

Wi-Fi Evolution

Autores:

Edgar Souza

Rafael Paiva

Robson Domingos

Andre Cavalcante

2012

Instituto Nokia de Tecnologia
Company Confidential © 2009 INdT



Agenda

- Introdução
- Conceitos Básicos
- Camada MAC
- 802.11ac
- 802.11af
- 802.11ah
- Considerações Finais



Introdução

Introdução

- IEEE 802.11
 - Parte do IEEE 802 para redes LAN e MAN
 - Padronização de redes Ethernet sem fio
 - Redes com protocolos simples de acesso ao meio
 - Itens cobertos pelo padrão:
 - Camada física
 - Tipos de modulação
 - Frequência de operação
 - Codificação
 - Camada MAC
 - Protocolos de acesso ao meio

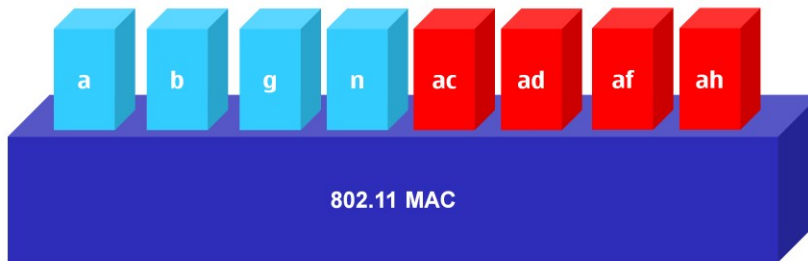
Introdução

- WiFi Alliance (WFA)
 - Os produtos seguem o conjunto de features da WFA
 - WFA segue o 802.11
 - Certifica produtos 802.11
 - Provê garantia de interoperabilidade entre diferentes empresas
 - Compatibilidade com padrões mais antigos
 - Novos equipamentos devem se comunicar com equipamentos de padrões mais antigos
 - Define características mínimas dos padrões que devem estar implementadas nos produtos

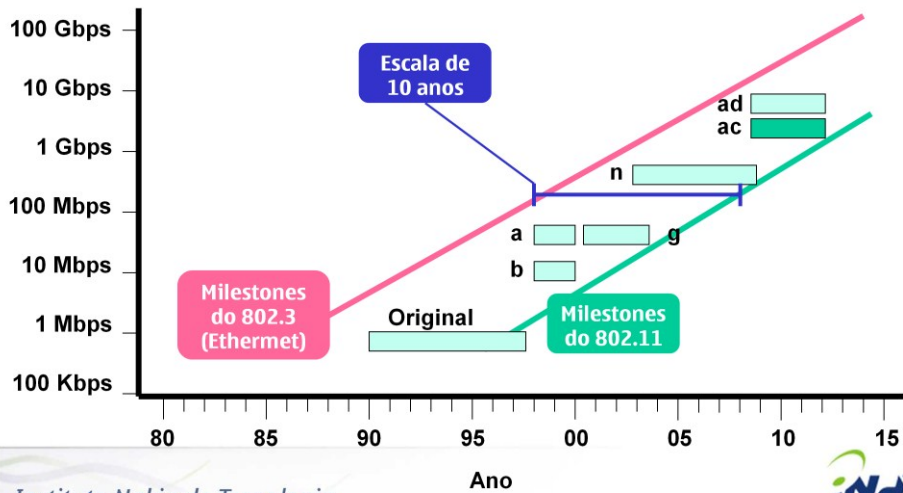


Introdução

- Arquitetura 802.11
 - Várias opções de PHY
 - Uma MAC comum



Introdução



Introdução

- Resumo dos Principais Projetos em MAC
 - D – Country information
 - E – QoS
 - F – Inter AP communication
 - H – DFS, TPC Spectrum sharing with radars in 5GHz
 - J – Japan spectrum @ 4.9 GHz
 - K – Radio Measurement
 - P – Vehicular Environments
 - R – Fast roaming
 - S – MESH Networking
 - U – Inter-Networking
 - V – Network Management
 - W – Secure Management Frames
 - Z – Tunneled Direct Link
 - AA – Video Transport
 - AE – QoS for Management Frames
 - AI – Fast Initial Link Setup

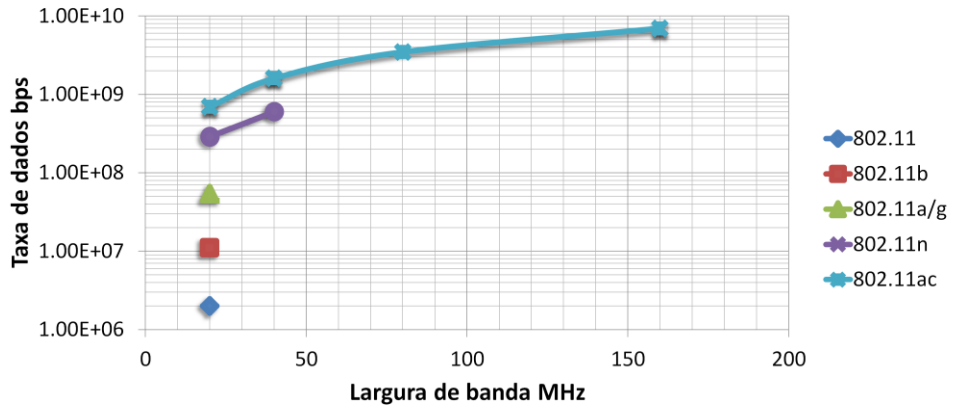
The logo for IEEE 802.11, featuring the letters 'IEEE' in a bold, blue, sans-serif font above the number '802.11' in a similar font, with a small 'TM' trademark symbol to the right.

Introdução

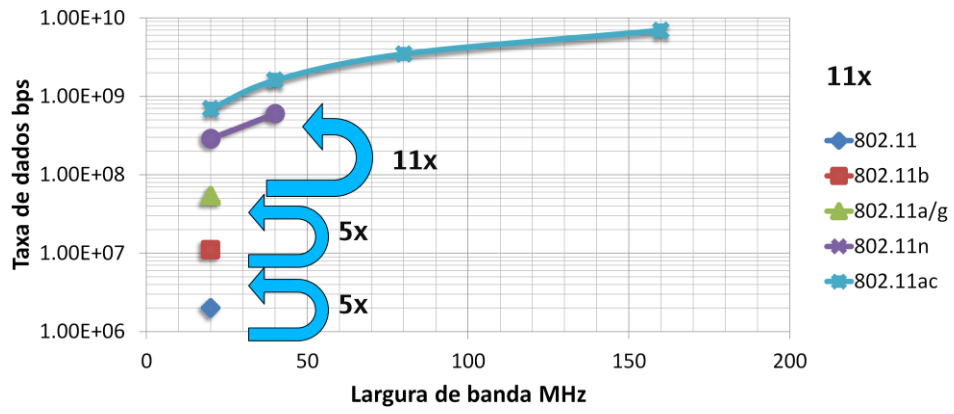
	802.11	802.11b	802.11a	802.11g	802.11n	802.11ac
PHY	DSSS	DSSS/CCK	OFDM	OFDM DSS/CCK	SDM/OFDM	SDM/OFDM
Taxa Máxima	2 Mbps	11 Mbps	54 Mbps	54 Mbps	600 Mbps	6933 Mbps
Banda	2.4 GHz	2.4 GHz	5 GHz	2.4 GHz	2.4 e 5 GHz	2.4 e 5 GHz
Largura de banda	25 MHz	25 MHz	20 MHz	25 MHz	20 e 40 MHz	20, 40, 80 e 160 MHz

- DSSS - Direct Sequence Spread Spectrum
- OFDM - Orthogonal Frequency Division Multiplexing
- CCK - Complementary Code Keying
- SDM - Spatial Division Multiplexing

Introdução



Introdução



Introdução

- Evolução do Wi-Fi

**802.11n
e
802.11ac**

- Aumento de taxa de transmissão
- Larguras de banda maior
- Esquemas de modulação
- Múltiplas antenas

802.11ah

- Sub 1 GHz
- Potência baixa
- Ampla cobertura
- Aplicações para *Internet of things*
- Automação industrial
- Redes de sensores

802.11af

- Wireless LAN em TV White Spaces
- *White-fi*
- WiFi na banda de TV
- Ampla cobertura
- Aumento de capacidade com uso de banda subutilizada

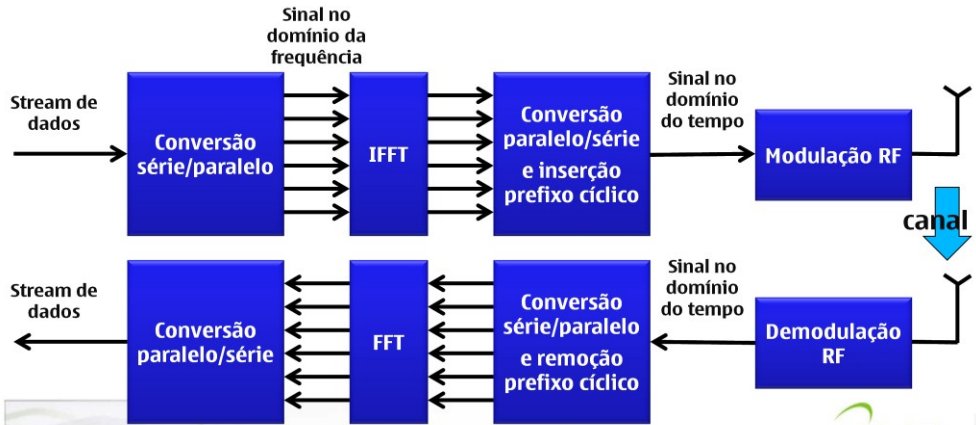
Conceitos Básicos

Instituto Nokia de Tecnologia
Company Confidential © 2009 INdT



Conceitos básicos

- Sistemas OFDM



Conceitos básicos

- Sistemas OFDM
 - Dados representados de forma paralela em subportadoras
 - Cada subportadora representa uma frequência da FFT/IFFT
 - Subportadoras são ortogonais
 - **Não há interferência entre subportadoras!**

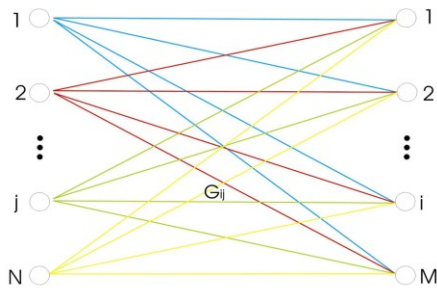


Conceitos básicos

- Sistemas OFDM
 - Prefixo cíclico
 - Sinal colocado entre símbolos OFDM subsequentes
 - Repetição do final do símbolo OFDM
 - Evita interferencia inter-simbólica
 - Canal pode ser aproximado por um número complexo
 - Equalização é feita de forma simplificada



Conceitos Básicos



Sistemas MIMO

$$\{G_{ij}, i = 1, 2, \dots, M, j = 1, 2, \dots, N\}$$

- Diversidade
- Antenas Inteligentes
- Multiplexação espacial

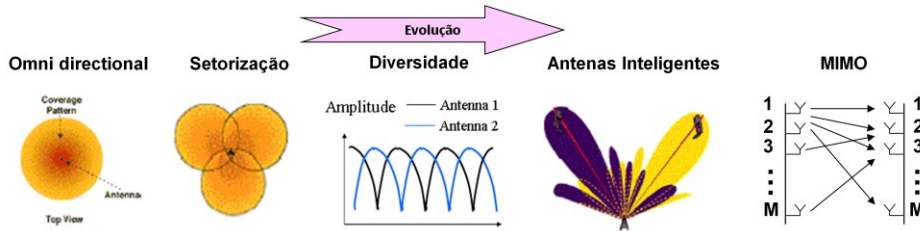
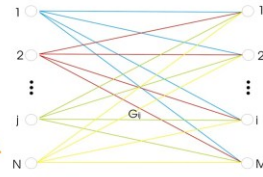
Dimensão espacial: eficiência espectral e qualidade de serviço sem aumentar a potência de transmissão e a banda alocada.

O principal paradigma e explorar em vez de combater o efeito dos multipercursos.

Conceitos Básicos

- Sistemas MIMO

- Ganho de arranjo: **aumento da coberta e QoS.**
- Ganho de Diversidade: **aumento da coberta e QoS.**
- Redução de interferência Co-canal: **aumento da capacidade do sistema.**
- Ganho de multiplexação espacial: **aumento da eficiência espectral.**



Conceitos Básicos

- Futuras redes faixa-largas sem fio
 - Requisitos:
 - Aumento de eficiência espectral
 - Qualidade de serviço
 - Problemas
 - Aumentar a potência ou banda de transmissão
 - O canal rádio móvel é muito hostil
 - Severas flutuações do nível do sinal (desvanecimento).
 - Interferência co-canal.
 - Queda da potencia do sinal com a distância
 - **Objetivo:** eficiência espectral e qualidade de serviço.
 - Solução
 - Sistemas MIMO (Multiple Input Multiple Output).

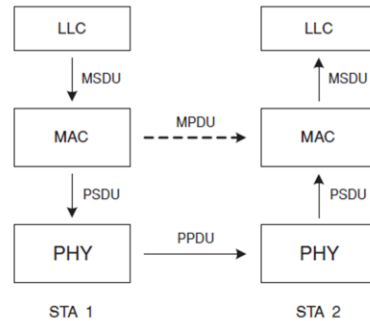
Camada MAC

A Camada MAC

- A função da camada MAC é prover **endereçamento e controlar o acesso ao canal**
 - Viabilizar a comunicação de várias estações em uma rede
- O padrão 802.11n introduziu mudanças que aumentaram bastante a taxa de transmissão na camada física, e também foram necessárias mudanças na camada MAC
 - Agregação de quadros
 - Acknowledgment em blocos
 - Direcionamento reverso
- Na sequência, são apresentados alguns conceitos básicos e, em seguida, uma breve descrição destes três mecanismos

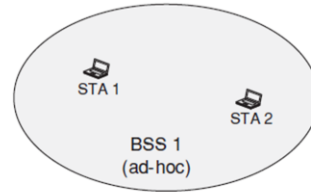
Pilha de Protocolos

- Cada entidade provê serviços para a entidade na camada imediatamente superior
- Service Data Unit (SDU) é usado para transferir informações entre as camadas
- Protocol Data Unit (PDU) é usado por uma entidade para trocar dados e informações de controle entre dispositivos distintos



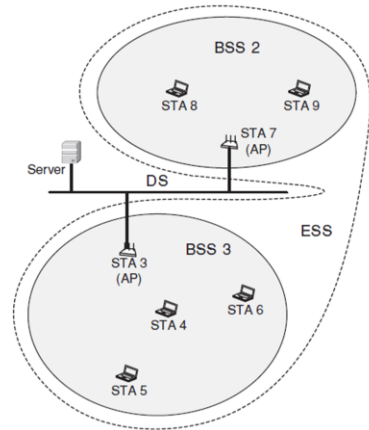
Basic Service Set (BSS)

- O Basic Service Set (BSS) é o bloco básico de uma rede 802.11
- O BSS é formado por estações que se encontram dentro de uma certa região de cobertura e formam algum tipo de associação
- Independent Basic Service Set (IBSS)
 - Comunicação direta entre as estações por meio de conexões ad hoc
- Overlapping Basic Service Set (OBSS)
 - Duas BSSs que operam no mesmo canal dentro de uma mesma área de serviço



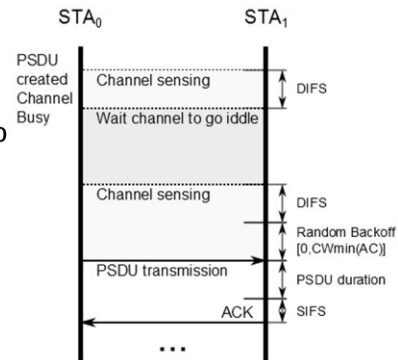
Infraestrutura do BSS

- Normalmente, um ponto de acesso controla a BSS e as demais estações se associam a esta entidade central
 - É este conjunto de associações que caracteriza a infraestrutura de BSS
- Distribution Systems (DS) interconectam as BSSs
- Extended Service Set (ESS) é formado por BSSs que estão interconectadas por um DS



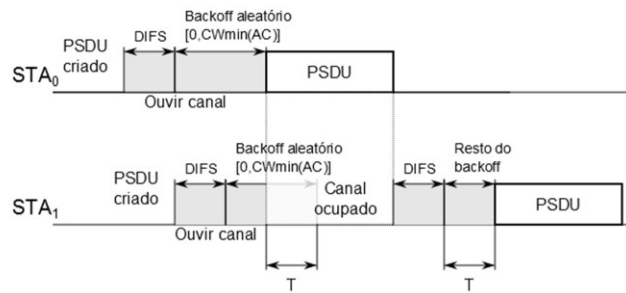
Acesso ao Meio

- CSMA/CA
 - Carrier sense multiple access with collision avoidance
 - Algoritmo de controle de acesso ao meio
 - 2 passos básicos
 - Ouvir canal
 - Se o canal estiver livre, começar a transmissão de um pacote



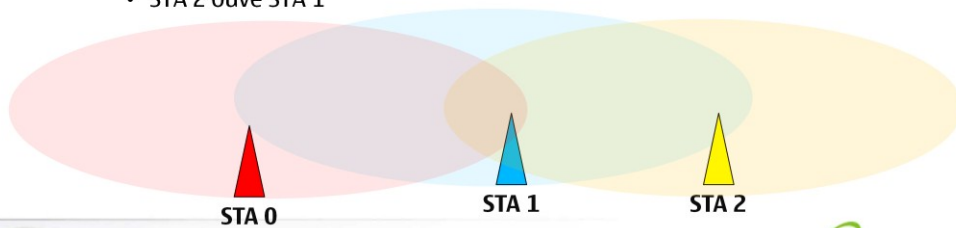
Acesso ao Meio

- CSMA/CA
 - Exemplo:
 - 2 estações competindo pelo acesso



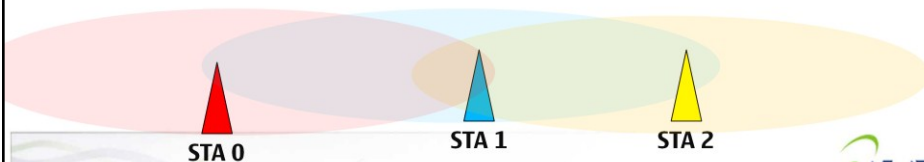
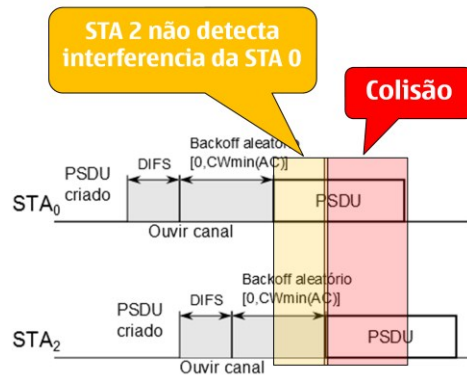
Acesso ao Meio

- Nó oculto
 - Muitas features de WiFi tem por objetivo tratar o problema do nó oculto
 - Exemplo:
 - STA 0 ouve STA 1
 - STA 1 ouve STA 0 e STA 2
 - STA 2 ouve STA 1



Acesso ao Meio

- Nó oculto
 - Exemplo:
 - STA 0 e STA 2 desejam transmitir para STA 1
 - Chances de um pacote da STA0 colidir com a STA 2
 - Uma STA está fora da área de cobertura da outra



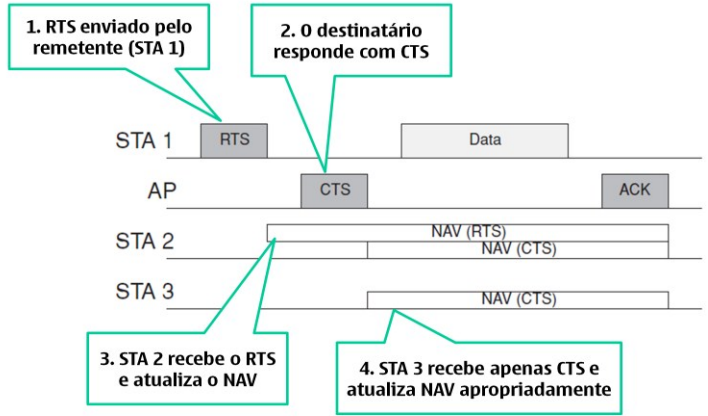
Network Allocation Vector

- O Network Allocation Vector (NAV) é um mecanismo usado para combater o problema do nó oculto
- A estação espera que o meio esteja ocupado durante um certo período de tempo
 - Este valor [de tempo] é usado para atualizar em todas as estações de interesse (campo Duration do quadro RTS)
 - Tal valor se refere ao instante de tempo do final do último símbolo OFDM no PPDU
- O NAV é ajustado de modo mais eficiente usando-se quadros de controle tais como o RTS/CTS ao invés de quadros de dados

Quadros RTS/CTS

- A troca de quadros RTS/CTS é usada para proteger as transmissões de uma estação de nós ocultos
- Um quadro RTS tem menor duração que um quadro de dados normal
 - É menos suscetível a colisões
- RTS e CTS usam modulações robustas

Quadros RTS/CTS



Quadros RTS/CTS

- Conteúdo do campo Duration no quadro RTS:

$$Duration_{RTS} = CTS_{RT} + Data + ACK + 3 * SIFS$$

- CTS_{RT} : tempo de resposta do CTS
 - $Data$: tempo necessário para transmitir informação
 - ACK : duração de um quadro ACK
 - $SIFS$: **Short Interframe Space** é o tempo decorrido do final do último símbolo do quadro anterior até o início do primeiro símbolo do quadro subsequente, analisado na interface aérea
- Conteúdo do campo Duration no quadro CTS:

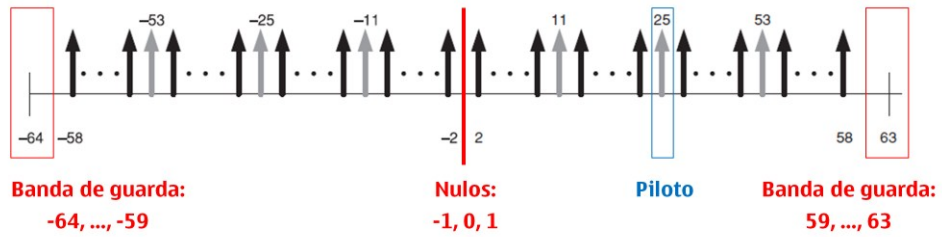
$$Duration_{CTS} = Duration_{RTS} - SIFS - CTS_{RT}$$

IEEE 802.11ac

Instituto Nokia de Tecnologia
Company Confidential © 2009 INdT



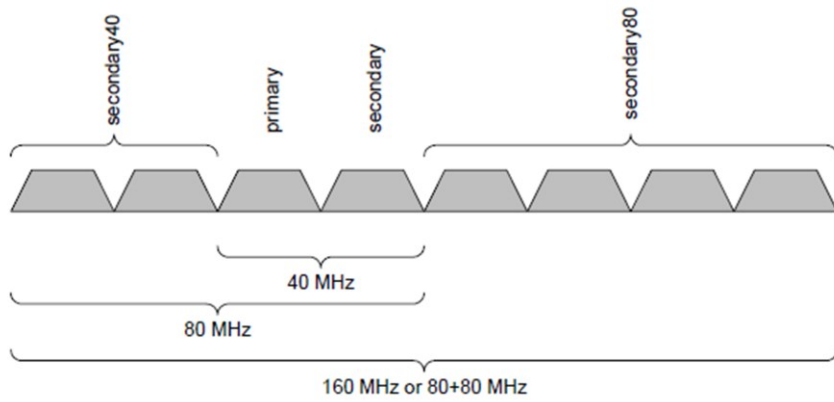
IEEE 802.11ac – camada física



Canalização

- **Canal primário** é o canal comum para operação de todas as estações que fazem parte do BSS
 - Em um ambiente heterogêneo 20/40 MHz os pontos de acesso transmitem todos os quadros de controle e gerenciamento no canal primário
 - O beacon também é transmitido neste canal
 - Os dispositivos de 20 MHz se associam apenas no canal primário
- **Canal secundário** é um canal de 20 MHz que é associado ao canal primário usado pelas estações com o objetivo de criar um **canal de 40 MHz**

Canalização

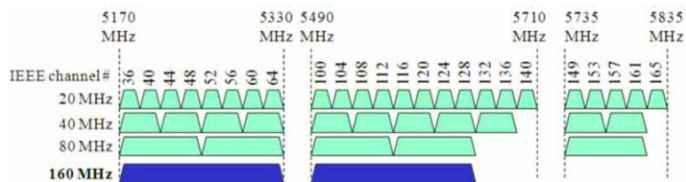


Canal de 40 MHz

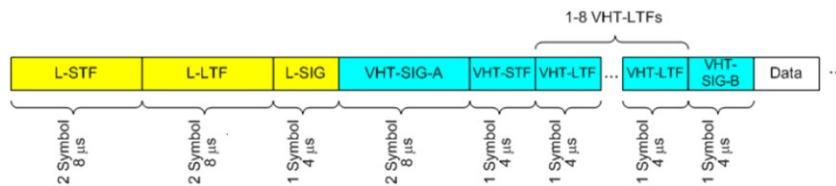
- Na banda de **5 GHz**, os canais de 20 MHz e de 40 MHz **não se sobrepõem**
 - A coexistência e a interoperabilidade entre dispositivos de 20 MHz e de 40 MHz é mais simples
- Na banda de **2.4 GHz**, estes canais **se sobrepõem**

Canalização no IEEE 802.11ac

- Um dispositivo 11ac deve obrigatoriamente dar suporte à transmissão e recepção em 20, 40 e 80 MHz
 - O canal de 80 MHz é formado por dois canais adjacentes e não-sobrepostos de 40 MHz cada
 - O canal de 160 MHz é opcional e é formado por dois canais de 80 MHz que podem não ser adjacentes



VHT PLCP Physical Data Unit (PPDU)



- O prefixo 'L' indica os campos que são compatíveis com dispositivos legados (11a, 11g e 11n)
 - Todos os dispositivos podem decodificar o sinal

Campos do PPDU



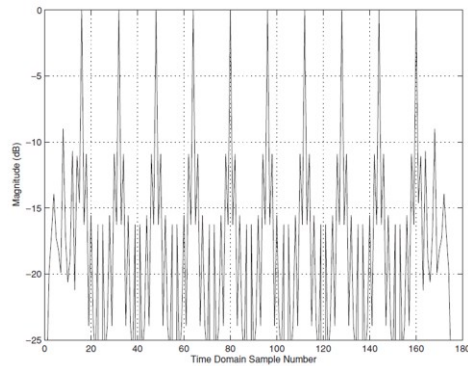
Campo	Descrição
L-STF	Non-HT Short Training
L-LTF	Non-HT Long Training
L-SIG	Non-HT SIGNAL
VHT-SIG-A	VHT Signal A
VHT-STF	VHT Short Training
VHT-LTF	VHT Long Training field.
VHT-SIG-B	VHT Signal B field
Data	The Data field includes the PSDU. It is not present in an NDP

Legacy Short Training field (L-STF)

- L-STF é usado para
 - Detecção do início do pacote
 - Ajuste do automatic gain control (AGC)
 - Estimação inicial do deslocamento de frequência
 - Sincronismo inicial do tempo
- Contem 10 repetições de um símbolo OFDM de 0.8 μ s
 - A sequência escolhida tem boas propriedades de correlação e baixo PAPR

Legacy Short Training field (L-STF)

- A figura mostra a correlação entre um símbolo curto e o L-STF
- A diferença entre o pico de correlação e o lobo lateral é de 10 dB

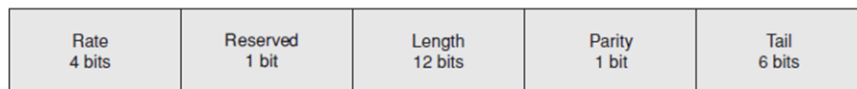


Legacy Long Training field (L-LTF)

- L-LTF é usado para:
 - Estimação de canal
 - Estimação acurada do deslocamento de frequência
 - Sincronização temporal

Legacy Signal field (L-SIG)

- L-SIG contém informações sobre a taxa de transmissão e tamanho do pacote
 - Todos os dispositivos (inclusive os legados) sabem o tamanho do pacote que está sendo transmitido
 - L-SIG é transmitido usando BPSK e BCC (taxa $\frac{1}{2}$)



8 combinações de modulação e taxa de codificação

Deixado para uso futuro. Alguns fabricantes usam-no como bit extra de paridade

Paridade par nos primeiros 17 bits

Igual a zero, usado para reiniciar o decodificador

VHT Signal A field (VHT-SIG-A)

- VHT-SIG-A contem as informações necessárias para decodificar o restante do pacote
 - É transmitido usando BPSK e BCC (taxa $\frac{1}{2}$), intervalo de guarda longo
- É composto por 2 símbolos OFDM de 24 bits de informação em cada símbolo
- Os campos legados e o VHT-SIG-A são duplicados em cada um dos blocos de 20 MHz, sendo aplicada a eles uma rotação de fase

VHT Signal A field (VHT-SIG-A)

A1	BW	Reserved	STBC	Group ID	N _{STS}	TXOP_PS	Reserved
	2 bits	1 bit	1 bit	6 bits	12 bits	1 bit	1 bit

- **BW:** igual a 0 para 20 MHz, 1 para 40 MHz, 2 para 80 MHz, 3 para 160 MHz e 80+80 MHz
- **STBC:** igual a 1 se STBC está ativado
- **Group ID:** identificação de grupo, tem valores apropriados para os casos SU, MU or NDP PPDU
- **N_{STS}:** número de streams espaço-temporais por usuário (3 bits/usuário, com máximo de 4 usuários)
- **TXOP_PS_NOT_ALLOWED:** modo de economia de energia
- **Reserved:** igual a 1

VHT Signal A field (VHT-SIG-A)

A2	Short GI 2 bits	Coding 2 bits	MCS 4 bits	Beamformed 1 bit	Reserved 1 bits	CRC 8 bits	Tail 6 bits
----	--------------------	------------------	---------------	---------------------	--------------------	---------------	----------------

- **Short GI:** intervalo de guarda curto
- **Coding:** BCC ou LDPC; indica se há símbolo OFDM extra resultante da codificação LDPC
- **MCS:** índice do MCS para o caso SU (VHT-SIG-B indica o MCS para o caso MU)
- **Beamformed:** indica se uma matriz de beamforming é aplicada ao sinal numa transmissão SU
- **Reserved:** igual a 1
- **Tail:** igual a 0 e finaliza o decodificador convolucional

VHT Short Training field (VHT-STF)

- VHT-STF melhora a estimativa do AGC em uma transmissão MIMO
- A composição deste campo usa a mesma sequência do L-STF em uma transmissão em 20 MHz
 - Em larguras de banda maiores, versões deslocadas da sequência são aplicadas a cada bloco de 20 MHz

VHT Long Training field (VHT-LTF)

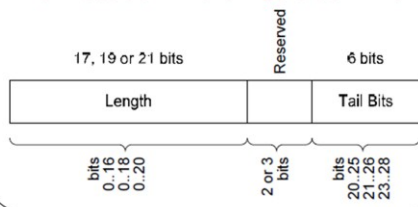
- VHT-LTF é usado pelo receptor para estimar o canal MIMO e equalizar o sinal recebido
- O número de símbolos OFDM deste campo é maior ou igual ao número de streams espaciais

$N_{STS,total}$	N_{VHTLTF}
1	1
2	2
3	4
4	4
5	6
6	6
7	8
8	8

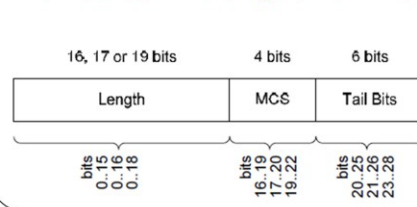
VHT Signal B field (VHT-SIG-B)

- É modulado usando BPSK e indica o tamanho do campo Data
- Também indica o MCS no caso de MU-MIMO
 - O MCS no caso SU-MIMO é indicado em VHT-SIG-A

Formato de VHT-SIG-B para SU-MIMO



Formato de VHT-SIG-B para MU-MIMO



Data field

- 11ac usa as mesmas estruturas de modulação, codificação e interleaving do 11n, com as seguintes distinções:
 - 256QAM é opcional
 - Há apenas 10 MCSs pois 11ac não permite que os streams usem MCSs diferentes

MCS	Modulation	Coding Rate
0	BPSK	1/2
1	QPSK	1/2
2	QPSK	3/4
3	16-QAM	1/2
4	16-QAM	3/4
5	64-QAM	2/3
6	64-QAM	3/4
7	64-QAM	5/6
8	256-QAM	3/4
9	256-QAM	5/6

Diagrama de blocos do transmissor

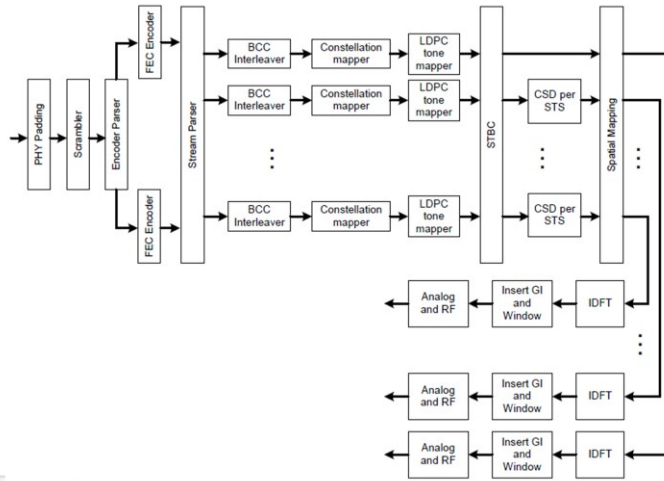
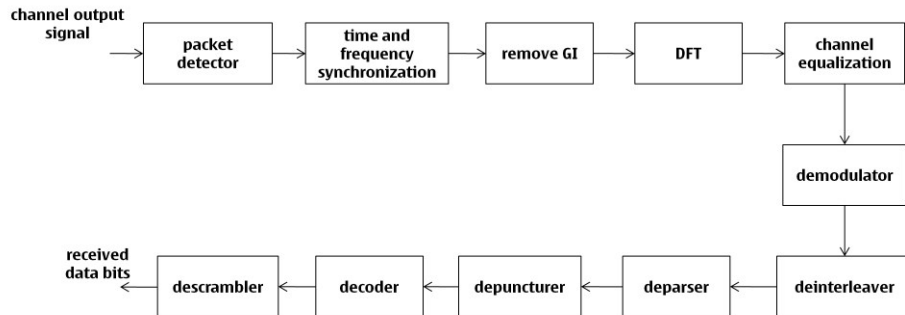


Diagrama de blocos do receptor



IEEE 802.11af

IEEE 802.11af – Operação em TV White Spaces

- **Contexto**

- Transição global para TV Digital (DTV) favorece ao uso dos denominados TV White Spaces (TV-WS)
- Normatização dos TV-White Spaces no mundo
 - EUA: Em 2008 a FCC aprovou o "Report & Order 08-260", permitindo o uso não-licenciado do espectro da banda de TV (Regras da FCC Parte 15-Subparte H)
 - Reino Unido: Ofcom está no processo de fazer esta banda de TV Digital disponível
 - Europa: tem iniciado o processo de definição da regras de uso do espectro de TV



- **Objetivo**

- Realizar as alterações necessárias na MAC e PHY para habilitar produtos do padrão IEEE 802.11 operarem no espectro de TV

- **Casos de Uso**

- Distribuição de Mídias In-home e Celular *Offloading*

- **Status do Padrão**

- Draft 1.0 concluído – primeira etapa de votação foi completa em Fevereiro de 2011
- Dependência da definição da PHY .11ac, pois a mesma é esperado para ser a PHY base da PHY .11af

Porque TV White Spaces?



CEPT: White Space é uma designação dada para uma parte do espectro, disponível para uma comunicação de rádio (serviço, sistema) num determinado instante em uma dada área geográfica, com restrições de geração de interferência a outros serviços com alta prioridade.

ETSI: White Space é o espectro não usado em um dado tempo e localização, disponível para uso porém com restrições de geração de interferência aos serviços primários.

FCC: White space é o espectro de TV em localizações onde esse espectro não está sendo usado por serviços licenciados.

Requisitos de Proteção

- Condição de operação em TV white spaces:
 - Interferência não-prejudicial em serviços autorizados;
 - Dispositivos que irão operar em White Spaces (*White Space Devices* -WSDs) devem aceitar qualquer nível de interferência.

Serviços autorizados que devem ser protegidos:

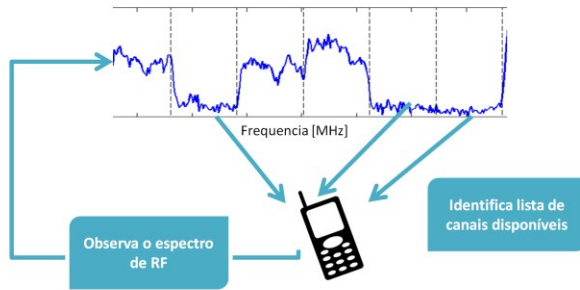
- Serviços de Rádio-Difusão (broadcasting);
- Program making and Special Event services;
- Serviços de Rádio-Astronomia;
- Serviços Aeronáuticos de Rádio-Navegação;
- Serviços Móveis/ Fixos em faixas adjacentes a 470-790 MHz.

Como garantir interferência não-prejudicial em sistemas primários?

Técnicas de Rádio Cognitivo

Spectrum Sensing

Geo-location database



Uso de espectro não basea-se na infraestrutura

Problema de nós "ocultos"

Sensoriamento Cooperativo

Baixos limiares de detecção (ex: -114dBm)

Aumento do custo / complexidade do dispositivo

Instituto Nokia de Tecnologia



IEEE 802.11af – PHY baseada no IEEE 802.11ac

- PHY 11.ac provê muitas características úteis para 11.af
 - 4 diferentes larguras de banda (20/40/80/160 MHz)
 - Transmissão não-contígua
 - DL MU-MIMO
- Taxa de *Down-Clocking* (DC Ratio)

Alterar a taxa de down-clocking é uma maneira simples de fazer o 802.11ac operar em canais mais estreitos



802.11af requer operação em canais de 6 MHz e 8 MHz na maioria dos países

Um subproduto do DC é o aumento do tempo de símbolo OFDM que implica maior imunidade ao espalhamento temporal do canal (*delay spread*)



802.11af requer grande imunidade ao espalhamento temporal do canal. Casos de uso prevêem o emprego de APs com altas elevações para cobrir grandes áreas externas (e.g. *Offloading* celular onde antenas Wi-Fi são colocadas com antenas celulares).

IEEE 802.11ah

Instituto Nokia de Tecnologia
Company Confidential © 2009 INdT



IEEE 802.11ah – Operação na faixa Sub 1 GHz

- **Objetivo**
 - Uso de espectro não-licenciado abaixo de 1GHz globalmente
 - Obtenção de maior alcance, menor consumo de energia e aplicações de baixas taxas para WLANs
 - Operação em uma largura de banda mais estreita comparada com a WLAN 802.11 tradicional
- **Casos de Uso**
 - Sensoriamento e medição
 - Backhaul para sensoriamento e medição
 - Extensão do alcance Wi-Fi
- **Status do Padrão**
 - Primeira versão do documento de Caso de Uso (Aprovada)
 - Documentos de Modelo de Canal e Requisitos Funcionais (Em desenvolvimento)
 - Conclusão planejada em Julho de 2014
 - Trabalhos são conduzidos pelo TaskGroup denominado de TGah

Parâmetros da camada física: *downclocking do 11ac*

11ac

11ac BW	MHz		20	40	80	160
FFT Size			64	128	256	512
T_{fft} : Inverse FFT Period	$\mu S (1/\Delta_f)$		3.2	3.2	3.2	3.2
T_{GI} : Guard Time	μS		.4	.4	.4	.4

11ah

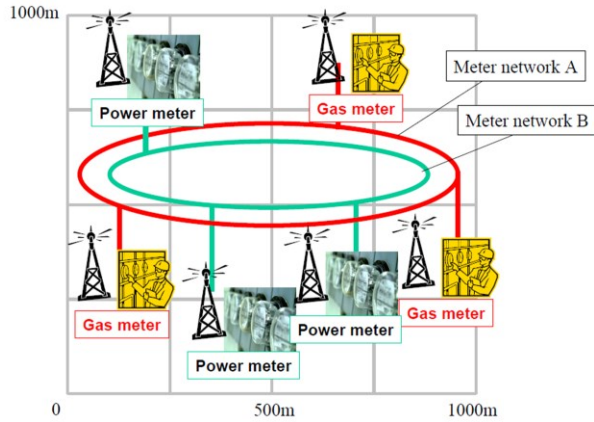
11ah BW	MHz		1	2	4	8	16
FFT Size			32	64	128	256	512
Sampling Frequency	MHz		1	2	4	8	16
Cyclic Prefix, Sample	Sample		8	16	32	64	128
T_{GI} : Guard Time Duration	μs		8	8	8	8	8
Number of Data Subcarriers			26	52	108	234	468
Number of Pilot Subcarrier			2	4	6	8	16
Δ_f : Subcarrier Spacing	kHz		31.25	31.25	31.25	31.25	31.25
T_{fft} : Inverse FFT Period	$\mu S (1/\Delta_f)$		32	32	32	32	32
T_{symbol}: Symbol Duration	μs		40	40	40	40	40

*Fonte: doc IEEE 802.11-11/1175-r3, 11ah channelization discussion

IEEE 802.11ah – Caso de Uso 1 (Smart Grid)

- **Tipo de tráfego de dados**

- Informação de medidas
- Dados de distribuição/entrega de energia elétrica
- Informações de faturamento

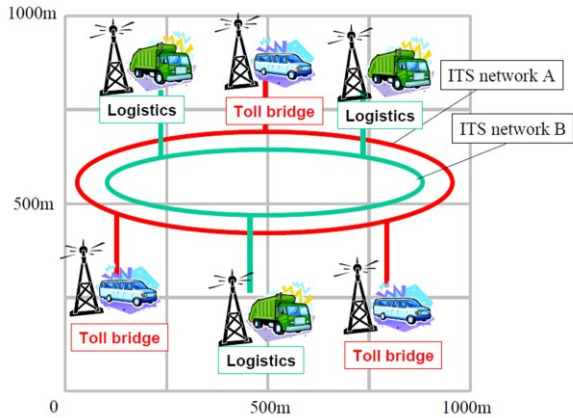


doc.: IEEE 802.11-11/0017r0

IEEE 802.11ah – Caso de Uso 2 (Sistema de Transporte Inteligente)

- **Tipo de tráfego de dados**

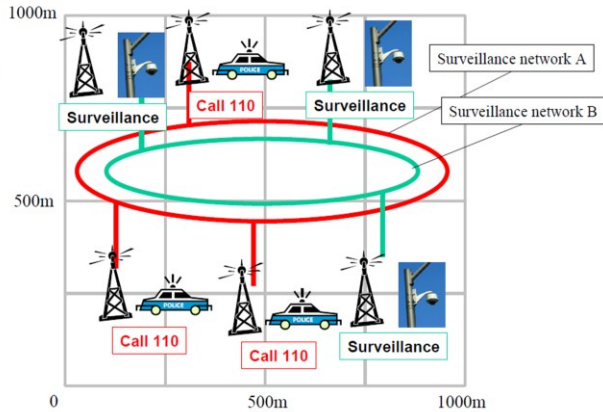
- Informação de tráfego
- Dados logísticos
- Dados de pedágio



doc.: IEEE 802.11-11/0017r0

IEEE 802.11ah – Caso de Uso 3 (Sistema Outdoor de Vigilância)

- **Tipo de tráfego de dados**
 - Informação de localização/pocionamento
 - Dados de chamada de emergência
 - Dados de vídeo/som/movimento

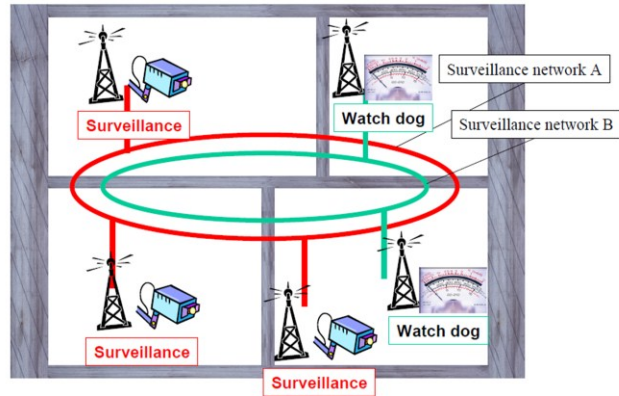


doc.: IEEE 802.11-11/0017r0

IEEE 802.11ah – Caso de Uso 4 (Sistema Indoor de Vigilância)

- **Tipo de tráfego de dados**

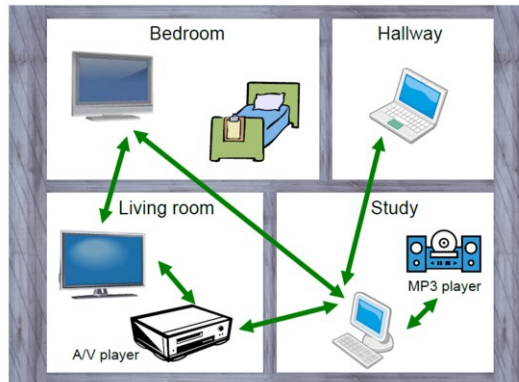
- Dados de vídeo/som/movimento



doc.: IEEE 802.11-11/0017r0

IEEE 802.11ah – Caso de Uso 5 (Sistema de Entretenimento Domiciliar)

- **Tipo de tráfego de dados**
 - Dados de áudio e vídeo



doc.: IEEE 802.11-11/0017r0

↔ A/V streaming through a Sub 1GHz link (5/10/20MHz)

Considerações Finais

- Padrões IEEE 802.11 mostram alguns caminhos de evolução, seguindo basicamente dois aspectos
 - Aumento de taxa de dados
 - IEEE 802.11ac
 - MIMO com 8 antenas e MU-MIMO
 - 256QAM
 - Suporte a larguras de banda maiores
 - Utilização de faixas de espectro com características diferentes
 - Frequências abaixo de 1 GHz
 - Maior cobertura
 - IEEE 802.11ah
 - Sub 1GHz (sensoriamento e aplicações industriais)
 - IEEE 802.11af
 - Espectro de TV (*offloading* celular e distribuição de mídias *in-home*)
- A maioria desses padrões de evolução ainda estão em processo de padronização

Contatos

Instituto Nokia de Tecnologia (INdT)

www.indt.org.br

- Edgar Souza edgar@unb.br
- Rafael Paiva rafael.paiva@indt.org.br
- Robson Domingos robson.domingos@indt.org.br
- André Cavalcante andre.cavalcante@indt.org.br