5954025 - Sistemas Distribuídos

Aula 09 - Comunicação via HTTP: Websockets

Prof. Dr. Denis M. L. Martins
DCM | FFCLRP | USP

Objetivos de Aprendizagem

- Compreender o que é WebSocket a motivação de sua criação.
- Descrever o fluxo de handshake e a estrutura dos frames.
- Diferenciar WebSocket de outras alternativas.
- Implementar uma aplicação simples.

Prof. Dr. Denis M. L. Martins | martins.denis@usp.br

Motivação

- A World Wide Web original foi projetada como um sistema de documentos de hipertexto interconectados
- Embora o HTTP/1.1 tenha introduzido conexões persistentes para reutilização, o modelo de comunicação permaneceu fundamentalmente o mesmo.
- Aplicações modernas exigem resposta imediata
- Atualizações em tempo real são essenciais

Exemplos:

- Chat online
- Jogos multiplayer
- Monitoramento de sistemas

Prof. Dr. Denis M. L. Martins | martins.denis@usp.br

Motivação

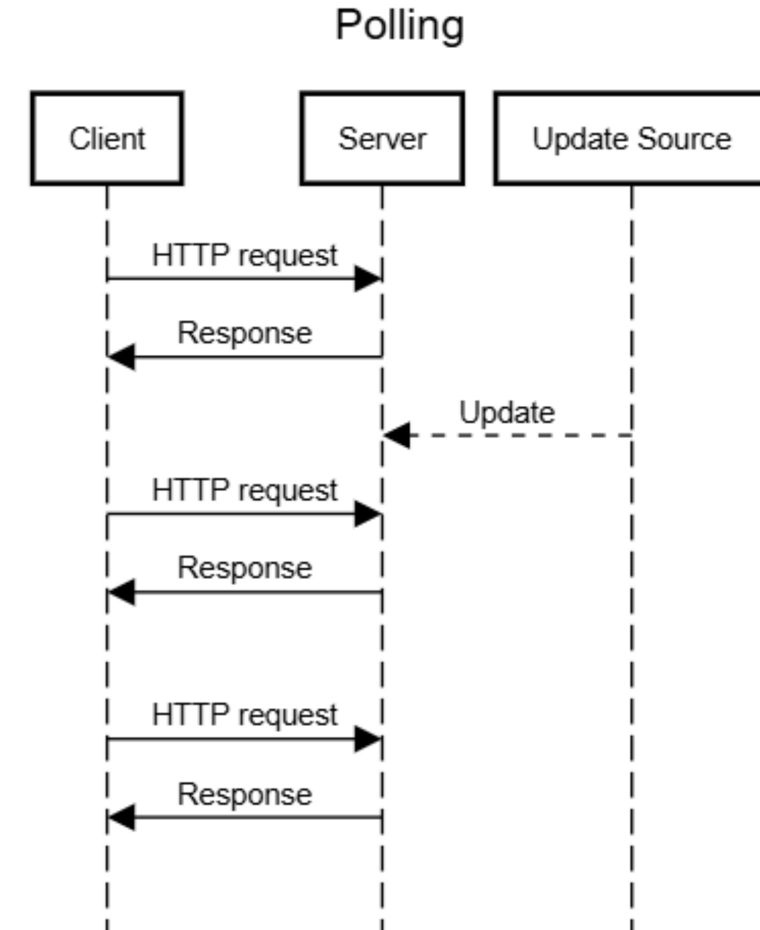
- O HTTP é inerentemente *Half-Duplex*, o que significa que o tráfego flui em apenas uma direção por vez.
- Protocolo *stateless*, tratando cada requisição como única e independente, o que exige o envio de cabeçalhos redundantes em todas as interações.
- O overhead é alto: metadados de cabeçalho frequentemente superam o tamanho dos dados reais transmitidos.
- A natureza do HTTP impede que o servidor envie dados de forma proativa para o cliente sem uma requisição pendente
- Aplicações modernas exigem interatividade responsiva e notificações imediatas
    - **Exemplo**: Chat que precisa atualizar constantemente

Prof. Dr. Denis M. L. Martins | martins.denis@usp.br

Soluções Históricas

Polling: Cliente envia requisição a cada intervalo fixo (ex: a cada 10 segundos). Servidor responde com dados acumulados (ou retorna uma mensagem vazia).

- O cliente aguarda o fim da resposta e imediatamente dispara a próxima requisição, mantendo assim uma sequência de chamadas.
- **Latência** controlada pelo intervalo escolhido (quanto menor o intervalo, mais próximo do "tempo real").
- **Sobrecarga de rede e CPU**: requisições frequentes geram tráfego desnecessário, especialmente quando não há dados novos.



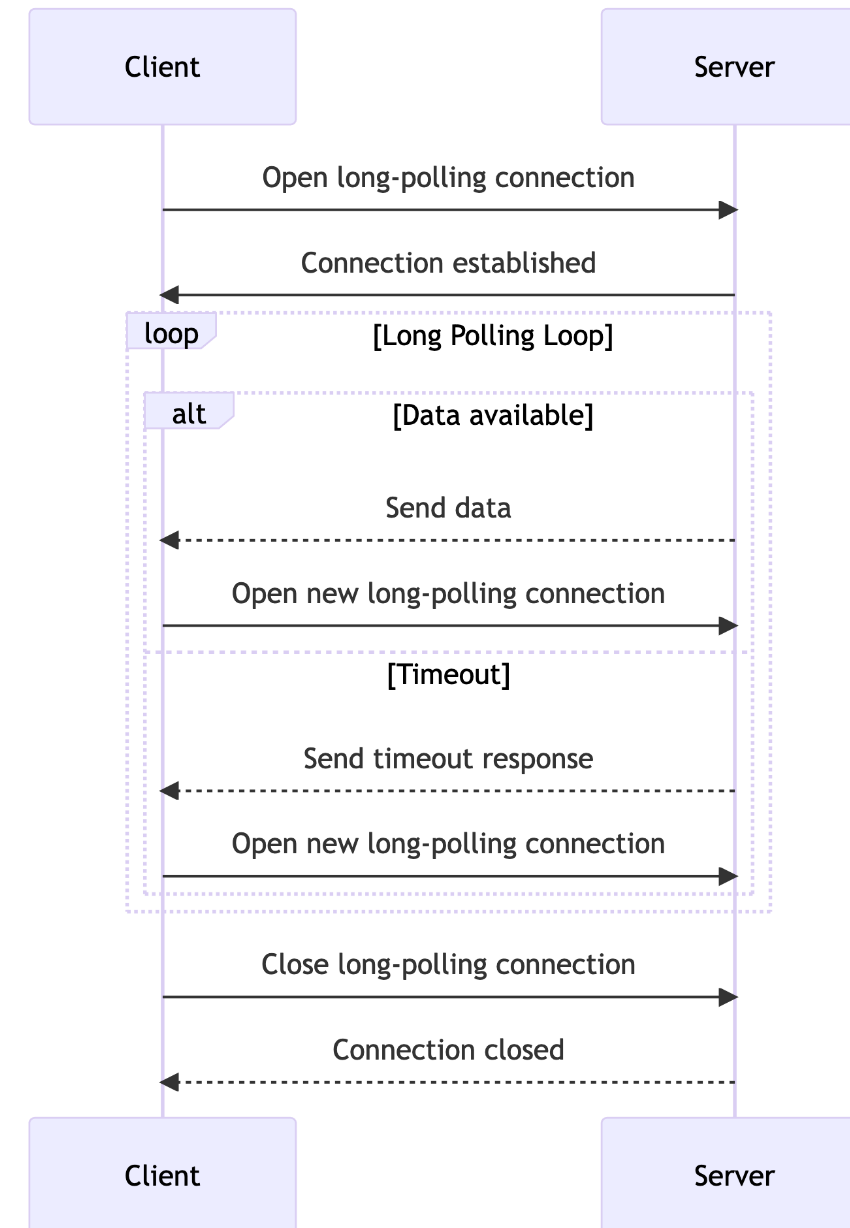
> Na imagem: diagrama de sequência de Polling por Jeyeong.

Soluções Históricas (cont.)

Long Polling: Técnica de comunicação web em que o cliente faz uma requisição e mantém a conexão aberta até que o servidor tenha novos dados.

1. Cliente envia request ao servidor.
2. Servidor aguarda (mantém a conexão "aberta").
3. Quando há nova informação, servidor responde e fecha a conexão.
4. Cliente imediatamente abre uma nova requisição para esperar por mais atualizações.

> Na imagem: diagrama de sequência de Long Polling. Fonte: Code Magazine

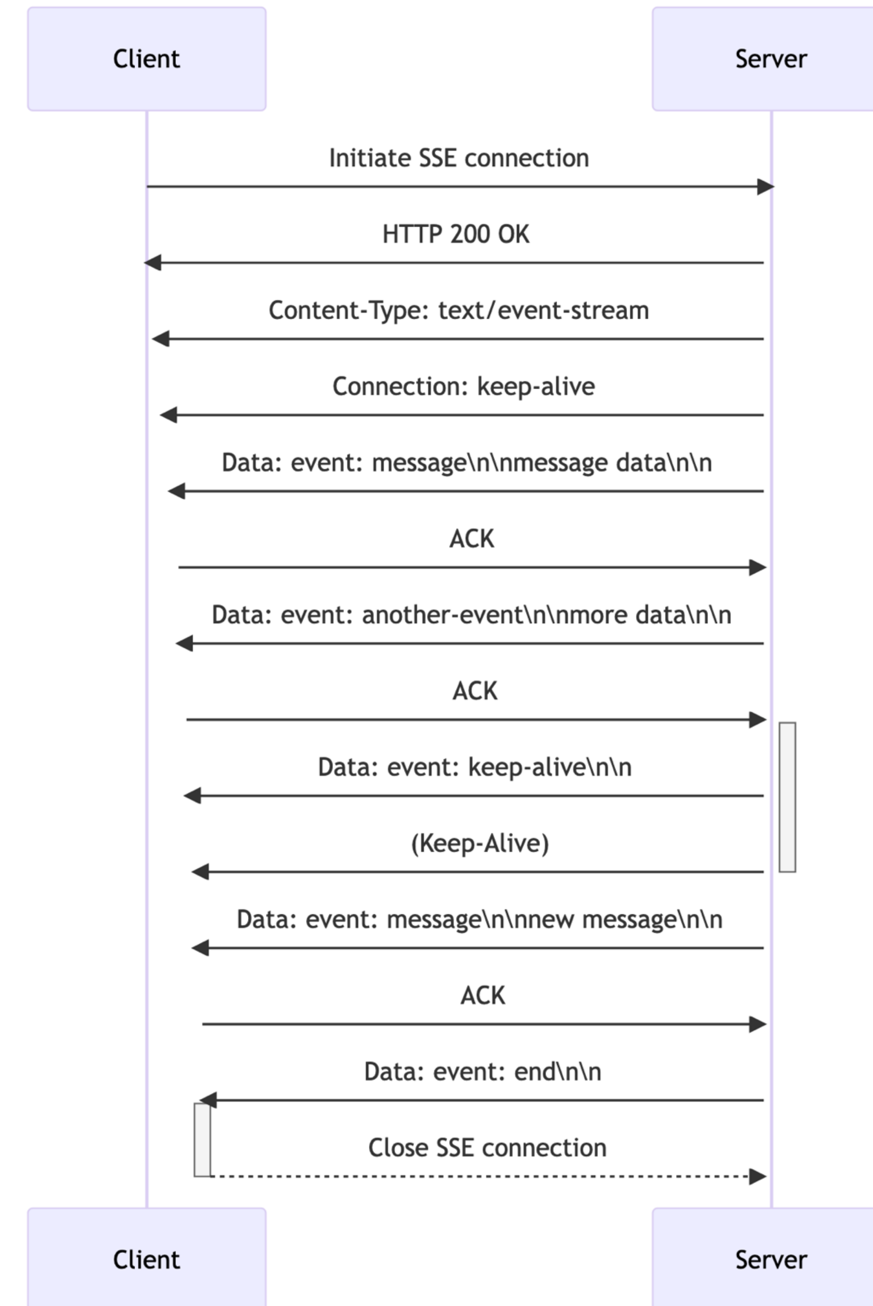


Soluções Históricas (cont.)

Server-Sent Events (SSE): Modelo de comunicação *unidirecional* em que as atualizações vêm do servidor (server push) para o cliente por meio de uma única conexão longa.

- Cliente abre uma conexão `GET /events` com cabeçalho `Accept: text/event-stream`.
- Fluxos contínuos sem necessidade de reconexão manual.
- Servidor mantém a conexão aberta e envia blocos delimitados por `\n\n`

> Na imagem: diagrama de sequência de SSE. Fonte: Code Magazine.

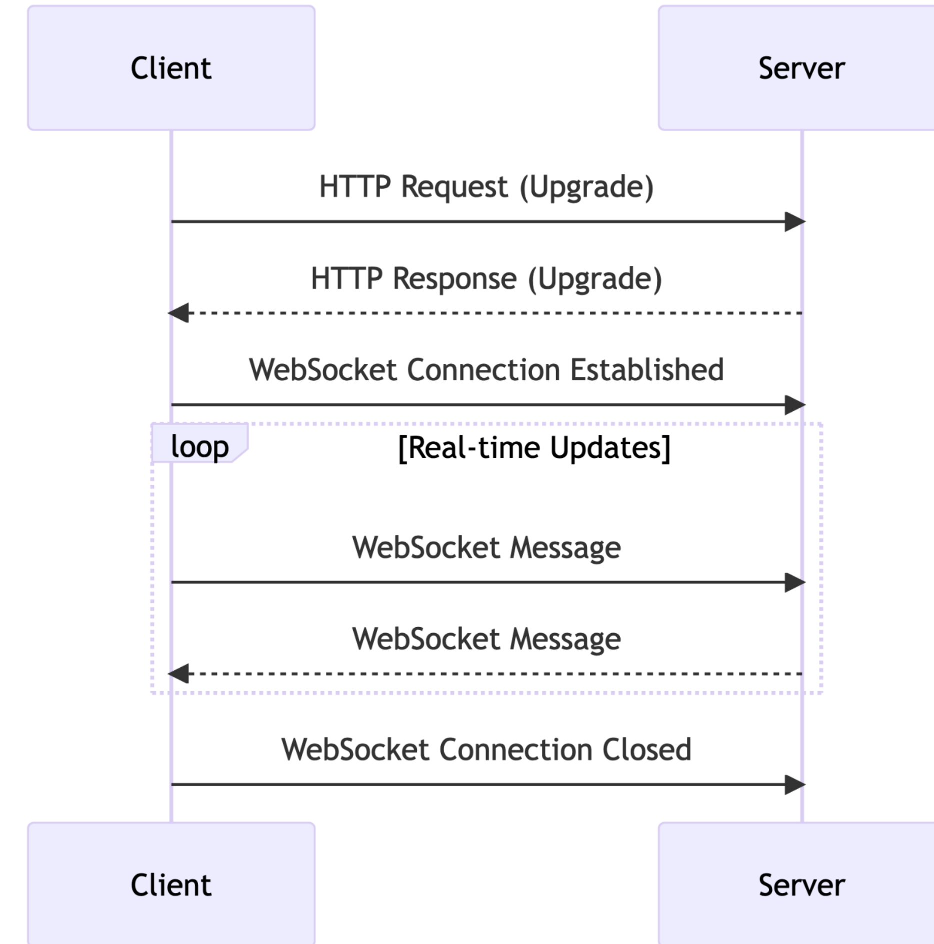


O que é WebSocket?

O protocolo WebSocket, descrito na especificação RFC 6455, oferece uma forma de trocar dados entre o navegador e o servidor por meio de uma conexão persistente.

- Os dados podem ser transmitidos em ambas as direções como “pacotes”, sem quebrar a conexão nem precisar de requisições HTTP adicionais.
- Permite troca de dados em tempo real com baixa latência.

> Na imagem: diagrama de sequência de WebSocket.
>
> Fonte: Code Magazine.



Casos de Uso

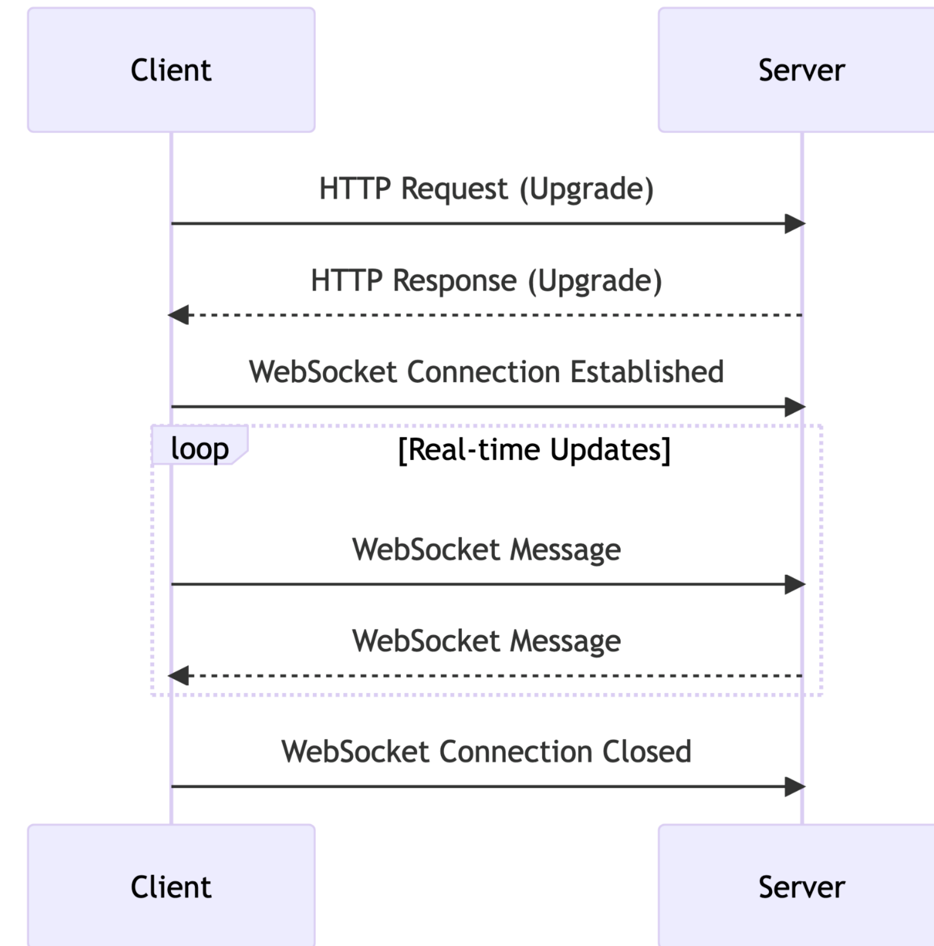
- Chat em tempo real (ex.: Slack, Discord).
- Jogos multiplayer online.
- Dashboards com atualizações ao vivo (monitoramento).
- Colaboração em documentos (Google Docs).
- IoT: dispositivos enviando dados para a nuvem.

Prof. Dr. Denis M. L. Martins | martins.denis@usp.br

Como Funciona

Handshake: do HTTP ao WebSocket

1. **Cliente** envia **`GET /chat HTTP/1.1`** + **`Upgrade: websocket`**.
2. **Servidor** responde **101 Switching Protocols**.
3. A partir daí a conexão permanece aberta e passa a usar frames WebSocket.



> Na imagem: diagrama de sequência de WebSocket.
>
> Fonte: Code Magazine.

Exemplo

Request:

```
GET /chat HTTP/1.1
Host: server.example.com
Upgrade: websocket
Connection: Upgrade
Sec-WebSocket-Key: dGhlIHNhbXBsZSBub25jZQ==
Origin: http://example.com
Sec-WebSocket-Protocol: chat, superchat
Sec-WebSocket-Version: 13
```

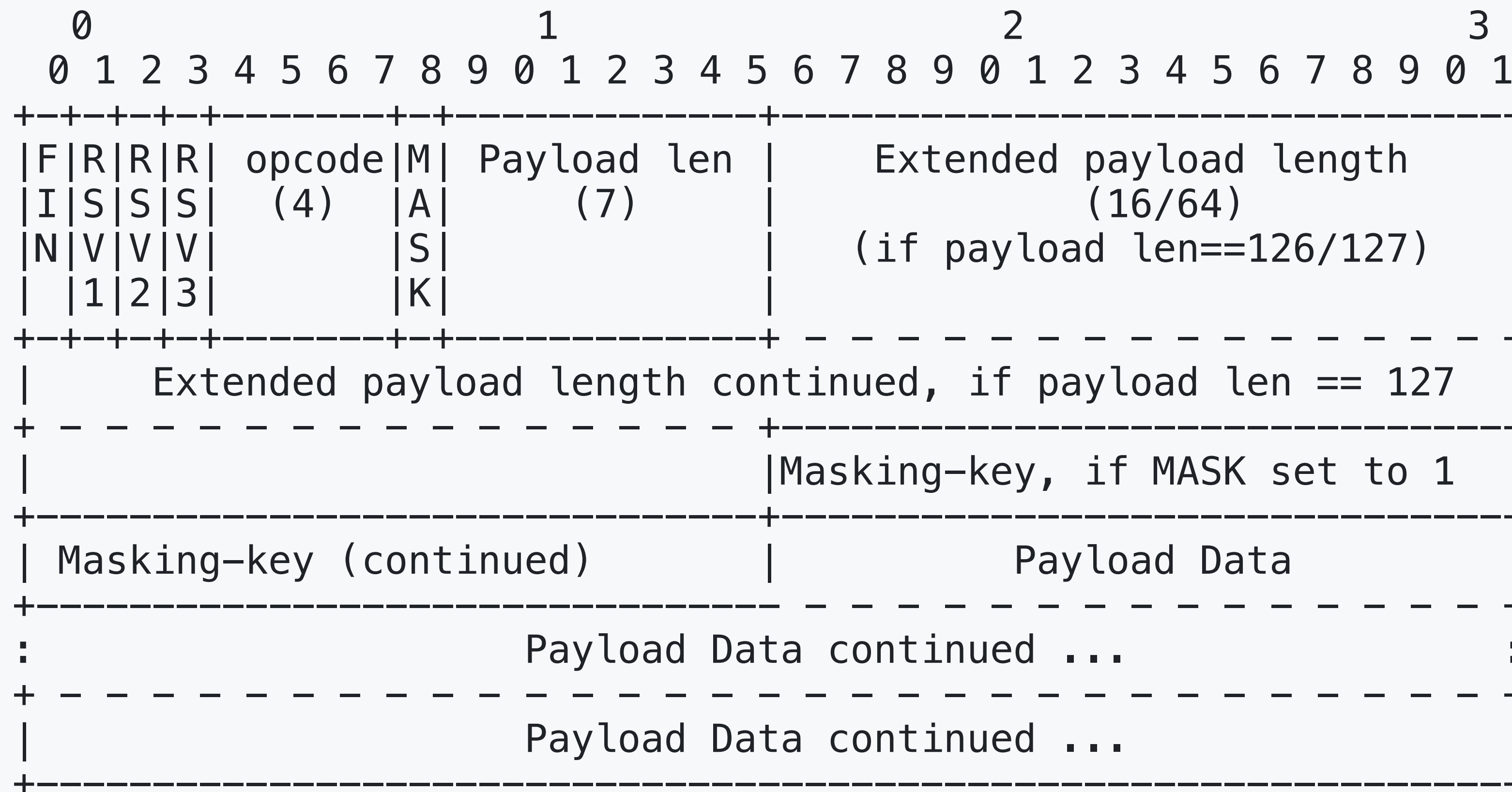
Response:

```
HTTP/1.1 101 Switching Protocols
Upgrade: websocket
Connection: Upgrade
Sec-WebSocket-Accept: s3pPLMBiTxaQ9kYGzzhZRbK+xOo=
Sec-WebSocket-Protocol: chat
```


Prof. Dr. Denis M. L. Martins | martins.denis@usp.br

WebSocket Framing

- **Frame**: Unidade básica de dados enviada em uma conexão WebSocket.
- **Mensagem**: Um frame (não fragmentada) ou pelo menos dois frames (se fragmentada).



```
  0                   1                   2                   3
 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1
+-+-+-+-+-------+-+-------------+-------------------------------+
|F|R|R|R| opcode|M| Payload len |    Extended payload length    |
|I|S|S|S|  (4)  |A|     (7)     |             (16/64)           |
|N|V|V|V|       |S|             |   (if payload len==126/127)   |
| |1|2|3|       |K|             |                               |
+-+-+-+-+-------+-+-------------+ - - - - - - - - - - - - - - - +
|     Extended payload length continued, if payload len == 127  |
+ - - - - - - - - - - - - - - - +-------------------------------+
|                               |Masking-key, if MASK set to 1  |
+-------------------------------+-------------------------------+
| Masking-key (continued)       |          Payload Data         |
+-------------------------------- - - - - - - - - - - - - - - - +
:                     Payload Data continued ...                :
+ - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - +
|                     Payload Data continued ...                |
+---------------------------------------------------------------+
```


Prof. Dr. Denis M. L. Martins | martins.denis@usp.br

WebSocket Framing

Campo	Tamanho	Descrição
FIN	1 bit	Indica se este é o último frame da mensagem (**1**) ou não (**0**).
RSV1-3	3 bits	Reservados (normalmente **0**).
OPCODE	4 bits	Tipo de payload (veja abaixo)
MASK	1 bit	Se o cliente enviou (**1**) ou não (**0**).
Payload length	7/16/64 bits	Tamanho do payload (até 2^{16}-1 bytes, depois extensão).
Masking key	0/4 bytes	Presente quando **MASK=1** (clientes sempre mascaram).
Payload data	N bytes	Dados da mensagem.

> **OPCODE**: **0x1** → texto UTF-8, **0x2** → binário, **0x8** → close, **0x9** → ping, **0xA** → pong
>
> **Masking**: Evita que dados binários sejam interpretados como cabeçalhos HTTP por proxies intermediários.

Prof. Dr. Denis M. L. Martins | martins.denis@usp.br

WebSocket vs REST

Característica	REST (HTTP)	WebSocket
Modelo de comunicação	*Request-Response* (unidirecional)	Bidirecional, fluxo contínuo
Persistência da conexão	Cada requisição abre/fecha a conexão	Conexão aberta indefinidamente
Formato de dados	JSON/XML/HTML em payload HTTP	Frames (`text` ou `binary`) sem cabeçalhos HTTP
Latência	Alta (cada chamada envolve handshake, cabeçalhos)	Baixa (apenas o frame é enviado)
Segurança	HTTPS (TLS) + autenticação padrão	wss:// (TLS); requer controle de origem e tokens
Custo de rede	Alto em chamadas frequentes	Reduzido após handshake inicial
Casos de uso típicos	CRUD, páginas estáticas, APIs públicas	Chat, jogos multiplayer, dashboards em tempo real, notificações push

Prof. Dr. Denis M. L. Martins | martins.denis@usp.br

A API de WebSockets no Navegador

O acesso ao protocolo no frontend é feito através da classe **WebSocket**.

1. **Setup (Conexão):** Definimos o objeto: `let socket = new WebSocket("wss://...");`
2. **Eventos (Reações):** Monitoramos os eventos para saber quando agir (*event handlers*).
3. **Métodos (Ações):** Usamos métodos específicos no objeto `socket` para enviar ou fechar o canal.

> A propriedade **readyState** reflete o estado da conexão: 0 (CONNECTING), 1 (OPEN), 2 (CLOSING), 3 (CLOSED).

Prof. Dr. Denis M. L. Martins | martins.denis@usp.br

Exemplo Prático: JavaScript

```
let socket = new WebSocket("wss://javascript.info/article/websocket/demo/hello");

socket.onopen = function(e) {
  console.log("[open] Connection established");
  socket.send("My name is John");
};

socket.onmessage = function(event) {
  console.log(`[message] Data received from server: ${event.data}`);
};

socket.onclose = function(event) {
  if (event.wasClean) {
    console.log(`[close] Connection closed cleanly, code=${event.code} reason=${event.reason}`);
  } else {
    console.log('[close] Connection died'); // em caso de problema
  }
};

socket.onerror = function(error) {
  console.log(`[error]`);
};
```


Prof. Dr. Denis M. L. Martins | martins.denis@usp.br

Lab Prático

Implementar um canal de comunicação persistente, simulando um servidor que recebe mensagens e as ecoa de volta para o cliente.

Siga o passo-a-passo em: https://denmartins.github.io/labs/2026-04-23-sd-websockets

> Créditos da imagem: https://unsplash.com/@safarslife

URI

WebSocket define dois esquemas principais para a comunicação:

- `ws://`: Usado para conexões não criptografadas (equivalente ao HTTP). Mais simples, mas inseguro.
- `wss://`: Usado para conexões seguras e criptografadas via TLS/SSL (equivalente ao HTTPS). Sempre preferível em produção.

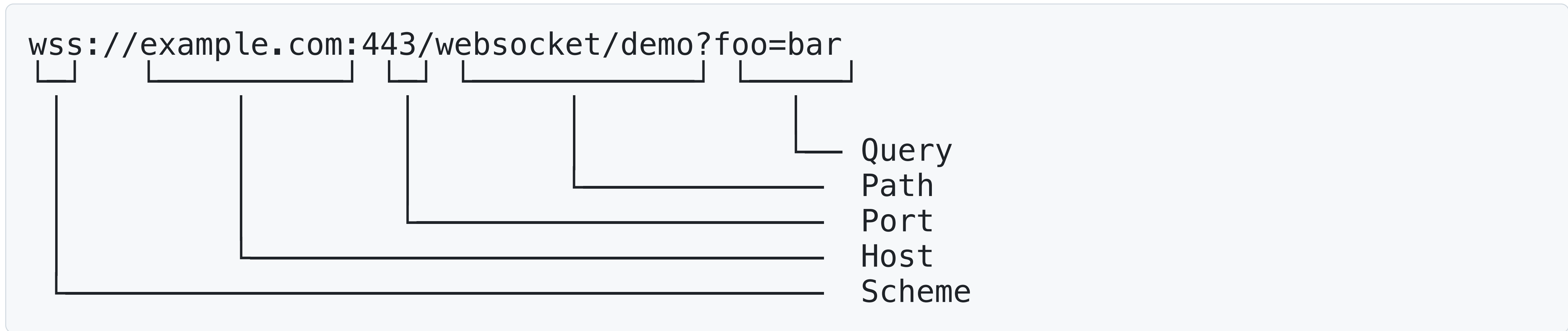
A sintaxe segue um padrão genérico, muito parecido com a URL do HTTP:

```
[Esquema]://[Host]:[Porta]/[Caminho]? [Parâmetros de Consulta]
```

Porta Padrão: A porta é opcional.
`ws`: Porta 80 (padrão HTTP). `wss`: Porta 443 (padrão HTTPS/TLS).

Prof. Dr. Denis M. L. Martins | martins.denis@usp.br

Estrutura da URI (Diagrama Conceitual)



- **Esquema (`ws`/`wss`):** Define o protocolo e a segurança.
- **Host:** O domínio do servidor (ex: `api.empresa.com`).
- **Porta:** O número de porta (Ex: 443 para `wss`, geralmente omitido).
- **Caminho (`Path`):** A rota específica no servidor (ex: `/chat`).
- **Parâmetros de Consulta (`Query`):** Informações adicionais, como filtros ou IDs (ex: `?user=alice`).

Prof. Dr. Denis M. L. Martins | martins.denis@usp.br

Considerações de Segurança e Travessia de Proxies

- O uso de **WSS (WebSocket Secure)** sobre TLS é essencial para garantir a confidencialidade e integridade dos dados.
- Conexões seguras (WSS) têm maior taxa de sucesso ao atravessar **proxies transparentes** e firewalls corporativos.
- A criptografia impede que intermediários analisem ou modifiquem o tráfego, tratando-o como um túnel TCP opaco.

Prof. Dr. Denis M. L. Martins | martins.denis@usp.br

Latência e Escalabilidade Horizontal

- WebSockets reduzem a latência ao eliminar o handshake TCP/HTTP repetitivo e o overhead de cabeçalhos.
- **Desafio de Escala:** Como conexões WebSocket são **persistentes e stateful**, o servidor deve manter o estado de cada cliente em memória.
- Para escalar, utiliza-se um **Broker de Mensagens** (Pub/Sub) para sincronizar dados entre múltiplos nós do servidor.
- O **Load Balancing** deve ser capaz de lidar com sessões persistentes e, idealmente, ser elástico para picos de tráfego.

Prof. Dr. Denis M. L. Martins | martins.denis@usp.br

Heartbeats: Pings e Pongs

- Conexões inativas podem ser encerradas por roteadores ou firewalls para liberar recursos.
- O protocolo define frames de **Ping e Pong** como um mecanismo de "heartbeat".
- O servidor envia um Ping e o cliente deve responder prontamente com um Pong para provar que a conexão ainda está viva.
- Esse mecanismo permite detectar desconexões mesmo quando o soquete TCP não é fechado corretamente.

> Mais informações em https://websocket.org/guides/heartbeat/

Prof. Dr. Denis M. L. Martins | martins.denis@usp.br

Conclusão

Conceitos Principais:

- **WebSocket**: conexão persistente $\rightarrow$ latência mínima e comunicação bidirecional.
- Elimina a necessidade de *polling* constante e cabeçalhos HTTP repetitivos.
- A conexão inicia-se via **Handshake HTTP**, evoluindo para uma troca de mensagens baseada em **frames binários ou de texto** após o status **101 Switching Protocols**.

Leitura Recomendada: The WebSocket Handbook

ably

The WebSocket Handbook

Learn about the technology underpinning the realtime web and build your first web app powered by WebSockets

Dúvidas e Discussão

Prof. Dr. Denis M. L. Martins | martins.denis@usp.br

Exercício e Questões

Exercício Prático

Implementar uma aplicação de chat em tempo real que suporte múltiplos clientes simultâneos. O servidor deve atuar como um hub central, recebendo mensagens de qualquer cliente e retransmitindo (broadcast) essa mensagem para todos os outros clientes conectados, mantendo o canal de comunicação ativo mesmo com desconexões.

O chat deve incluir:

- Nome do usuário
- Histórico de mensagens

Questões para estudo

- Explique, com suas próprias palavras, como funciona o modelo de comunicação do protocolo HTTP tradicional e por que ele não é ideal para aplicações em tempo real.
- Descreva o processo de estabelecimento de uma conexão WebSocket desde o momento em que o cliente inicia a comunicação até a conexão ser estabelecida.
- Compare o uso de WebSockets e APIs REST em aplicações web modernas. Em quais cenários cada um deve ser utilizado?
- Discuta os principais desafios de escalabilidade ao utilizar WebSockets em aplicações com muitos usuários simultâneos.
- Suponha que você precisa desenvolver um sistema de monitoramento em tempo real de sensores industriais. Justifique tecnicamente por que WebSockets seriam mais adequados que HTTP.

Prof. Dr. Denis M. L. Martins | martins.denis@usp.br