

Showcase - 802.11 Wireless Handover

Avaliação de Desempenho de Sistemas - 13 de Julho de 2025

Arthur Cadore M. Barcella , Deivid Fortunato Frederico

Sumário

Parte 1 - Seleção e Apresentação de Showcase	3
Breve Revisão de Conceitos e Tecnologias Usadas	5
Modelo Simulado	10
A Simulação	15

Parte 1 - Seleção e Apresentação de Showcase

Objetivo do Experimento

- Avaliar o comportamento de handover em redes Wi-Fi 802.11.
 - Simular o processo de entrega entre dois pontos de acesso (APs).
 - Beacon de transmissão
 - Verificação ativa
 - Autenticação
 - Associação
- Analisar o desempenho do handover em termos de eventos wireless, backoff e troca de canal.
- Medir estatísticas de eventos wireless, troca de canal e backoff.
- <https://inet.omnetpp.org/docs/showcases/wireless/handover/doc/index.html>

Breve Revisão de Conceitos e Tecnologias Usadas

Redes sem fio 802.11

- IEEE 802.11: padrão global para redes locais sem fio (WLANs).
- Desenvolvidas e mantidas pelo IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers).
- Desde sua primeira versão em 1997, o padrão evoluiu para incluir diversas melhorias e novas funcionalidades.

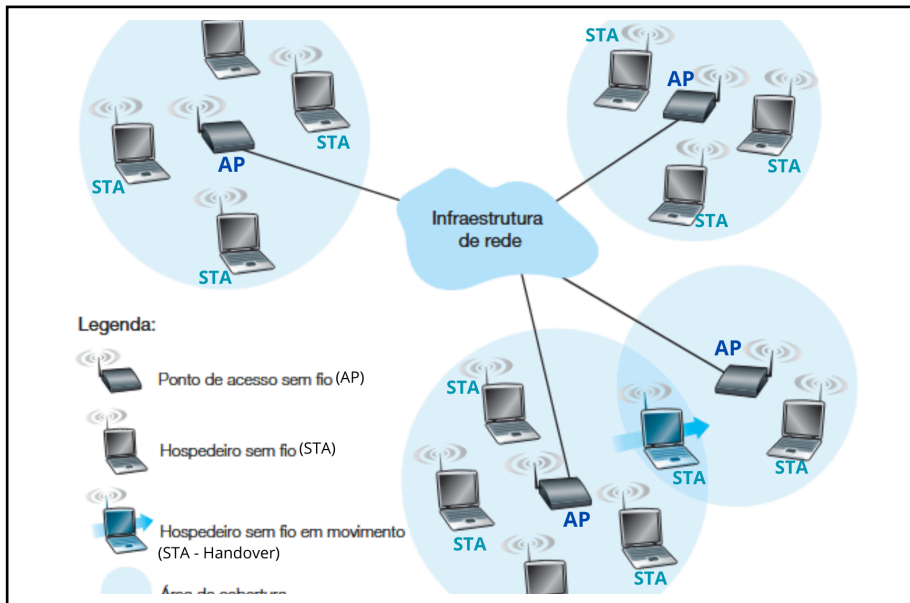
Geração Wi-Fi	Alcance (m)	Taxas Máximas (bits/s)	Protocolos / Características	Frequências Simultâneas
Wi-Fi 0 (802.11)	20	1 a 2 Mbps	FHSS ou DSSS	2.4 GHz
Wi-Fi 1 (802.11b)	35	11 Mbps	DSSS	2.4 GHz
Wi-Fi 2 (802.11a)	35	54 Mbps	OFDM	5 GHz
Wi-Fi 3 (802.11g)	38	54 Mbps	OFDM	2.4 GHz
Wi-Fi 4 (802.11n)	70	600 Mbps (com 4x4 MIMO)	MIMO, Canal 40 MHz	2.4 GHz e 5 GHz
Wi-Fi 5 (802.11ac)	35	6.9 Gbps (com 8x8 MIMO)	MU-MIMO (downlink), Canais 80/160 MHz	5 GHz
Wi-Fi 6 (802.11ax)	70	9.6 Gbps	OFDMA, MU-MIMO (uplink/downlink), TWT	2.4 GHz e 5 GHz
Wi-Fi 6E (802.11ax)	70	9.6 Gbps	OFDMA, MU-MIMO, TWT	2.4 GHz, 5 GHz e 6 GHz
Wi-Fi 7 (802.11be)	70	>40 Gbps	M-LO, Preamble Puncturing, Canais 320 MHz, 4096-QAM	2.4 GHz, 5 GHz e 6 GHz

Conceitos de AP, STA, canais e eventos MAC

- AP1/AP2: pontos de acesso
 - Dispositivos que conectam estações móveis à rede.
 - Transmitem beacons periodicamente para anunciar sua presença.
 - Gerenciam a comunicação entre estações móveis e a rede.
- STA: estação móvel
 - Dispositivos móveis que se conectam aos APs.
 - Podem ser laptops, smartphones, tablets, etc.
 - Monitoram sinais de APs e realizam handover quando necessário.
- Parâmetros de rádio, canal, potência, etc.
 - Canais: bandas de frequência usadas para comunicação.
 - Potência de transmissão: afeta o alcance e a qualidade do sinal.
 - Eventos MAC: eventos de controle de acesso ao meio, como backoff e handover.
 - Cada AP opera em um canal específico.
 - Estações móveis realizam varredura de canais para encontrar APs disponíveis.

Conceitos de AP, STA, canais e eventos MAC (ii)

Figura 1: Elementos de Uuma rede sem fio



Handover em redes sem fio (802.11)

- Handover: processo de transferência de conexão entre APs.
 - Monitoramento e Detecção
 - Estação móvel (STA) monitora sinais de APs.
 - Avalia qualidade do sinal e decide quando trocar de AP.
 - Varredura de Canais
 - STA realiza varredura ativa para encontrar APs disponíveis.
 - Envia sondas (probe requests) e recebe respostas (probe responses).
 - Seleção de AP
 - STA escolhe o AP com melhor sinal ou menor carga (Força do sinal (RSSI), qualidade (SNR)) e Capacidade do AP.
 - Autenticação e Associação
 - STA autentica com o novo AP.
 - Estabelece associação para iniciar comunicação.

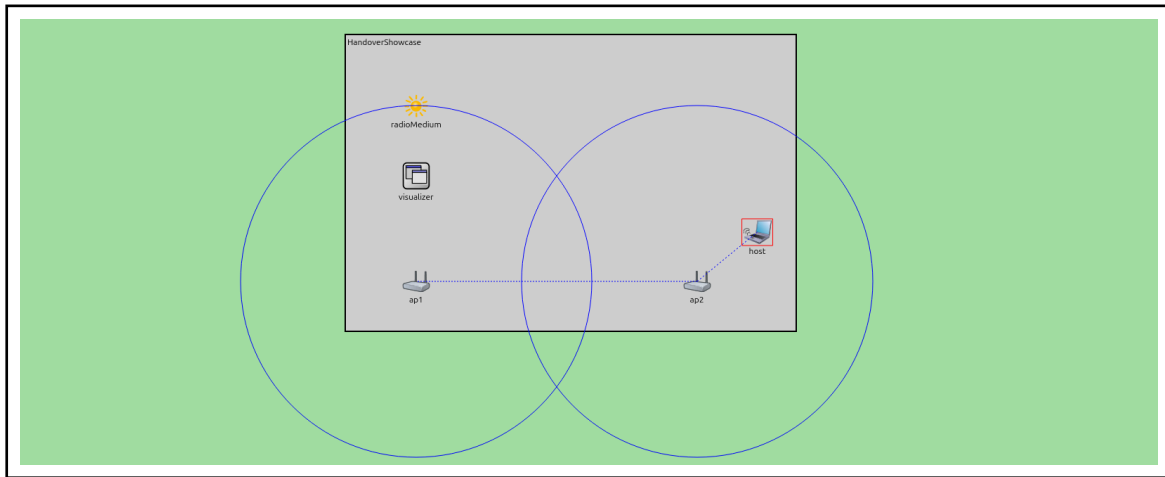
Modelo Simulado

Estrutura

- Estrutura dos nodos: APs, STA móvel, links
 - 2 APs (Access Points).
 - 1 STA (Wireless Host) móvel.
- Topologia e posicionamento dos elementos
 - 2 APs posicionados em locais fixos.
 - STA móvel se desloca entre os APs.
- Modelos de tráfego e mobilidade
 - Tráfego gerado pelo STA móvel.
 - Mobilidade linear com velocidade fixa.

Topologia

Figura 2: Elaborada pelo Autor



Cenário de Handover

Topologia

```
1 package inet.showcases.wireless.handover;
2 import inet.node.inet.WirelessHost;
3 import inet.node.wireless.AccessPoint;
4 import
5 inet.physicallayer.wireless.ieee80211.packetlevel.Ieee80211ScalarRadioMedium;
6 import inet.visualizer.canvas.integrated.IntegratedCanvasVisualizer;
7
8 network HandoverShowcase
9 {
10     parameters:
11         @display("bgb=640,420");
12     submodules:
13         visualizer: IntegratedCanvasVisualizer {
14             parameters:
15                 @display("p=100,200");
16         }
```

Topologia (ii)

```
17     radioMedium: Ieee80211ScalarRadioMedium {
18         parameters:
19             @display("p=100,100");
20     }
21     host: WirelessHost {
22         parameters:
23             @display("p=50,280;r=,,#707070");
24     }
25     ap1: AccessPoint {
26         parameters:
27             @display("p=100,350;r=,,#707070");
28     }
29     ap2: AccessPoint {
30         parameters:
31             @display("p=500,350;r=,,#707070");
32     }
33 }
```

A Simulação

Parâmetros

- Configuração da rede:
 - Número de APs: 2
 - STA: 1
 - canais: 5
- Fatores e níveis:
 - Canal:
 - AP1: canal 2
 - AP2: canal 3
 - Host: canal 0 (varredura ativa)
 - Total: 5 canais disponíveis
 - Distância:
 - Área de movimento: 40m a 600m (560m total)
 - Distância entre APs: 400m
 - Mobilidade:
 - Modelo: LinearMobility (10 m/s)
 - Direção: 0° (horizontal)
 - Tempo: 250s de simulação

Parâmetros (ii)

- Parâmetros fixados:
 - Potência de transmissão: 2.0mW (todos os dispositivos)
 - Beacon interval: 100ms
 - Probe delay: 0.1s
 - Tempo mínimo/máximo por canal: 0.15s/0.30s
 - Intervalo de atualização de mobilidade: 100ms
 - Taxa de transmissão: valores padrão IEEE 802.11
- Coleta via vetores do OMNeT++/INET:
 - Arquivos gerados:
 - General-#0.vec (dados temporais)
 - General-#0.vci (índices para acesso rápido)
 - Estatísticas escalares em .sca
 - Análise pós-processamento com Python/matplotlib
 - Vetores monitorados:
 - radioChannel (mudanças de canal)
 - acceptConfirm/dropConfirm (conexões/desconexões)
 - Eventos de backoff e MAC
 - Estatísticas por AP (AP1/AP2)

Parâmetros (iii)

- Métricas analisadas:
 - Eventos wireless por AP:
 - Contagem total de eventos MAC por AP1 e AP2
 - Distribuição temporal dos eventos
 - Comparação de atividade entre APs
 - Eventos de backoff:
 - Períodos de backoff ativo/inativo
 - Duração dos períodos de contenção
 - Frequência de eventos CSMA/CA
 - Trocas de canal (handover):
 - Timeline de conexões (AP1 ↔ AP2)
 - Momentos de mudança de canal
 - Duração de cada associação
 - Número total de handovers realizados

Parâmetros

```
1 [General]
2 network = HandoverShowcase
3
4 # management submodule parameters
5 **.mgmt.numChannels = 5
6
7 # access point
8 **.ap1.wlan[*].mgmt.ssid = "AP1"
9 **.ap2.wlan[*].mgmt.ssid = "AP2"
10 **.ap*.wlan[*].mgmt.beaconInterval = 100ms
11
12 *.host*.mobility.typeName = "LinearMobility"
13 *.host*.mobility.speed = 10mps
14 *.host*.mobility.initialMovementHeading = 0deg
15 *.host*.mobility.updateInterval = 100ms
16 *.host*.mobility.constraintAreaMinX = 40m
17 *.host*.mobility.constraintAreaMaxX = 600m
```

Parâmetros (ii)

```
1 # wireless channels
2 **.analogModel.ignorePartialInterference = true
3 **.ap1.wlan[*].radio.channelNumber = 2
4 **.ap2.wlan[*].radio.channelNumber = 3
5 **.host.wlan[*].radio.channelNumber = 0 # just initially -- it'll scan
```

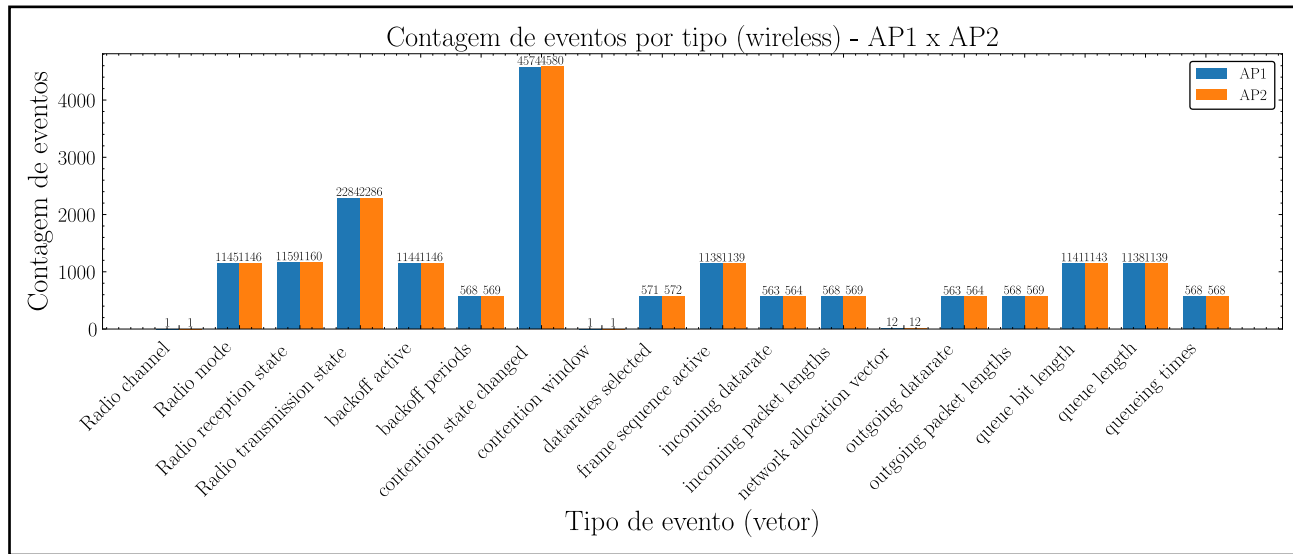
```
1 # wireless configuration
2 **.radio.transmitter.power = 2.0mW # sets communication ranges
3
4 **.networkConfiguratorModule = "" # no need for configurator
5
6 **.wlan[*].agent.activeScan = true
7 **.wlan[*].agent.defaultSsid = ""
8 **.wlan[*].agent.channelsToScan = "" # "" means all
9 **.wlan[*].agent.probeDelay = 0.1s
10 **.wlan[*].agent.minChannelTime = 0.15s
11 **.wlan[*].agent.maxChannelTime = 0.3s
```

Parâmetros (iii)

```
12
13 # visualization
14 *.visualizer.physicalLinkVisualizer.displayLinks = true
15 *.ap*.wlan[*].radio.displayCommunicationRange = true
```

Contagem de eventos

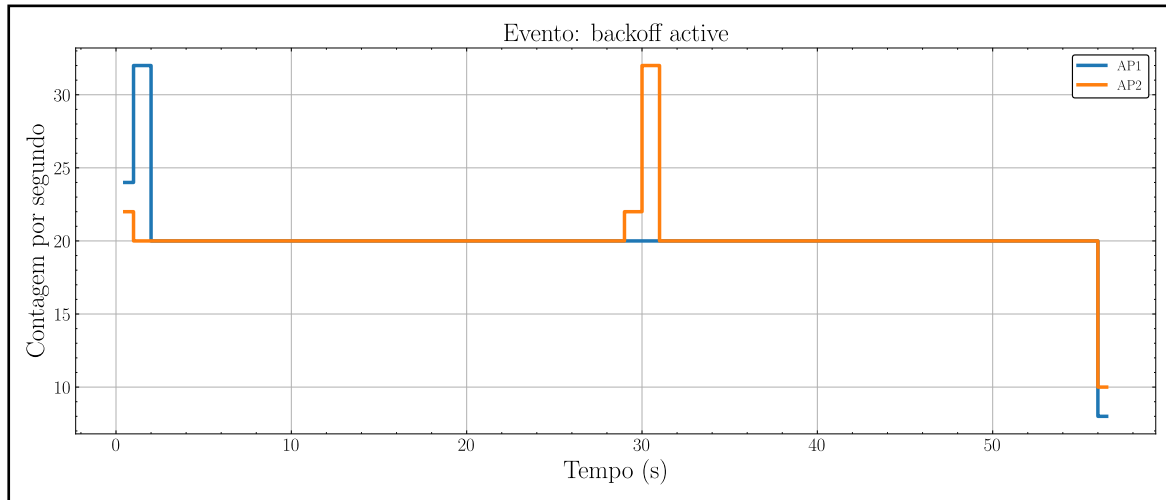
Figura 3: Elaborada pelo Autor



Contagem de eventos wireless por AP

Backoffs no tempo

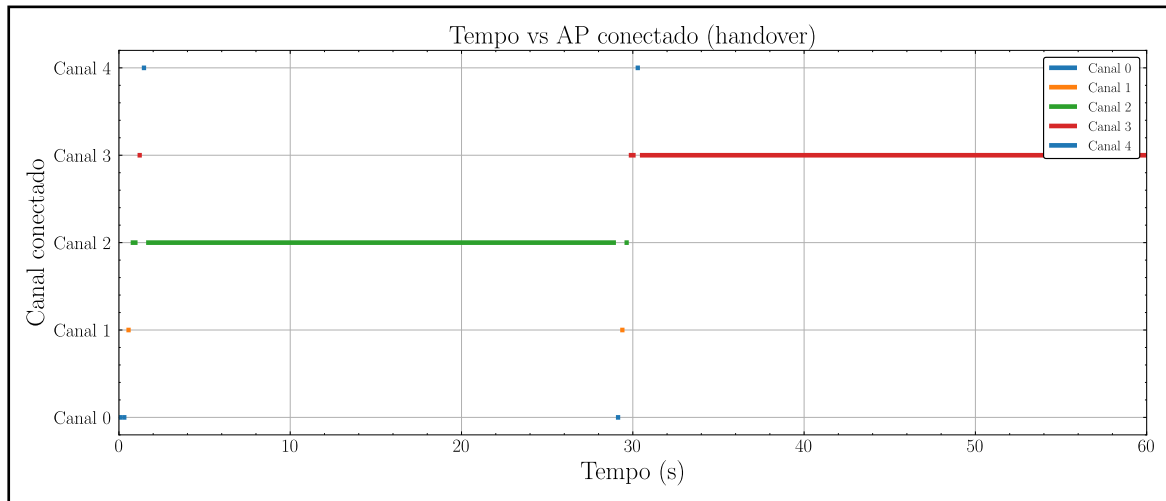
Figura 4: Elaborada pelo Autor



Evento Backoff Active

Handover

Figura 5: Elaborada pelo Autor



Tempo vs AP conectado (handover)

Referências

- OMNeT++ INET Framework: <https://inet.omnetpp.org/>
- Showcase 802.11 Wireless Handover: <https://inet.omnetpp.org/docs/showcases/wireless/handover/doc/index.html>
- Kurose, Ross (2013). Computer Networking: A Top-Down Approach. Pearson.
- OMNeT++ Documentation: <https://omnetpp.org/doc/omnetpp/manual/#sec:inet-showcases>