3. Протокол HTTP и веб-сервисы

Сухорослов Олег Викторович

18.09.2023

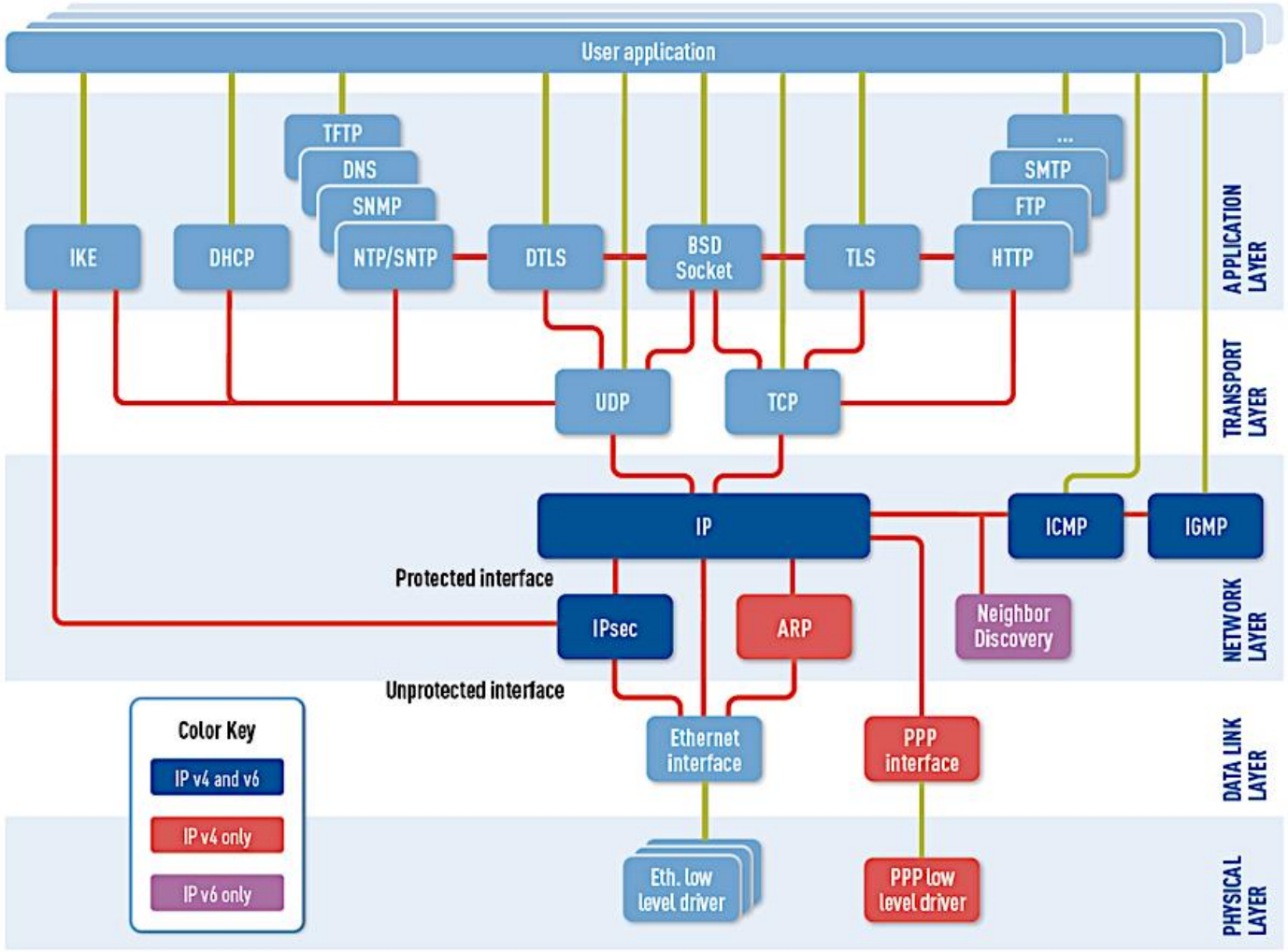
План лекции

- Эволюция протокола HTTP
- Веб-сервисы, REST, сравнение с RPC

Протокол

- Набор правил взаимодействия между компонентами системы (процессами, устройствами…)
- Типы, семантика и структура сообщений
- Форматы передачи данных
- Правила обработки сообщений
- Адресация компонентов
- Управление соединением
- Обнаружение и обработка ошибок
- …

Стек протоколов



Hypertext Transfer Protocol

HTTP 0.9

- The Original HTTP as defined in 1991
- Клиент-сервер, запрос-ответ
- Представление данных – ASCII
- Запрос – одна строка (GET ...)
- Ответ – гипертекстовый документ (HTML)
- Транспорт – TCP, соединение закрывается после каждого запроса

HTTP 0.9: пример

```
$> telnet google.com 80

Connected to 74.125.xxx.xxx

GET /about/

(hypertext response)
(connection closed)
```

HTTP/1.0

- RFC 1945 (1996)
  - Документирует best practices, не является формальной спецификацией
  - Фокус на простоте реализации
- Методы GET, HEAD, POST
- Запрос и ответ содержат версию протокола
- Запрос и ответ могут содержать заголовки (дополнительные метаданные)
- Ответ включает статус обработки запроса
- Тело ответа может содержать не только гипертекст
- Content encoding, character set support, multi-part types, authorization, caching...
- Соединение по-прежнему закрывается после каждого запроса

HTTP/1.0: пример

```
$> telnet website.org 80

Connected to xxx.xxx.xxx.xxx

GET /rfc/rfc1945.txt HTTP/1.0
User-Agent: CERN-LineMode/2.15 libwww/2.17b3
Accept: */*

HTTP/1.0 200 OK
Content-Type: text/plain
Content-Length: 137582
Expires: Thu, 01 Dec 1997 16:00:00 GMT
Last-Modified: Wed, 1 May 1996 12:45:26 GMT
Server: Apache 0.84

(plain-text response)
(connection closed)
```

HTTP/1.1

- RFC 2068 (1997), RFC 2616 (1999), RFC 7230 (2014)
- Официальный Internet Standard

“In general, an Internet Standard is a specification that is stable and well-understood, is technically competent, has multiple, independent, and interoperable implementations with substantial operational experience, enjoys significant public support, and is recognizably useful in some or all parts of the Internet.” (RFC 2026)

HTTP/1.1

The Hypertext Transfer Protocol (HTTP) is an **application-level protocol** for distributed, collaborative, **hypermedia** information systems.

It is a **generic**, **stateless***, object-oriented protocol which can be used for **many tasks**, such as name servers and distributed object management systems, through **extension** of its request methods.

A feature of HTTP is the typing and **negotiation of data representation**, allowing systems to be built independently of the data being transferred.

RFC 2068 (1997)

***Stateless** (применительно к протоколу) означает, что для обработки запроса серверу не нужно хранить какого-то состояния, связанного с предыдущими запросами клиента. Иными словами: каждый запрос, который отправляет клиент, содержит всю необходимую информацию для его обработки.

HTTP/1.1

- Методы OPTIONS, PUT, DELETE, TRACE, CONNECT
- Persistent (keepalive) connections
- Chunked encoding transfers
- Byte-range requests
- Additional caching mechanisms
- Transfer encodings
- Request pipelining

HTTP/1.1: пример

```
$> telnet website.org 80
Connected to xxx.xxx.xxx.xxx

GET /index.html HTTP/1.1
Host: website.org
User-Agent: Mozilla/5.0 (Macintosh; Intel Mac OS X 10_7_4)... (snip)
Accept: text/html,application/xhtml+xml,application/xml;q=0.9,*/*;q=0.8
Accept-Encoding: gzip,deflate,sdch
Accept-Language: en-US,en;q=0.8
Accept-Charset: ISO-8859-1,utf-8;q=0.7,*;q=0.3
Cookie: __qca=P0-800083390... (snip)

HTTP/1.1 200 OK
Server: nginx/1.0.11
Connection: keep-alive
Content-Type: text/html; charset=utf-8
Via: HTTP/1.1 GWA
Date: Wed, 25 Jul 2012 20:23:35 GMT
Expires: Wed, 25 Jul 2012 20:23:35 GMT
Cache-Control: max-age=0, no-cache
Transfer-Encoding: chunked
```

HTTP/1.1: пример (2)

```
100
<!doctype html>
(snip)

100
(snip)

0

GET /favicon.ico HTTP/1.1
Host: www.website.org
User-Agent: Mozilla/5.0 (Macintosh; Intel Mac OS X 10_7_4)... (snip)
Accept: */*
Referer: http://website.org/
Connection: close
Accept-Encoding: gzip,deflate,sdch
Accept-Language: en-US,en;q=0.8
Accept-Charset: ISO-8859-1,utf-8;q=0.7,*;q=0.3
Cookie: __qca=P0-800083390... (snip)
```

HTTP/1.1: пример (3)

```
HTTP/1.1 200 OK
Server: nginx/1.0.11
Content-Type: image/x-icon
Content-Length: 3638
Connection: close
Last-Modiafied: Thu, 19 Jul 2012 17:51:44 GMT
Cache-Control: max-age=315360000
Accept-Ranges: bytes
Via: HTTP/1.1 GWA
Date: Sat, 21 Jul 2012 21:35:22 GMT
Expires: Thu, 31 Dec 2037 23:55:55 GMT
Etag: W/PSA-GAu26oXbDi

(icon data)
(connection closed)
```

Методы HTTP

- GET
  - запрос представления ресурса с данным URI (Uniform Resource Identifier)
  - только чтение, не меняет ресурс и состояние сервера
- POST
  - создание нового ресурса (с новым URI!), отправка формы, запуск операции
  - необходимые данные передаются в теле запроса
- PUT
  - запись представления ресурса с данным URI
  - в теле запроса передается представление ресурса
- DELETE
  - удаление ресурса с данным URI

Особенности методов

HTTP method	RFC	Request has Body	Response has Body	Safe	Idempotent	Cacheable
GET	RFC 7231	Optional	Yes	Yes	Yes	Yes
HEAD	RFC 7231	Optional	No	Yes	Yes	Yes
POST	RFC 7231	Yes	Yes	No	No	Yes
PUT	RFC 7231	Yes	Yes	No	Yes	No
DELETE	RFC 7231	Optional	Yes	No	Yes	No
CONNECT	RFC 7231	Optional	Yes	No	No	No
OPTIONS	RFC 7231	Optional	Yes	Yes	Yes	No
TRACE	RFC 7231	No	Yes	Yes	Yes	No
PATCH	RFC 5789	Yes	Yes	No	No	No

Безопасный метод - не подразумевает эффектов на стороне сервера (read-only)

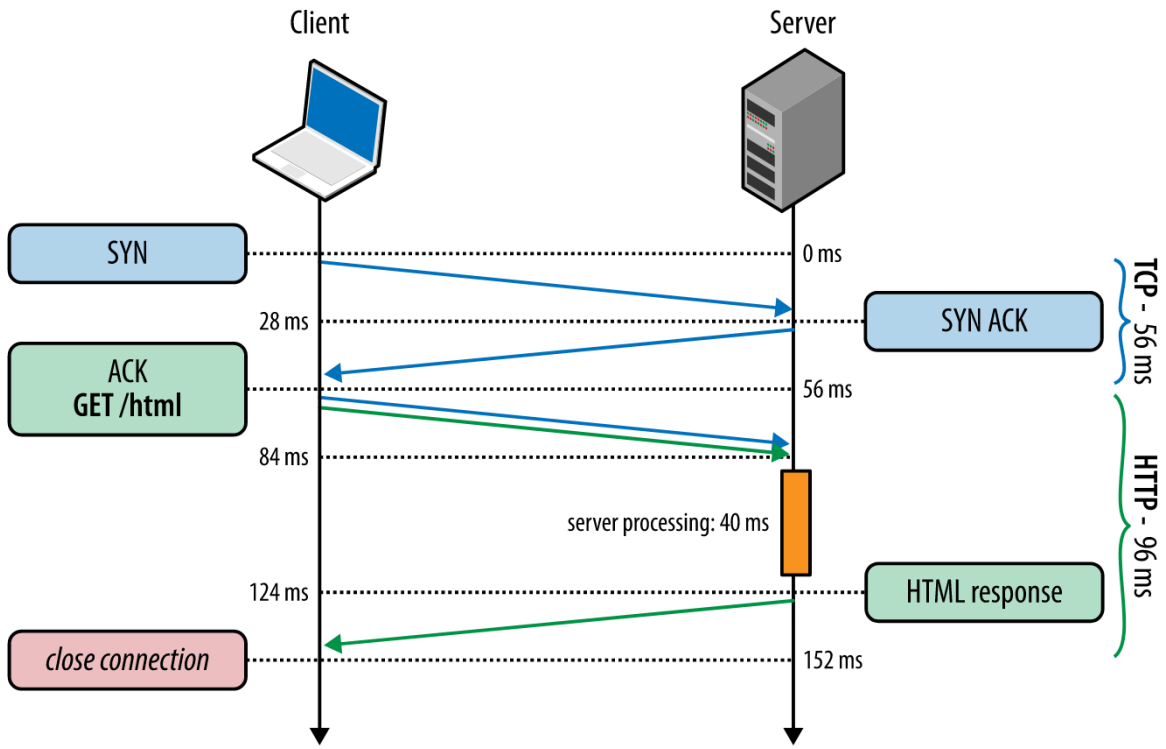
Идемпотентный метод - несколько идентичных запросов имеют такой же эффект, что однократный запрос

Эволюция веб-приложений

- Одиночный гипертекстовый документ
- Веб-страница
  - стили, изображения, нет интерактива
- Веб-приложение
  - интерактив, JavaScript, динамический HTML, AJAX, SPA
- Растут объемы и количество запросов
  - высокие требования к производительности приложений
  - задержка более 300 мс неприемлема

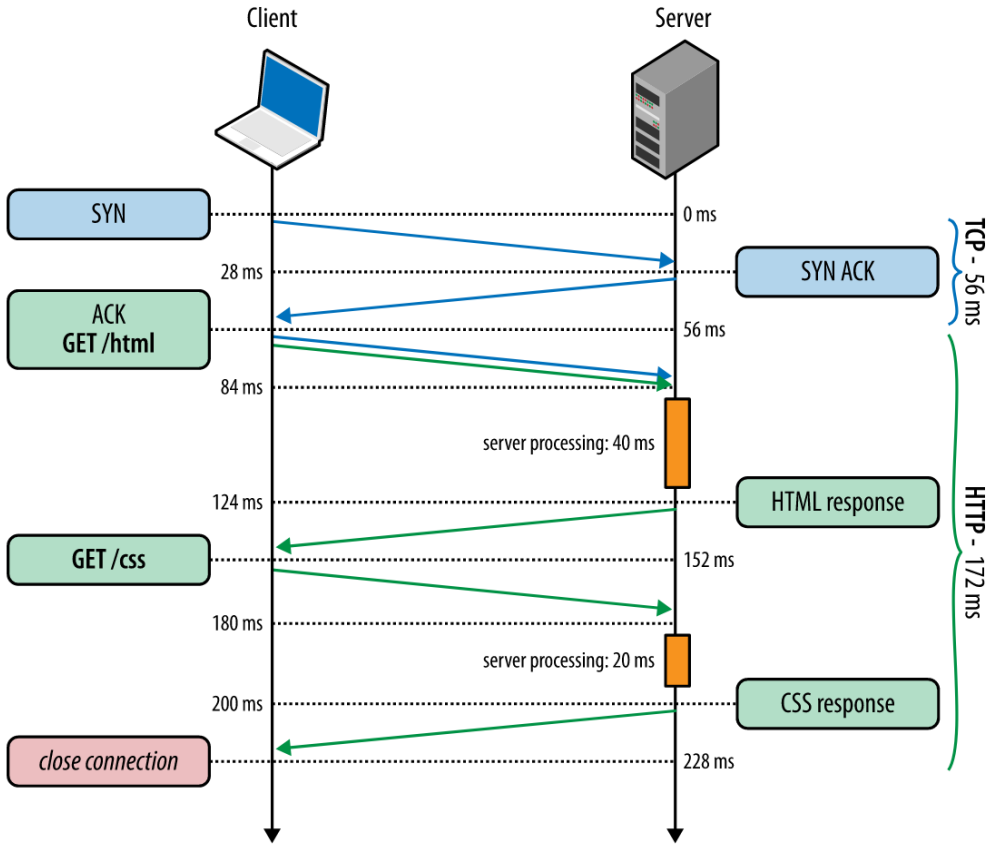
Задержка на стороне клиента

- Разрешение доменного имени (DNS lookup)
- Установление TCP-соединения: RTT (HTTPS: +1-2 RTT на TSL handshake)
- Отправка запроса и получение ответа: RTT + время обработки запроса



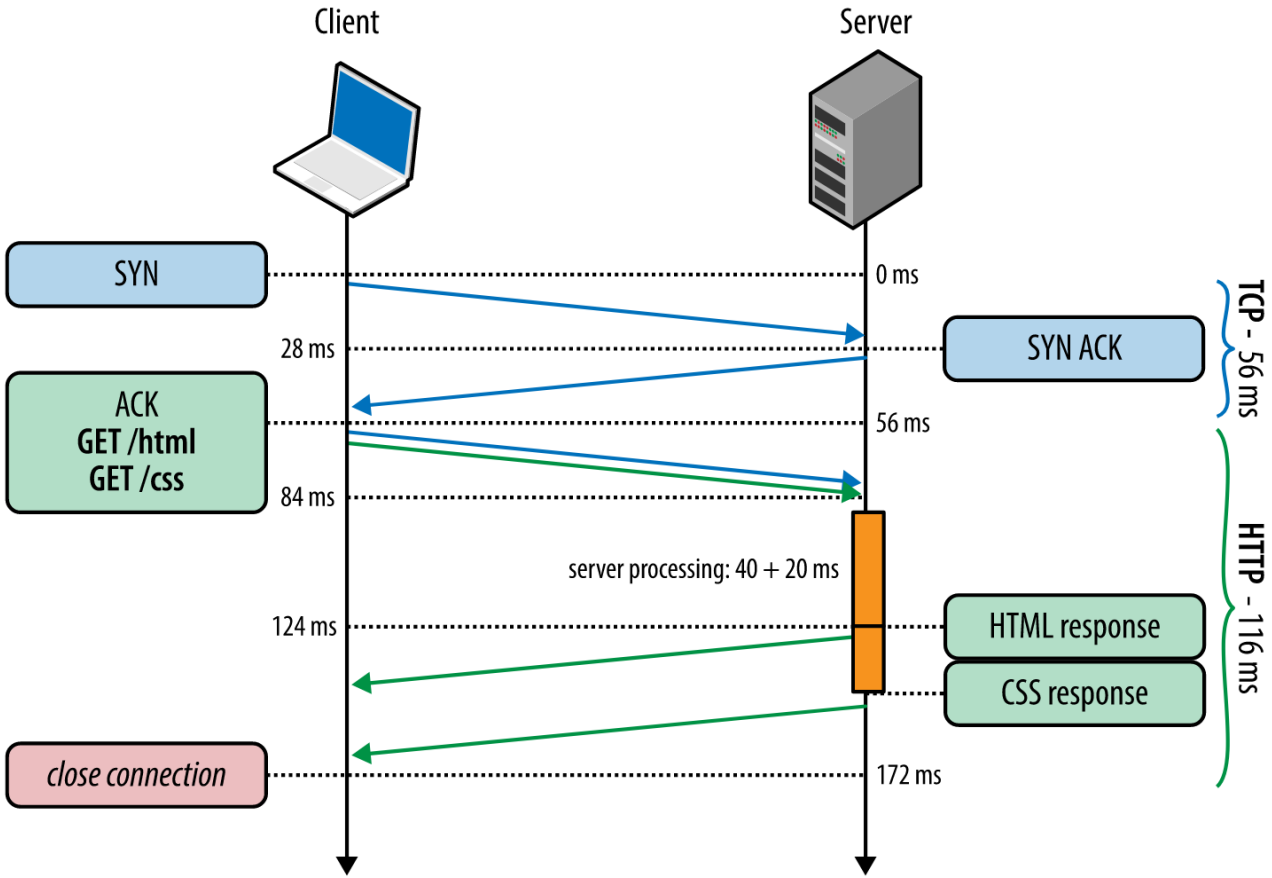
Keepalive Connections

- Использование установленного TCP-соединения для отправки последующих запросов
  - Уменьшает задержку на RTT
- По умолчанию соединение не закрывается после обработки запроса (HTTP/1.1)
- Клиент может запросить закрытие соединения с помощью заголовка “Connection: close”

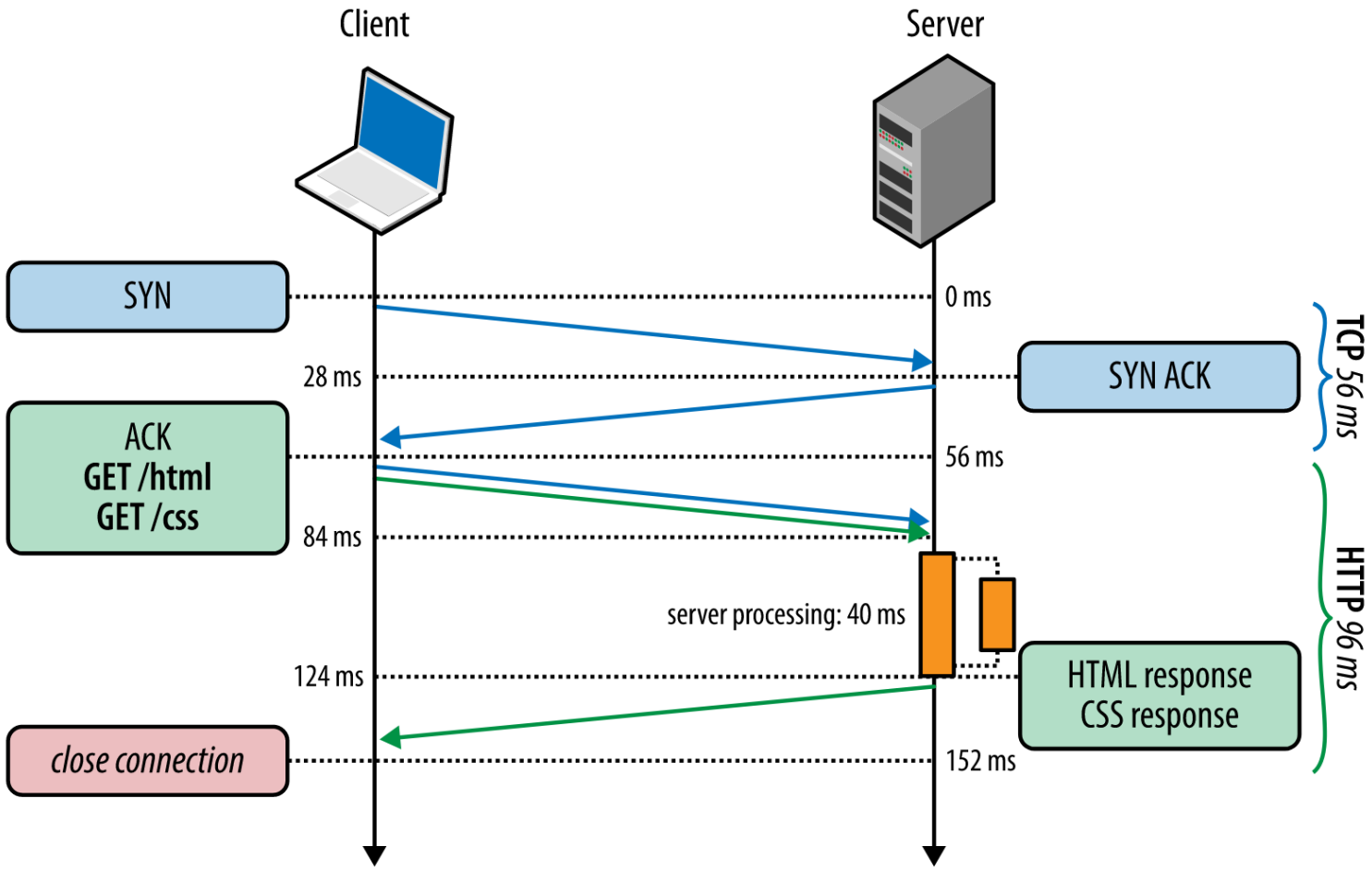


HTTP Pipelining (FIFO)

Отправка нескольких запросов в одном соединении, не ожидая ответов



Параллельная обработка запросов



Проблемы HTTP/1.x

- Нельзя "перемешивать" ответы на разные запросы в рамках соединения
- Ответы возвращаются целиком в порядке их поступления на сервер
- Один медленный запрос может заблокировать все запросы после него
  - т.н. проблема **head-of-line blocking** (ср. с доставкой пакетов в TCP)
- При параллельной обработке серверы вынуждены буферизовать ответы
- Ошибка при обработке одного запроса может повлечь за собой закрытие соединения, повторную отправку и обработку всех последующих запросов
- Промежуточные серверы (прокси) могут не поддерживать или затруднять использование pipelining

Обход проблем

- Браузеры открывают сразу несколько (до 6) соединений с каждым сервером
- Дополнительные накладные расходы на стороне клиента и сервера
- Повышенная сложность реализации клиента
- Параллелизм ограничен небольшим числом, долгие запросы могут блокировать выполнение остальных
  - отсюда другой workaround – domain sharding
- Никак не решает проблемы DNS-запросов и медленного старта TCP

Накладные расходы (protocol overhead)

- Для обеспечения обратной совместимости заголовки и другие метаданные передаются как текст
- С учётом cookies их размер может составлять несколько КБ в несжатом виде и заметно превышать размер тела сообщения

Уменьшение числа запросов

- Загрузка нескольких ресурсов с помощью одного HTTP-запроса
  - Concatenation: несколько файлов объединяются в один файл (JS, CSS)
  - Spriting: аналогичный подход для изображений
  - Resource inlining: вставка содержимого ресурсов в документ
- Привносят новые проблемы
  - например, загрузка всех файлов при обновлении одного
- Очередные "обходы" ограничений HTTP/1.x

В чем причина проблем?

- Ограничения HTTP/1.x
- Протокол TCP плохо подходит для эпизодических коротких взаимодействий в стиле запрос-ответ с небольшими данными
  - изначально был оптимизирован для длительной передачи относительно больших объемов данных

SPDY

- 2009 – экспериментальный протокол от Google
  - улучшение производительности HTTP,
    в первую очередь – уменьшение задержек
  - загрузка страниц быстрее на 50%
- 2012
  - поддержка SPDY в основных браузерах
  - начало работ над новой спецификацией HTTP на основе SPDY

HTTP/2

There is emerging implementation experience and interest in a protocol that **retains the semantics** of HTTP without the legacy of HTTP/1.x **message framing and syntax**, which have been identified as hampering performance and encouraging misuse of the underlying transport.

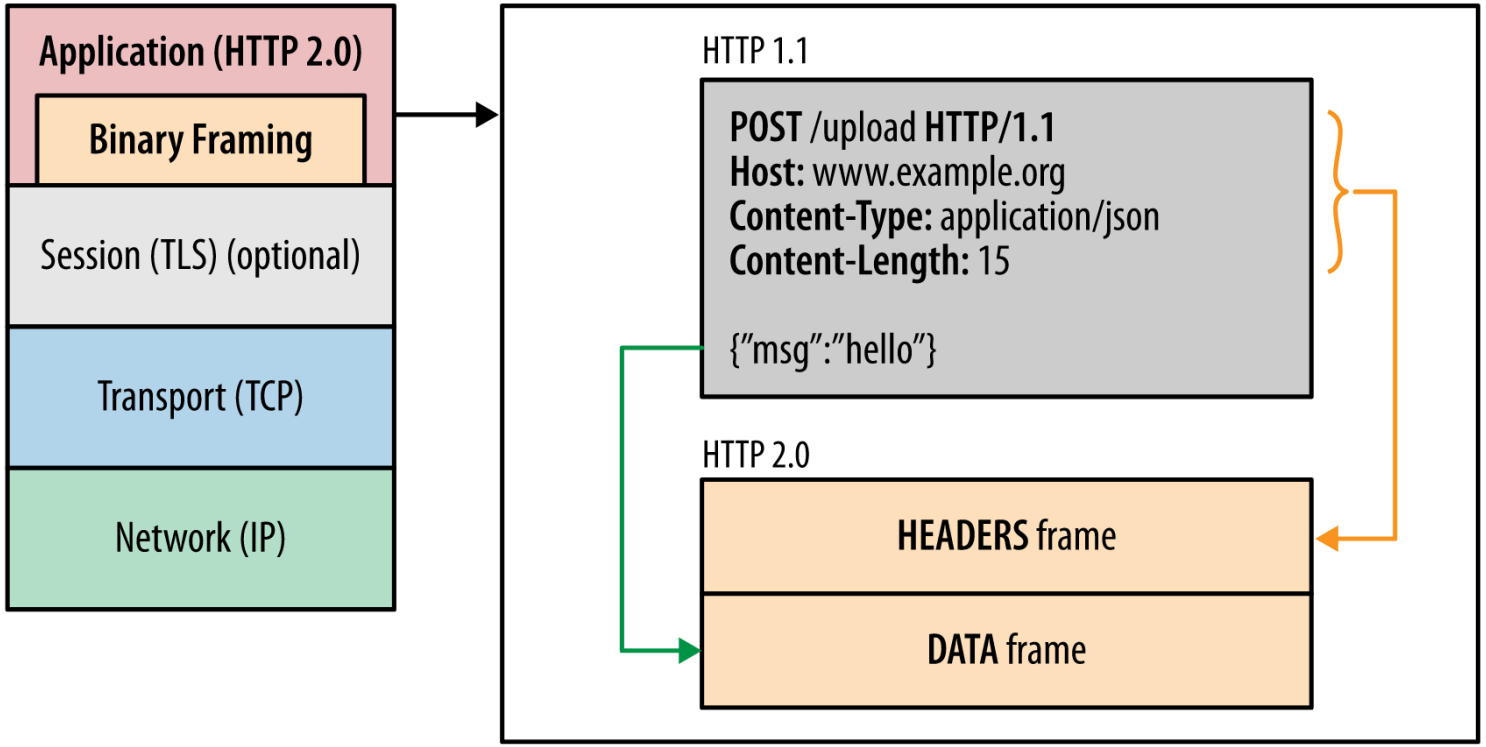
The working group will produce a specification of a new expression of HTTP's current semantics in **ordered, bi-directional streams**. As with HTTP/1.x, the primary target transport is TCP, but it should be possible to **use other transports**.

HTTP/2

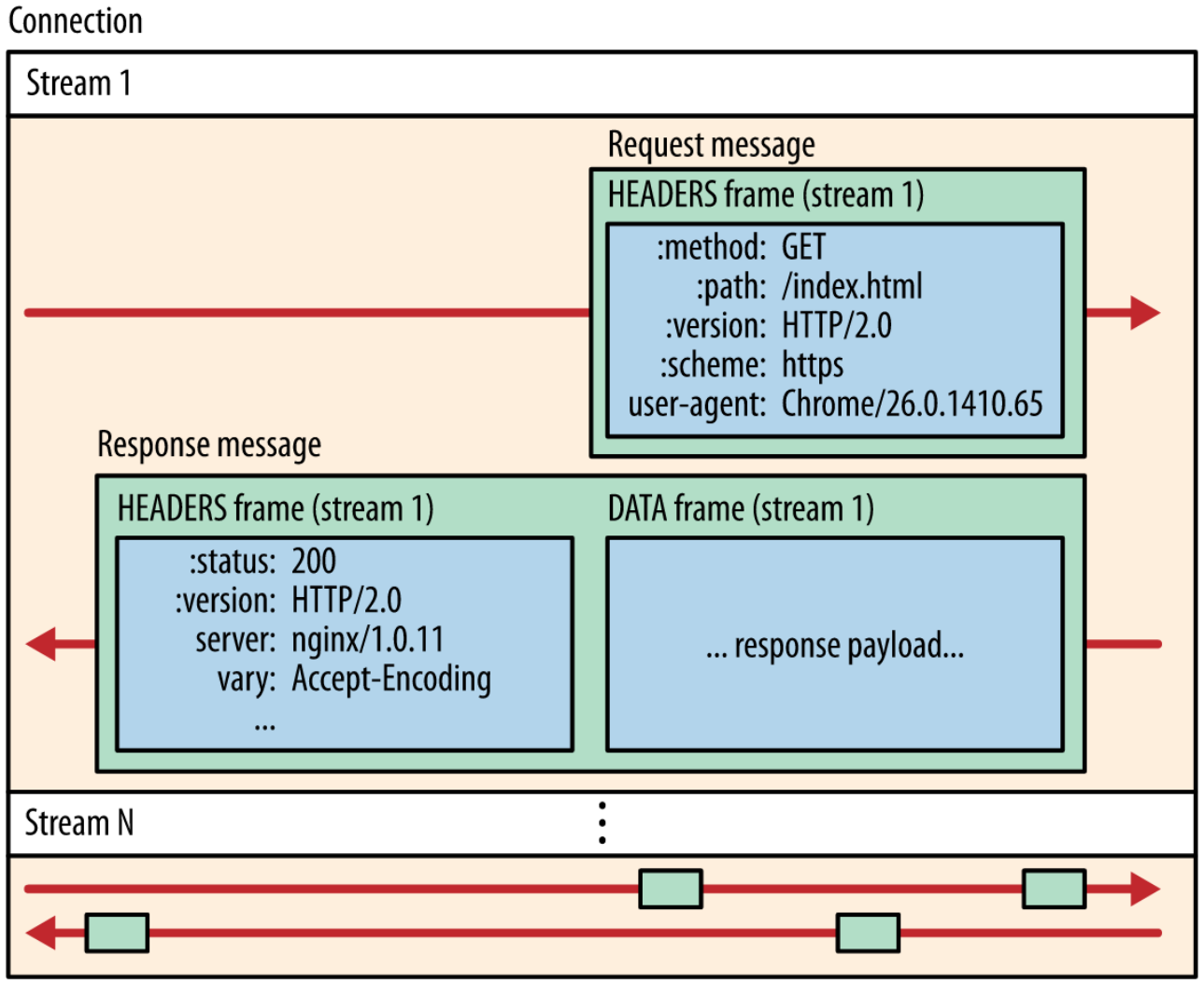
- 2015: RFC 7540 (HTTP/2), RFC 7541 (HPACK)
- Не меняет семантику HTTP (методы, статусы, заголовки, URI), что позволяет безболезненно мигрировать существующие приложения
- Основные новшества находятся на уровне передачи данных между клиентом и сервером
  - Разбиение и передача данных в бинарном формате
  - Мультиплексирование запросов и ответов
  - Сжатие заголовков, RFC 7541 (HPACK)
  - Приоритизация запросов
  - Server push

Представление данных

- Бинарный протокол
- Данные, которыми обмениваются клиент и сервер, разбиты на фрагменты



Передача данных

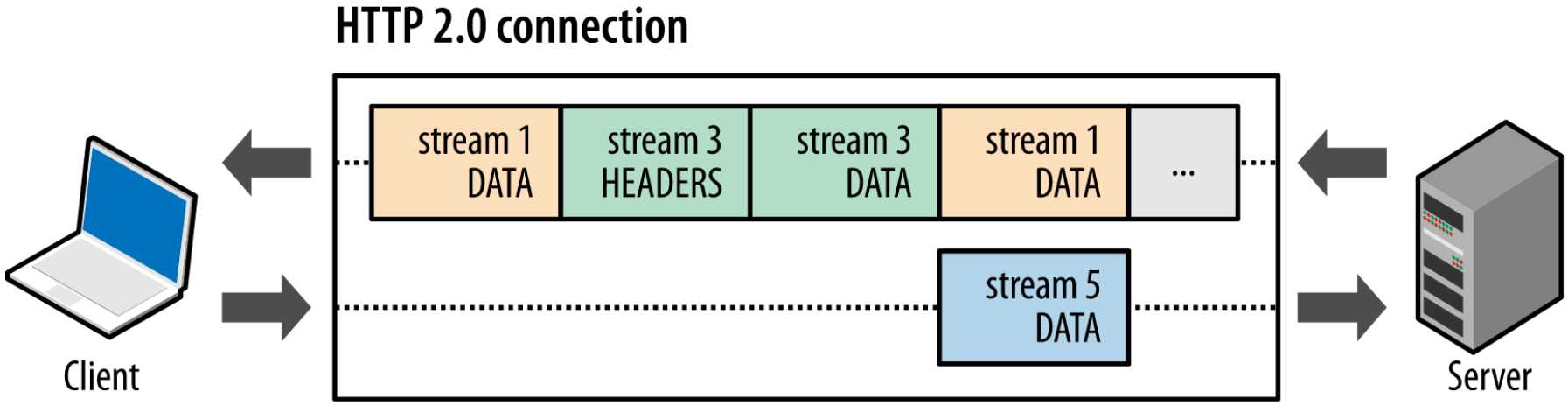


Передача данных

- **Поток (stream)** – двусторонний поток байтов по установленному соединению
  - В рамках одного соединения может быть несколько потоков
  - Поток имеет уникальный идентификатор и приоритет
- **Сообщение (message)** – запрос или ответ
  - Сообщение разбивается на один или несколько кадров
- **Кадр (frame)** – единица передачи данных
  - имеет заголовок, содержащий id потока
  - содержит определенный тип данных (DATA, HEADER, SETTINGS, PING...)
  - размер кадра DATA обычно ограничен ~16 KB
- Кадры разных потоков могут чередоваться при передаче внутри соединения

Мультиплексирование запросов и ответов

Новая модель передачи данных позволяет параллельно отправлять через одно соединение несколько запросов и получать несколько ответов, не блокируясь на каждом из них



Мультиплексирование запросов и ответов

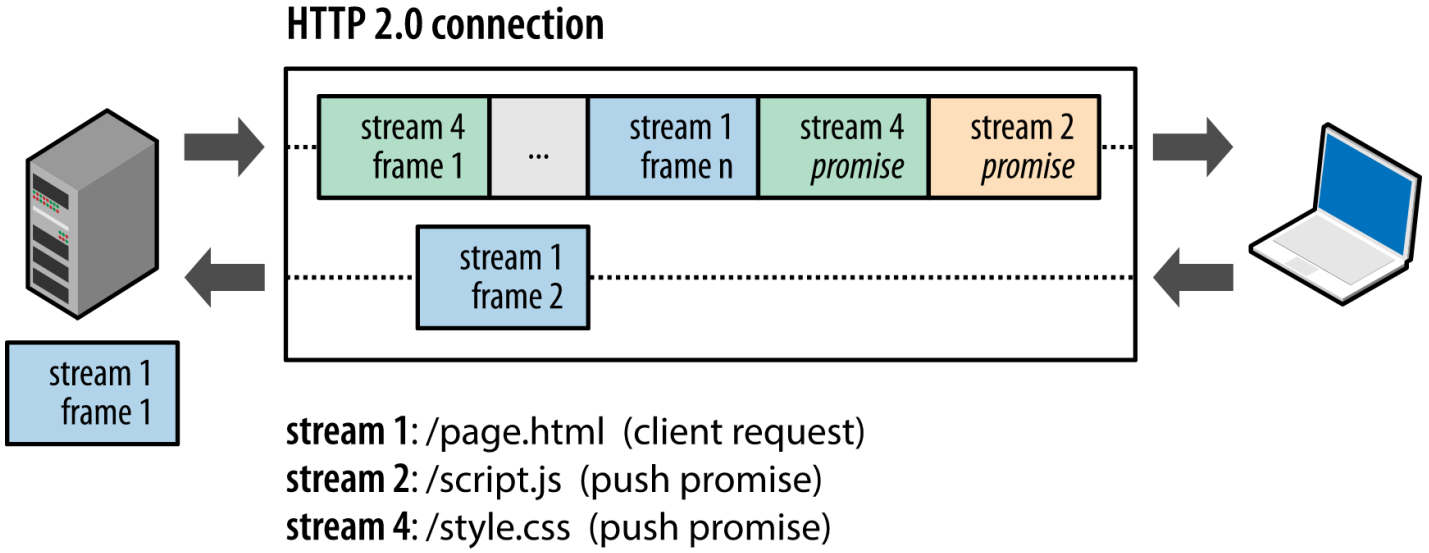
- Позволяет уменьшить задержки и более эффективно использовать ресурсы сети
- Устраняет head-of-line blocking
  - только на уровне HTTP, на уровне TCP проблема остается!
- Делает ненужными описанные обходы проблем HTTP/1.x
- Достаточно одного соединения с сервером

Управление передачей (flow control)

- Позволяет принимающей стороне регулировать скорость отправки данных отправителем
- HTTP/2 содержит механизм управления передачей на уровне потоков и всего соединения (применяется только к DATA кадрам)
- Получатель указывает размер окна (по умолчанию 64 КБ)
- Отправитель уменьшает окно при отправке данных и увеличивает при получении кадра WINDOW_UPDATE от получателя
- Может настраиваться на промежуточных узлах (hop-by-hop) в отличие от TCP (end-to-end)
- Спецификация не предписывает конкретный алгоритм, он определяется реализацией клиента/сервера

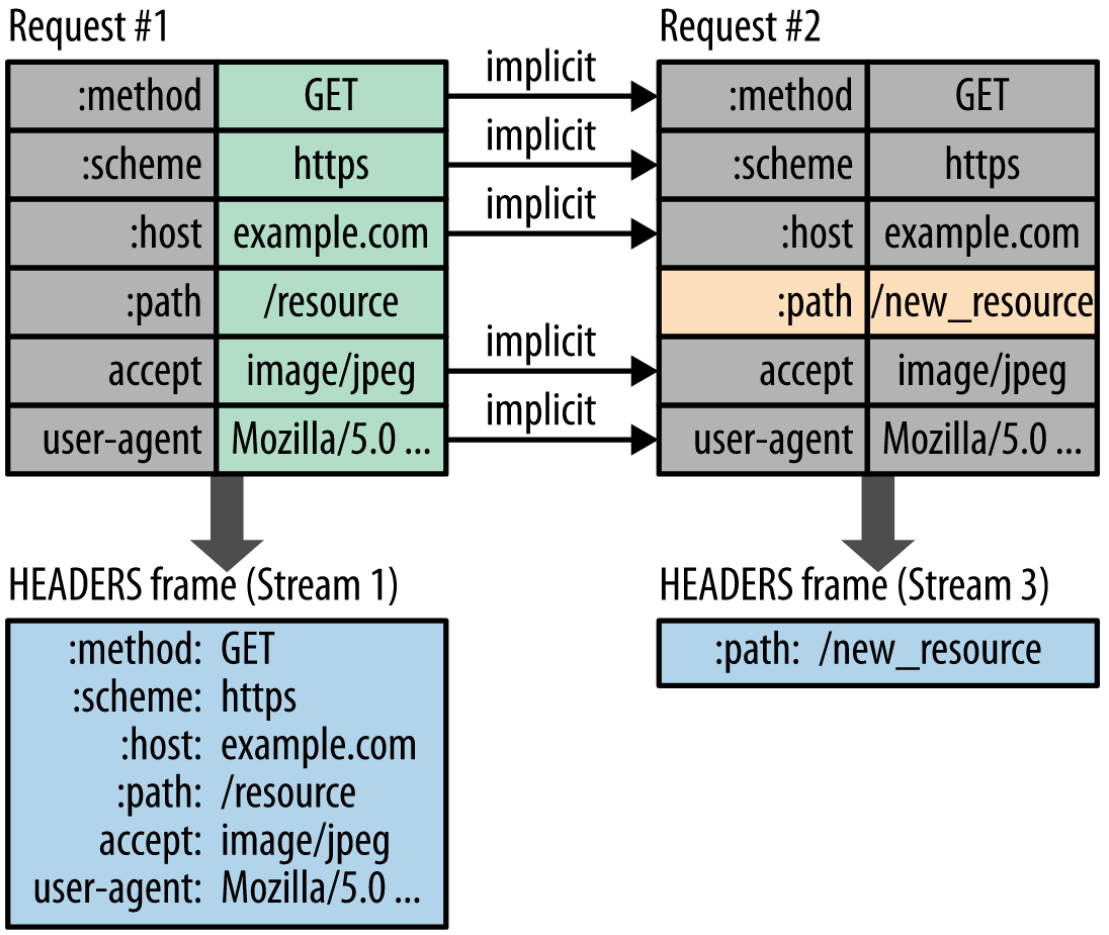
Server Push

- Возможность сервера отправить несколько ответов на один запрос клиента
  - предварительная загрузка ресурсов, отправка уведомлений...
- Данные передаются в отдельном потоке
  - перед отправкой данных сервер отправляет кадр PUSH_PROMISE
  - клиент может отказаться от получения данных



Сжатие заголовков

Заголовки запросов и ответов сжимаются с помощью формата HPACK



Переход с HTTP/1.x на HTTP/2

```
GET /page HTTP/1.1
Host: server.example.com
Connection: Upgrade, HTTP2-Settings
Upgrade: h2c
HTTP2-Settings: (SETTINGS payload)

HTTP/1.1 200 OK
Content-length: 243
Content-type: text/html

(... HTTP/1.1 response ...)

          (or)

HTTP/1.1 101 Switching Protocols
Connection: Upgrade
Upgrade: h2c

(... HTTP/2 response ...)
```

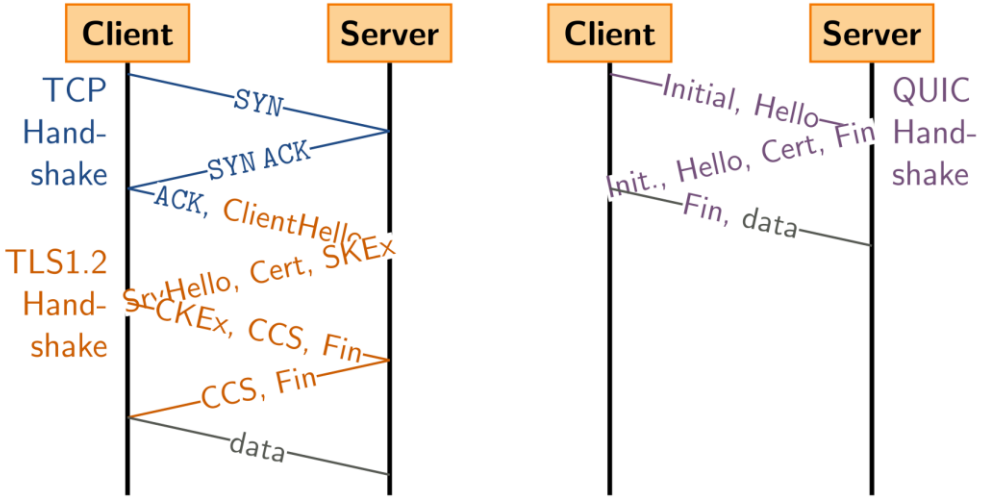
Дальнейшее развитие HTTP

- После устранения проблем HTTP/1.x настала очередь TCP
- Спецификации HTTP не предписывали использование именно TCP:

“HTTP communication usually takes place over TCP/IP connections... This does not preclude HTTP from being implemented on top of any other protocol on the Internet, or on other networks. HTTP only presumes a reliable transport; any protocol that provides such guarantees can be used; the mapping of the HTTP/1.1 request and response structures onto the transport data units of the protocol in question is outside the scope of this specification.”

HTTP/3

- HTTP/3 реализует семантику HTTP поверх нового протокола транспортного уровня QUIC (RFC 9000, 2021)
- Спецификация RFC 9114 (июнь 2022, статус Proposed Standard)
- Поддержка браузерами: 73% полностью + 19% частично
- Поддержка сайтами: 27% (HTTP/2: 36%)



HTTP как универсальный протокол

HTTP is a **generic interface protocol for information systems**. It is designed to hide the details of how a service is implemented by presenting a **uniform interface** to clients that is independent of the types of resources provided. Likewise, servers do not need to be aware of each client's purpose: an HTTP request can be considered in isolation rather than being associated with a specific type of client or a predetermined sequence of application steps. The result is a protocol that can be used effectively in many different contexts and for which implementations can evolve independently over time.

HTTP/1.1, RFC 7230 (2014)

Web как платформа для приложений

- Изначально:
  - доступ пользователей к информации и общение друг с другом
  - стандартные клиентские приложения (браузеры)
  - пользовательские интерфейсы
- Сейчас:
  - взаимодействие между произвольными приложениями по сети
  - программные интерфейсы (API)
  - веб-сервисы

REST-сервисы

- Второе поколение веб-сервисов (2010-е)
  - Первое - SOAP-сервисы на базе стека стандартов WS-* (2000-е)
- Лучше интегрированы со стандартами Web чем SOAP-сервисы
- Сейчас основной подход к реализации веб-сервисов
- Основаны на архитектурном стиле Representational State Transfer (REST)
  - Fielding R. Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures (2000)
  - Изначально был создан для построения масштабируемых распределенных гипермедийных систем
  - Использовался при проектировании протокола HTTP

Принципы REST

- Клиент-серверная модель
- Сервер предоставляет доступ к набору **ресурсов**, идентифицируемых с помощью URI
- Клиенты взаимодействуют с ресурсами через фиксированный набор **операций**
- Ресурсы могут иметь несколько **представлений** в различных форматах
- С ресурсом могут быть связаны **метаданные**, используемые для разных целей (кэширования, согласования форматов, авторизации...)
- В результате обработки запросов могут изменяться **состояния** ресурсов и клиентов
- Сервер не хранит информацию о состоянии клиентской **сессии** между запросами
  - протокол без сохранения состояния (**stateless protocol**)
  - каждый запрос должен содержать всю необходимую информацию для его выполнения
  - информация о состоянии сессии может быть передана сервером какому-либо другому сервису (например, базе данных)

Интерфейс REST-сервиса (REST API)

- Определение ресурсов
- Дизайн URI ресурсов (nouns vs verbs, иерархии ресурсов)
- Отображение действий на методы HTTP
- Представления ресурсов и форматы сообщений
- Связи между ресурсами и навигация

Task	Method	Path
Create a new task	POST	/tasks
Delete an existing task	DELETE	/tasks/{id}
Get a specific task	GET	/tasks/{id}
Search for tasks	GET	/tasks
Update an existing task	PUT	/tasks/{id}

REST-сервисы

- Преимущества
  - Полноценное использование стандартов и инфраструктуры Web
  - Низкий барьер, легковесные реализации, больше количество открытых решений
  - Масштабируемость за счет отсутствия состояния и поддержки кэширования
  - Возможность использования различных форматов сообщений, например JSON
  - Стандартные методы и гибкий формат данных позволяют легче развивать сервисы
- Недостатки
  - Ориентация на CRUD-приложения
  - Ограничения при передаче параметров GET-операций в URI
  - Поддержка только синхронных взаимодействий в стиле запрос-ответ

REST vs RPC

- Схема взаимодействия
- Формат сообщений
- Описание интерфейсов
- Генерация кода
- Обеспечение совместимости клиентов и серверов
- Области применения

Материалы

- High Performance Browser Networking (главы 9, 11, 12)
- HTTP/2 in Action (главы 1, 4, 9)
- REST in Practice: Hypermedia and Systems Architecture (главы 1-4)
- REST API Tutorial
- A QUICk Introduction to HTTP/3
- The QUIC Transport Protocol: Design and Internet-Scale Deployment