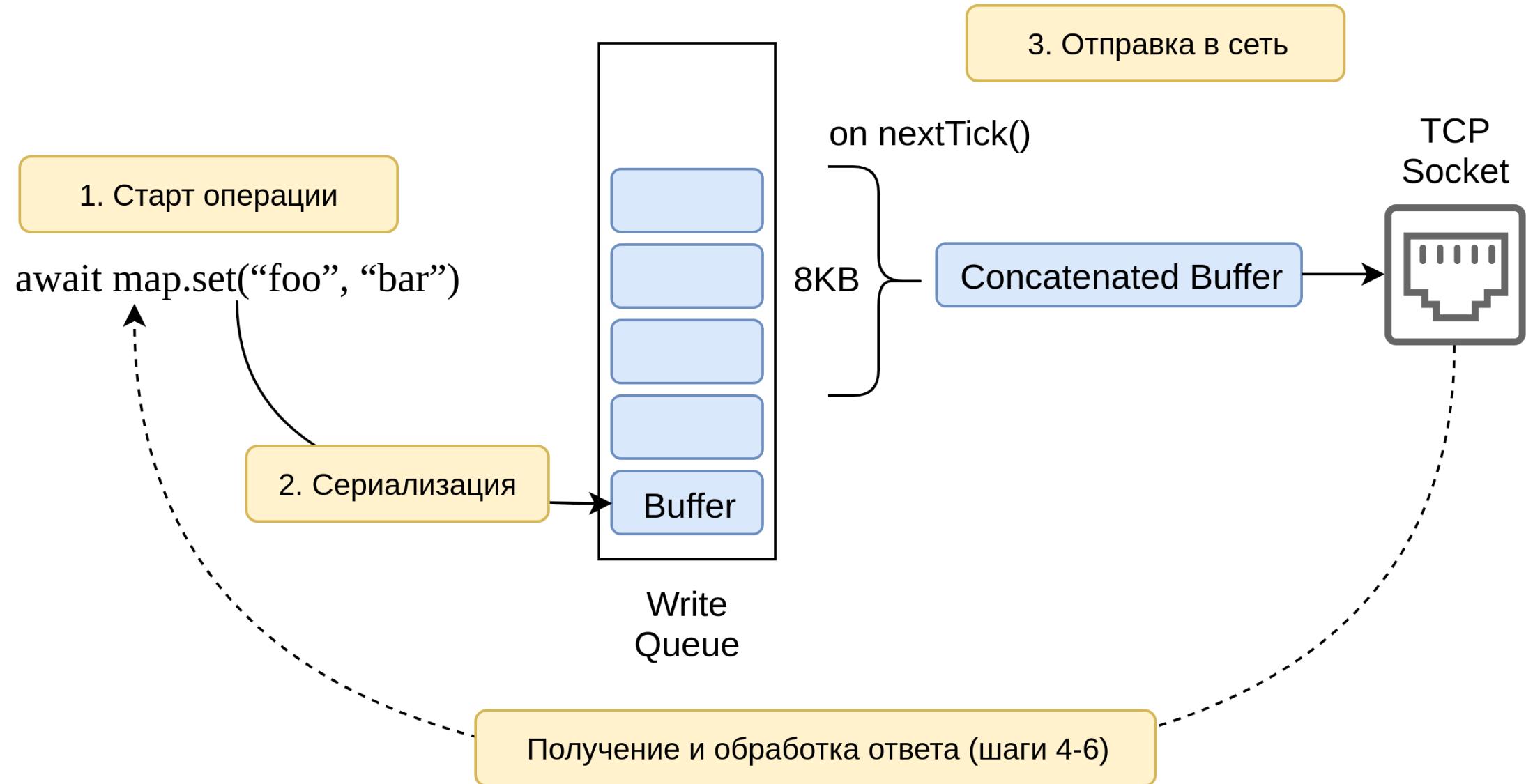
- В блокирующихся клиентах схожий прием называют **pipelining**
- Пример pipelining API в Java:

```
Pipelining<String> pipelining = new Pipelining<>(10);
for (int i = 0; i < 100; i++) {
    pipelining.add(map.getAsync(i));
}
// блокируемся и ждем результат
pipelining.results();
```

# Automated Pipelining

- В нашем случае, объединение происходит неявным образом, отсюда название - automated pipelining
- Достоинство:
  - Большее число приложений оказываются в выигрыше
- Недостаток:
  - Из обычного pipelining можно "выжать" лучшую производительность

# Логика работы



## Особенности

- Для больших сообщений, записываемых в сокет, производительность может упасть
- Поэтому добавлена настройка библиотеки, включающая "обычный" режим
- Порог записи в сеть тоже вынесен в настройки
- *Примечание:* данная оптимизация не отменяет появление batch API в будущем

## Снова релиз?

- Automated Pipelining вошла в ближайший релиз
- Кроме этого, туда вошли миорные оптимизации для горячего пути:
  - Убрали мусор от `new Date().getTime()` (спасибо, `Date.now()`)
  - Убрали мусор от лишних конвертаций `number <-> Long` (используется [long.js](#))
  - Избавились от аллокаций буферов в edge cases, например, при чтении больших сообщений (> 128 KB)
- Спойлер: заметной прибавки миорные оптимизации не дали, но они все равно полезны

## Второй публичный релиз

	get() 3 В	get() 1 KB	get() 100 KB	set() 3 В	set() 1 KB	set() 100 KB
v3.12	132 855	120 670	8 756	127 291	94 625	10 617
v3.12.1	173 611	161 812	10 879	172 028	82 747	8 208
	+30%	+34%	+24%	+35%	-13%	-23%

\* Замеры с включенным Automated Pipelining

## А как же аллокации?

- Поскольку правки объемные, было решено начать с РоС
- РоС реализует оптимизацию только для `Map#get()` and `Map#set()`
- Он позволит оценить, оправдает ли оптимизация вложенные усилия

## РоС без избыточных аллокаций

	get() 3 В	get() 1 KB	get() 100 KB	set() 3 В	set() 1 KB	set() 100 KB
v3.12.1	173 611	161 812	10 879	172 028	82 747	8 208
РоС	222 172	192 122	12 594	205 254	109 051	11 630
	+28%	+19%	+16%	+19%	+32%	+42%

\* Замеры с включенным Automated Pipelining

## Сравним с тем, что было в начале

	get() 3 B	get() 1 KB	get() 100 KB	set() 3 B	set() 1 KB	set() 100 KB
v0.10.0	90 933	23 591	105	76 011	44 324	1 558
PoC	222 172	192 122	12 594	205 254	109 051	11 630
	+144%	+714%	+11 894%	+170%	+146%	+646%

\* Замеры с включенным Automated Pipelining

Наконец-то!



## **5. Планы на будущее и выводы**

## Текущие планы

1. Избавиться от избыточных аллокаций буферов
2. Включить замеры производительности в релиз цикл
3. Продолжить оптимизацию: периодические замеры, гипотезы, эксперименты

## Совет #1

**Не пытайтесь оптимизировать все и сразу**

## Совет #2

**Бенчмарки должны быть детерминистичными и  
"справедливыми"**

## **Совет #3**

**Семь раз замерь, один релизни**

## Совет #4

**Выбирайте инструменты под задачу, а не наоборот**

## **Совет #5**

**Помните, что оптимизация производительности - это процесс**

## Полезные ссылки

- <https://hazelcast.org/>
- <https://github.com/hazelcast/hazelcast-nodejs-client>
- <https://nodejs.org/en/docs/guides/simple-profiling/>
- <https://nodejs.org/en/docs/guides/dont-block-the-event-loop/>
- <https://blog.insiderattack.net/event-loop-and-the-big-picture-nodejs-event-loop-part-1-1cb67a182810>

**Спасибо за внимание!**

**Время для Q&A**

