История одной оптимизации производительности Node.js библиотеки

Андрей Печкуров, Hazelcast

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:

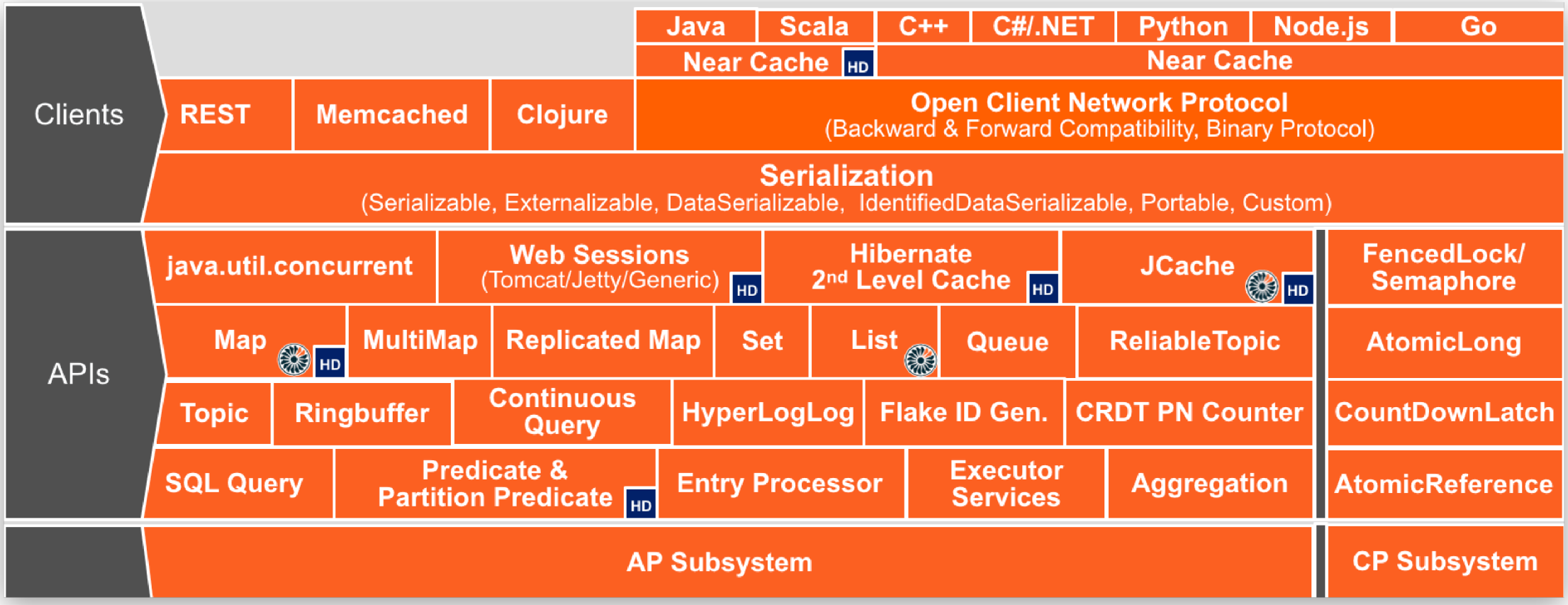
  #1: Знакомство с подопытным
  #2: Цели и общий подход
  #3: Бенчмарки и инструменты анализа
  #4: Оптимизация: замеры, гипотезы, эксперименты
  #5: Планы на будущее

#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)
- 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



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 открытому бинарному протоколу поверх TCP
- Поддерживает множество распределенных структур данных
- Умеет near cache, retry on failure, client stats и многое другое

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 (+ 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: ¯\(ツ)/¯

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: 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'),
    totalOpsCount: REQ_COUNT,
    batchSize: BATCH_SIZE
});
await benchmark.run();
```

Новый бенчмарк: плюсы

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

Новый бенчмарк: визуализация

Пример с `batchSize = 3` и `totalOpsCount = 7`:

```
op1--->|op6--->| finish
op2->|op4------>| finish
op3->|op5-->|op7->| finish
```

Простой `Promise.all()`:

```
op1--->|op4--->   |       finish
op2->  |op5------>|       finish
op3->  |op6-->    |op7->| finish
```

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: `IMap.get()` и `IMap.set()`
- Данные: фиксированные строки с ASCII-символами (3 B, 1 KB, 100 KB)
- Замер: несколько запусков и вычисление среднего результата
- Каждый запуск: 1 млн операций с лимитом 100

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-0xnnnnnnnnnnn-v8.log > processed.txt
```

Пример вывода

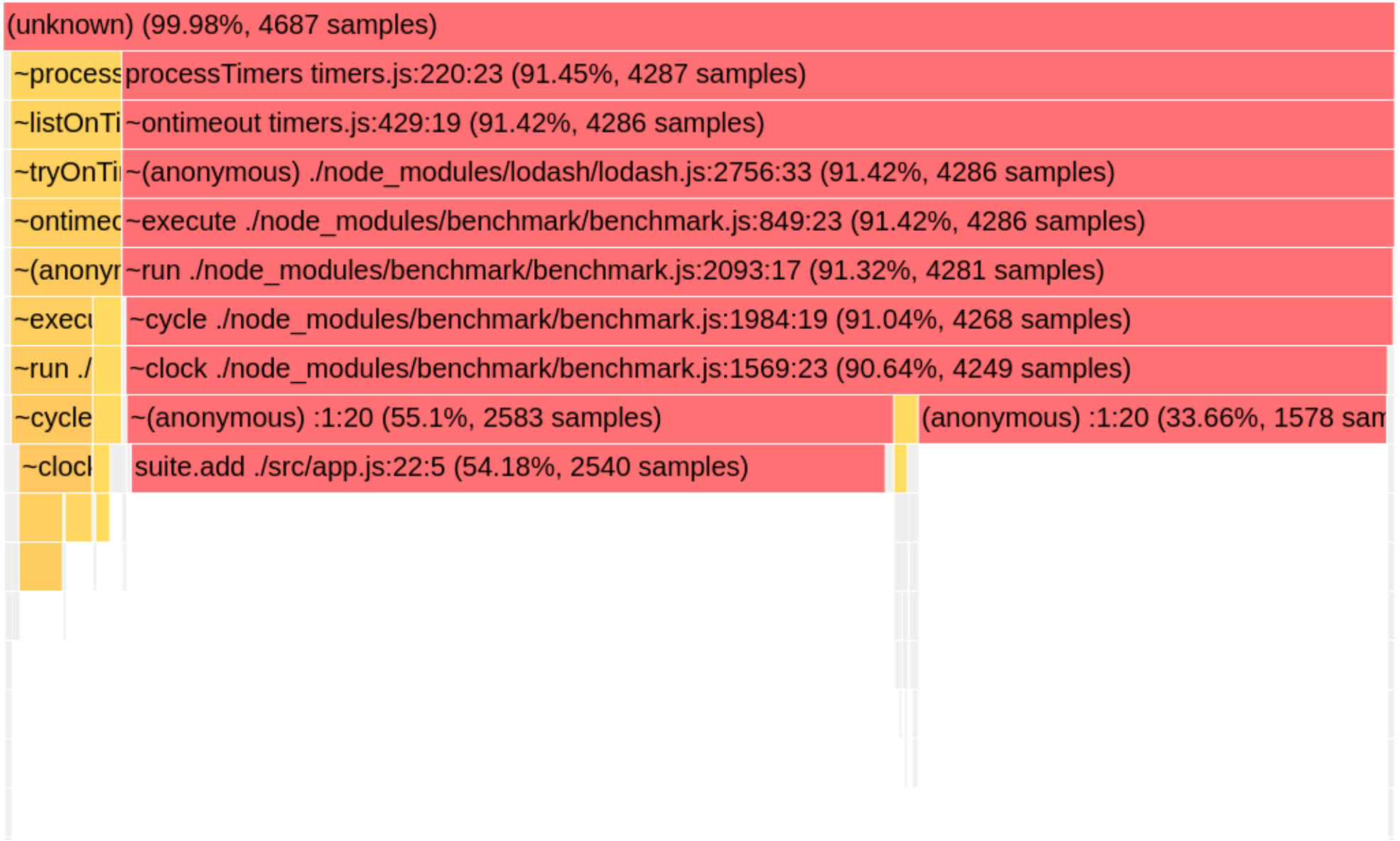
```
[Summary]:
  ticks  total  nonlib   name
  4144   77.3%   78.0%  JavaScript
  1157   21.6%   21.8%  C++
   374    7.0%    7.0%  GC
    51    1.0%          Shared libraries
    11    0.2%          Unaccounted

[JavaScript]:
  ticks  total  nonlib   name
  2104   39.2%   39.6%  Builtin: StringAdd_CheckNone_NotTenured
  1312   24.5%   24.7%  LazyCompile: *<anonymous> :1:20
   484    9.0%    9.1%  LazyCompile: *suite.add ./app.js:68:7
    ...
     8    0.1%    0.2%  LazyCompile: ~<anonymous> ./util.js:51:44
...
```

Инструмент #2

- Визуализация профиля в виде flame graph
- Действительно помогает обнаруживать ботлнеки
- Отлично работает для event loop'a Node.js
- Спасибо Brendan Gregg, Netflix, придумавшему подход в 2013
- Наиболее популярный инструмент - 0x (V8, perf, DTrace)
- Мы использовали flamebearer (V8)

```
$ npm install -g flamebearer
$ node --prof-process --preprocess -j isolate*.log | flamebearer
```

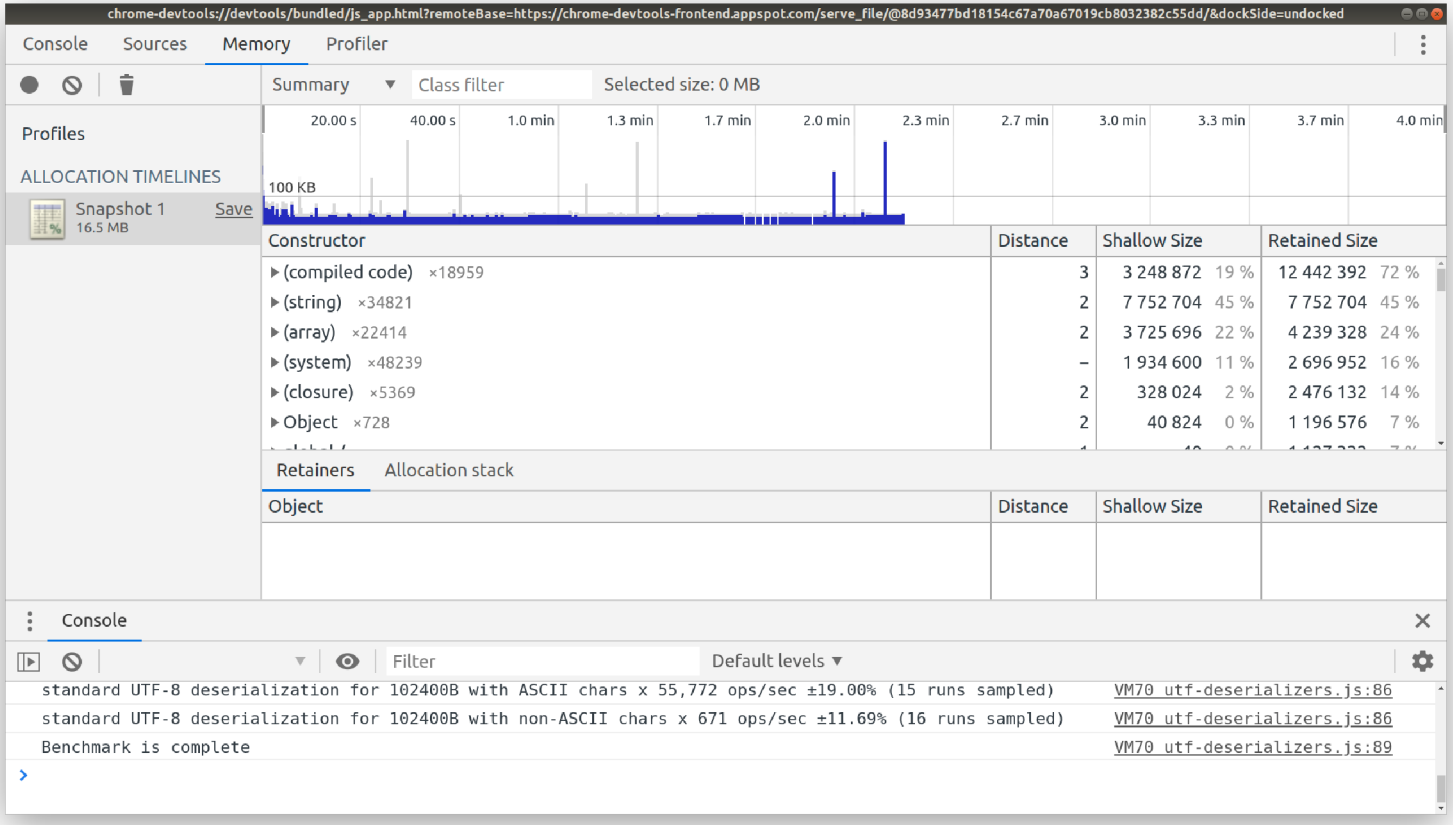
Пример простейшего flame graph



Пример flame graph из реального мира

Инструмент #3

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



Инструмент #4

- Микробенчмарки для быстрой проверки гипотез
- Использовался фреймворк Benchmark.js (+ node-microtime)
- *Предупреждение*: могут показывать температуру в Антарктиде

Инструмент #5

- Proof of concept (PoC)
- Все средства хороши, но нужен весь функционал кода на горячем пути
- *П.С.*: это не совсем инструмент, но не упомянуть нельзя

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

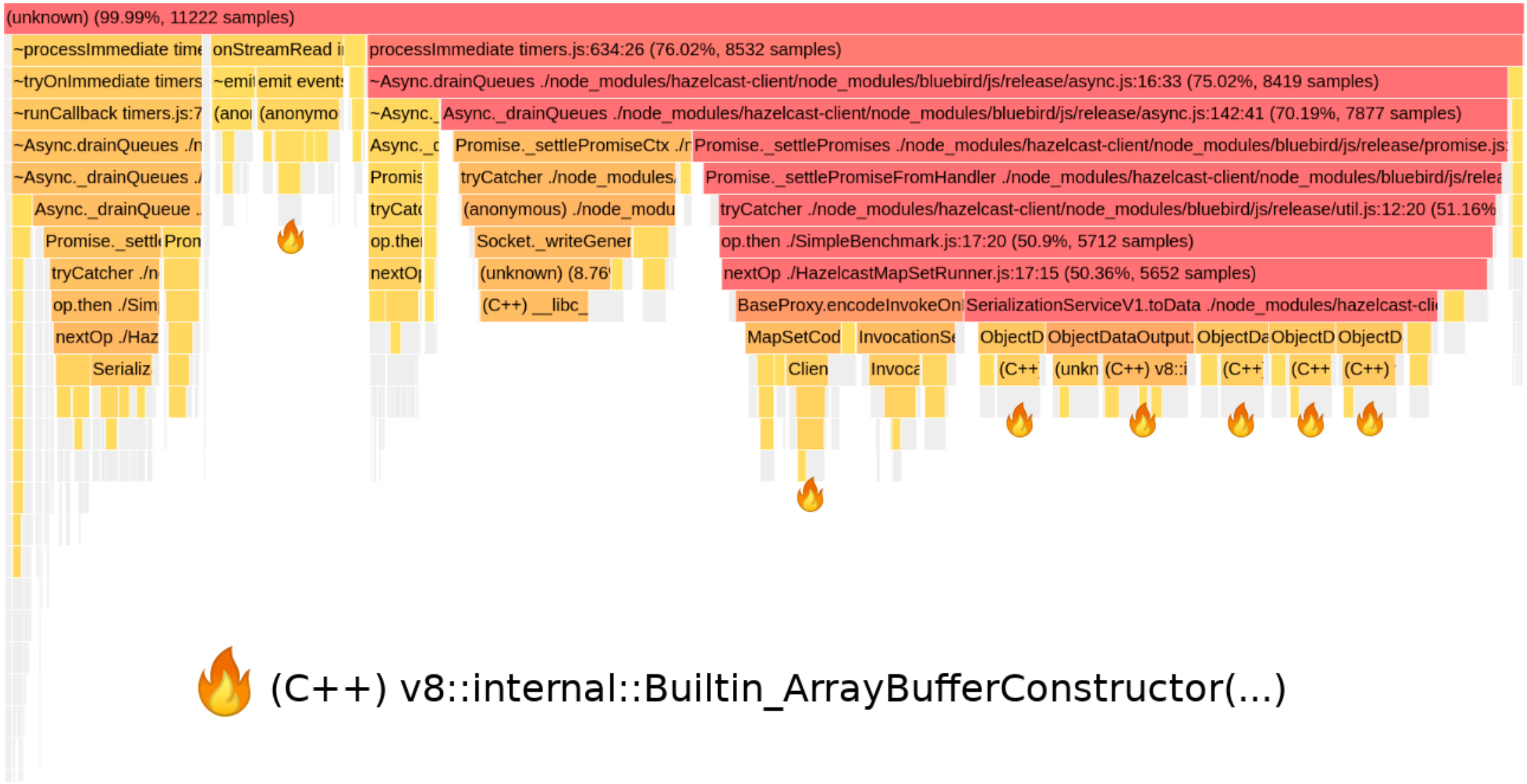
Базовый замер

	3 B	1 KB	100 KB
`Map#get()`	90 933	23 591	105
`Map#set()`	76 011	44 324	1 558

Видны проблемы?

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

Профилировщик, приди! (запись 3 B)



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 буферы копируются в финальный
- Это упрощает код, но производительность страдает
- Сначала делаем PoC с полумерой, поскольку полная правка требует много времени

PoC 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);

        // ...
```

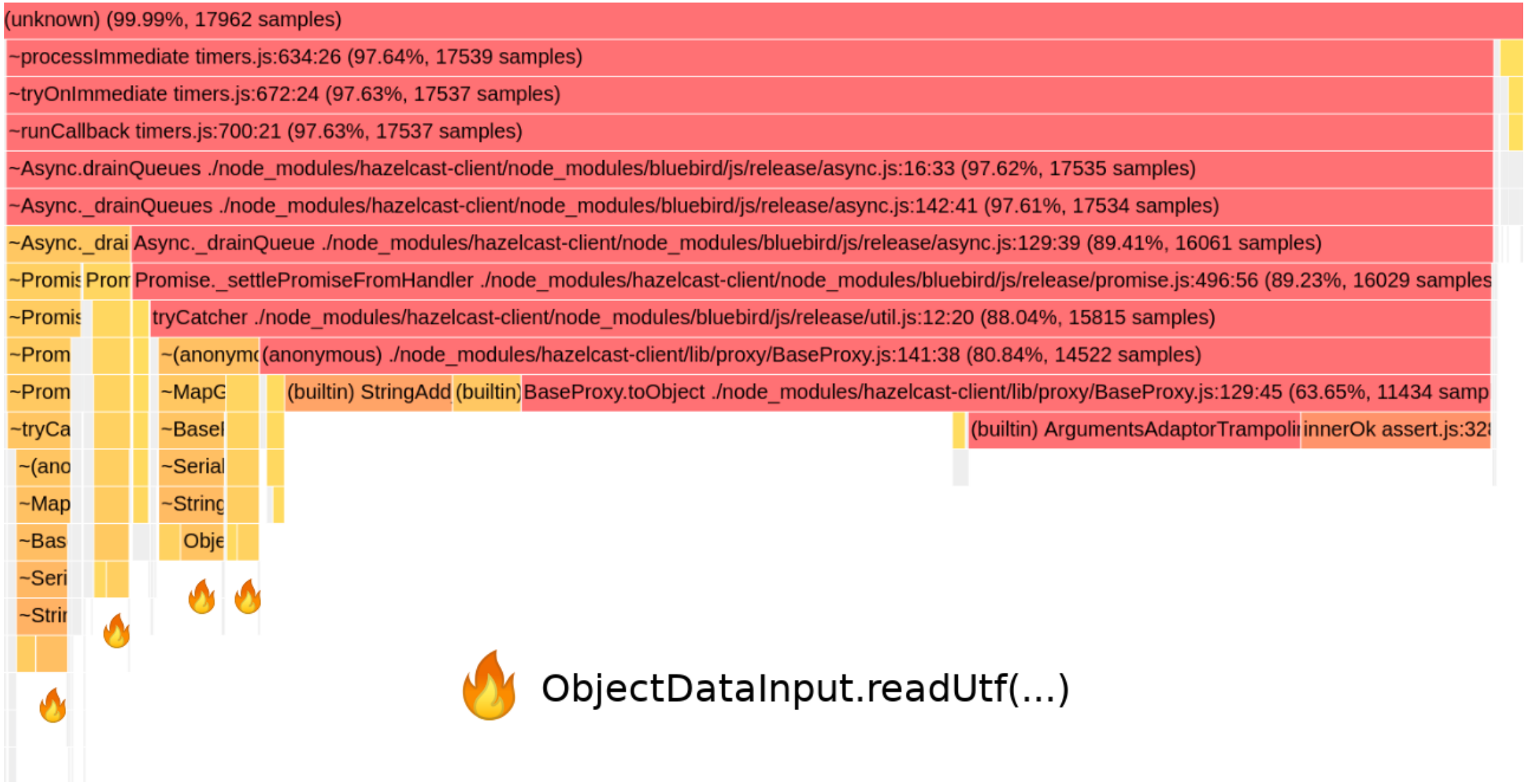
Замер производительности PoC

	`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 лишних аллокаций в будущих релизах
- Результаты для больших размеров оставляют желать лучшего
- Так что же у нас с зависимостью от размера данных?

Профилировщик, приди! (чтения 100 KB)



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)сериализация UTF-8 строк
- Похоже на предварительную оптимизацию
- Почему бы не сравнить со стандартным API?

```
private readUTF(pos?: number): string {
    const len = this.readInt(pos);
    // ...
    const result =
      this.buffer.toString('utf8', this.pos, this.pos + len);
    this.pos += len;
    return result;
}
```

Микробенчмарк

	100 B ASCII	100 KB ASCII	100 B UTF	100 KB UTF
custom	1 515 803	616	1 093 390	613
standard	11 297 821	68 721	1 311 610	794
	+645%	**+11 056%**	**+20%**	**+29%**

* Результаты 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 норе?

```
// 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);
  }
// ...
```

PoC для сериализации

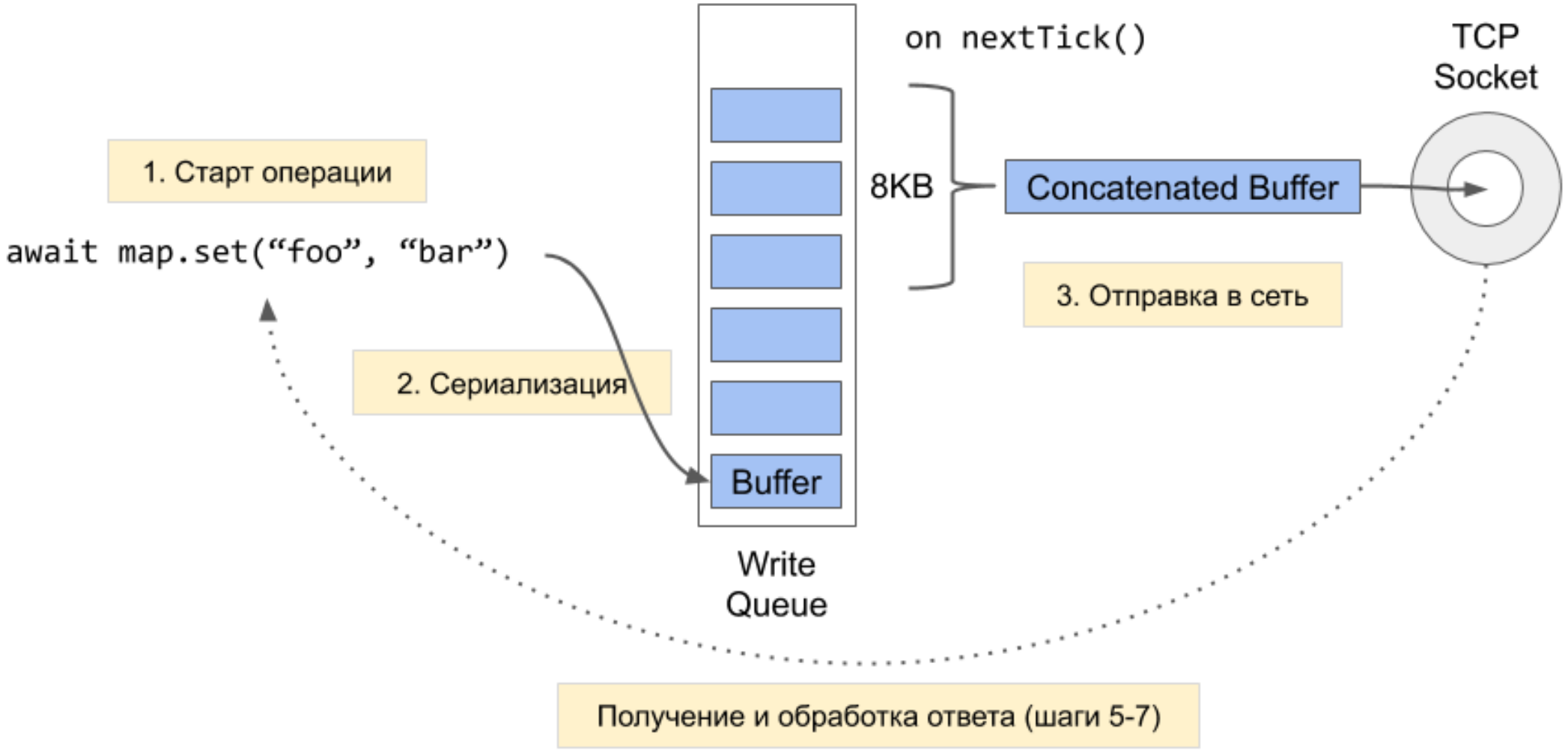
TODO: таблица с результатами

Промежуточные итоги

- Гипотеза верна и правка идет в ближайший релиз

TODO: тут будет еще куча слайдов

Логика работы Automated Pipelining



#5: Планы на будущее

TODO: тут будет еще куча слайдов

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!

Особенность `Buffer#allocUnsafe()`

- TODO рассказать про встроенный пул

Еще раз спасибо за внимание!

Время для Q&A