

Redes Móveis (CPS 867) Parte 1

COPPE
UFRJ

José Ferreira de Rezende
rezende@land.ufrj.br

Programa de Engenharia de Sistemas e Computação
COPPE / UFRJ

© 2016 - Rezende

Ementa do Curso

COPPE
UFRJ

- introdução
- redes ad hoc (MANET), redes de sensores (WSN), redes em malha (WMN), redes tolerantes a atrasos e desconexões (DTN), redes subaquáticas e redes veiculares (VANET)
- rádios cognitivos
- QoS e roteamento
- controle de acesso ao meio, de topologia, de potência e de taxa
- escalonamento de enlaces
- mobilidade IP e TCP móvel
- simulação e experimentação

Bibliografia do Curso

COPPE
UFRJ

- Rappaport, T. S., "Wireless Communications: Principles and Practice", Prentice Hall, 2001.
- Jain, Raj, "The Art of Computer Systems Performance Analysis", John Wiley & Sons, 1991.
- Le Boudec, J.-Y., "Performance Evaluation of Computer and Communication Systems", EFPFL Press, 2010.
- artigos na área

10/11 Aulas

COPPE
UFRJ

- 10/3 – Intro + Camada Física
- 17/3 – Enlace + Simuladores
- 24/3 – 802.11
- 31/3 – Rádios Cognitivos
- 07/4 - Roteamento e Escalonamento de Enlaces
- 14/4 - Apresentação Teórica
- 28/4 – IP Móvel e TCP em Redes sem Fio
- 05/5 – SDN
- 12/5 - Virtualização em Redes Sem Fio
- 19/5 – Folga
- 09/6 – Apresentação do Trabalho Prático

Avaliação do Curso

COPPE
UFRJ

- 1 apresentação (40%) - 14/4
 - pesquisa bibliográfica no assunto escolhido
 - 40 minutos
 - aprovação dos assuntos - 17/03
 - INFOCOM, MOBICOM, MOBIHOC, GLOBECOM, ICC, SIGCOMM
 - www.periodicos.capes.gov.br
- 1 trabalho prático (40%) – 09/6
 - trabalho no assunto escolhido
 - avaliação de desempenho (simulação, modelo matemático ou experimentação real)
- 2 mini-trabalhos (20%)

Trabalhos em 2015

COPPE
UFRJ

- Daniel (28/04)
 - HetNets/5G
- Daniel (28/04)
 - Energia/Taxa
- Gabriela (28/04)
 - Modelos Analíticos Epidemiológicos
- Fabio (30/4)
 - SDN/WiFi/+Genérico
- Nilton (30/4)
 - Escalonamento/Modelo de Perda

Trabalhos em 2011

COPPE
UFRJ

- **anomalia de desempenho do 802.11**
 - Heusse, M., Rousseau, F., Berger-Sabbatel, G. and Duda, A. "Performance anomaly of 802.11b" IEEE INFOCOM 2003, March 2003.
 - vazão agregada/individual de fluxos TCP em função do número de nós.
- **TCP em redes 802.11 com modelo de perdas**
 - Bai, H. and Atiquzzaman, M. "Error modeling schemes for fading channels in wireless communications: A survey" IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2003.
 - Cardoso, K. V., and de Rezende, J. F. - "Accurate Hidden Markov Modeling of Packet Losses in Indoor 802.11 Networks", in IEEE Communication Letters, June 2009.
 - vazão de um fluxo TCP (diferentes versões) em função de parâmetros do modelo.
- **descoberta de rotas nos modos pró-ativo e reativo 802.11s (HWMP)**
 - Cornils, M., Bahr, M. and Gamer, T. "Simulative analysis of the Hybrid Wireless Mesh Protocol (HWMP)" European Wireless Conference, April 2010.
 - tempo médio de descoberta de rota em função da densidade de nós (grau invariável).
- **adaptação de taxa em redes 802.11 densas**
 - Cardoso, K. V. and de Rezende, J. F. "Adaptação Automática de Taxa em Redes 802.11 Densas", in XXVI Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores, Maio de 2008.
 - vazão agregada de fluxos UDP em função do número de estações (diferentes mecanismos de adaptação)

Trabalhos em 2012

COPPE
UFRJ

- **geração de topologias de redes em malha sem fio**
 - E. Zagura: gerador de topologias da Internet
 - implementação de dois modelos de geração de topologia e estudo das propriedades das topologias geradas
- **TCP em redes 802.11 com diferentes modelos de propagação**
 - implementação de um modelo de propagação no ns-2
 - vazão de um fluxo TCP em função dos parâmetros do modelo
- **TCP em redes 802.11 com modelo de perdas**
 - Bai, H. and Atiquzzaman, M. "Error modeling schemes for fading channels in wireless communications: A survey" IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2003.
 - implementação de um modelo de perda no ns-2
 - vazão de um fluxo TCP em função de parâmetros do modelo
- **comparação do desempenho de redes 802.11 na banda ISM e na banda de TV**
 - L. Simic, M. Petrova and P. Mahonen, "Wi-Fi, but not on Steroids: Performance Analysis of a Wi-Fi-like Network Operating in TVWS under Realistic Conditions", ICC 2012.
 - vazão agregada de fluxos TCP em função do aumento do número de pares de comunicação dentro de uma região
- **anomalia de desempenho do 802.11**
 - Heusse, M., Rousseau, F., Berger-Sabbatel, G. and Duda, A. "Performance anomaly of 802.11b" IEEE INFOCOM 2003.
 - vazão agregada/individual de fluxos TCP em função do número de nós.
- **adaptação de taxa em redes 802.11 densas**
 - Cardoso, K. V. and de Rezende, J. F. "Adaptação Automática de Taxa em Redes 802.11 Densas", in SBRC 2008.
 - vazão agregada de fluxos UDP em função do número de estações (diferentes mecanismos de adaptação)

Trabalhos em 2013

COPPE
UFRJ

- **injustiça em redes em malha 802.11**
 - J. Lee, I. Yeom, "Achieving throughput fairness in Wireless Mesh Networks based on IEEE 802.11," MASS 2008.
 - índice de justiça da vazão individual de fluxos TCP em função do número de fluxos escolhidos aleatoriamente em uma WMN
- **interferência co-canal**
 - vazão agregada de fluxos TCP em função do aumento do número de pares fora da zona de detecção de portadora
- **comparação do desempenho de redes 802.11 na banda ISM e na banda de TV**
 - L. Simic, M. Petrova and P. Mahonen, "Wi-Fi, but not on Steroids: Performance Analysis of a Wi-Fi-like Network Operating in TVWS under Realistic Conditions", ICC 2012.
 - vazão agregada de fluxos TCP em função do aumento do número de pares de comunicação dentro de uma região
- **associação em redes heterogêneas**
 - Andrews, J.G., "Seven ways that HetNets are a cellular paradigm shift," IEEE Communications Magazine, March 2013
 - vazão agregada de download de fluxos TCP em redes infra-estruturadas 802.11 em função do número de canais para diferentes critérios de associação

Capítulo I Introdução às Redes Sem Fio

Vantagens das Redes Sem Fio

COPPE
UFRJ

- **permite a mobilidade dos equipamentos**
 - escritórios, campus, cidade, estradas, ...
- **ausência de cabos**
 - **diminuição de custos de infra-estrutura**
 - cabeamento, conectorização, etc.
 - **estética** (p. ex. edifícios históricos)
 - **flexibilidade**
 - emissores e receptores podem ser colocados em qualquer lugar
 - **redução no tempo de instalação**
 - redes temporárias: feiras, exposições, etc.
 - **instalação em áreas de difícil cabeamento**
 - p. ex. edifícios com presença de amianto
 - **fácil planejamento**
 - redes ad hoc não exigem planejamento algum

Desvantagens e Dificuldades encontradas nas Redes Sem Fio

COPPE
UFRJ

- **baixa Qualidade de Serviço (QoS)**
 - baixa banda passante (algumas centenas de Mbps)
 - altas taxas de erro e atrasos (controle de acesso ao meio)
- **maior custo dos dispositivos**
- **efeitos da mobilidade**
 - endereçamento e roteamento
- **restrições no uso de frequências (regulação governamental)**
- **interferência e ruído**
 - vulnerabilidade a ruídos atmosféricos e transmissões de outros sistemas: interferência *inward* e *outward*

Desvantagens e Dificuldades encontradas nas Redes Sem Fio

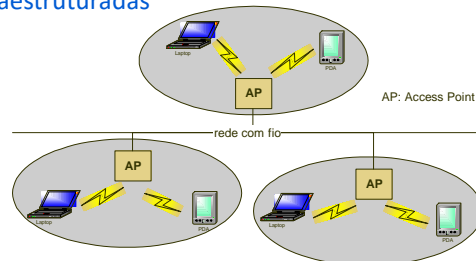
COPPE
UFRJ

- capacidade da rede essencialmente limitada
 - o aumento do número de enlaces aumenta a interferência
 - capacidade decresce com $N^{1/2}$
- consumo de energia: equipamentos móveis
- segurança
 - privacidade, jamming
- aspectos ligados à instalação
 - cobertura, testes de propagação
- riscos à saúde

Tipos de Redes Sem Fio

COPPE
UFRJ

- infraestruturadas



Rede Infraestruturada

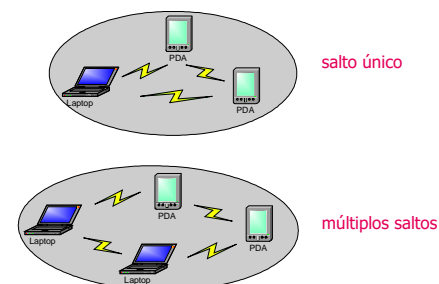
COPPE
UFRJ

- toda comunicação ocorre entre as estações cliente e o ponto de acesso (AP)
 - exemplo: redes celulares (AP = estação base ou ERB)
- APs servem como pontes para outras redes
- projeto mais simples
 - toda funcionalidade nos APs
- diferentes esquemas de acesso ao meio
 - com ou sem colisão
- perda de flexibilidade
 - não funcionam em caso de catástrofes
- exemplos
 - 802.11, 802.16 (WiMax), redes de telefonia

Tipos de Redes Sem Fio

COPPE
UFRJ

- redes ad hoc móveis (MANETs)



Redes Ad Hoc

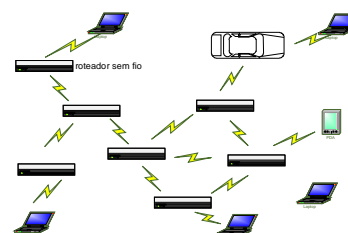
COPPE
UFRJ

- comunicação direta entre as estações móveis
- comunicação entre 2 nós somente é possível
 - se eles estão dentro do alcance um do outro, ou
 - se um outro nó pode reencaminhar a mensagem
- maior complexidade nos nós
 - mecanismos de controle de acesso ao meio distribuídos
 - roteamento ad hoc
- fornece uma maior flexibilidade
 - reuniões inesperadas, treinos militares, catástrofes.
- exemplos: Bluetooth, 802.11 e LTE (D2D)

Tipos de Rede Sem Fio

COPPE
UFRJ

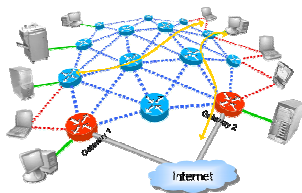
- redes em malha sem fio (WMNs)
 - mesma topologia da Internet mas formada por roteadores sem fio



- leitura recomendada: "Wireless mesh networks: a survey", I. F. Akyildiz et. al., in Journal Computer Networks and ISDN Systems, volume 47 Issue 4, March 2005.

WMNs

COPPE
UFRJ

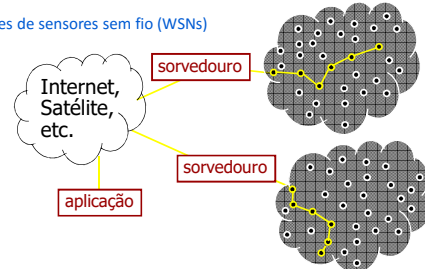


- problemas de desempenho relacionados à escalabilidade
 - sistemas multi-rádio e multi-canal
 - MIMO
 - antenas direcionais
- injustiça (*unfairness*) no compartilhamento da banda
 - enfileiramento e escalonadores de pacote
 - controle de acesso ao meio

Tipos de Redes Sem Fio

COPPE
UFRJ

- redes de sensores sem fio (WSNs)

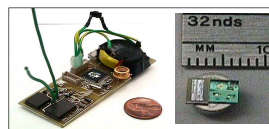


- leitura recomendada: "A survey on wireless sensor networks", I.F. Akyildiz et. al., in IEEE Communications Magazine, August 2002.

Redes de Sensores Sem Fio (RSSFs)

COPPE
UFRJ

- principais características
 - elevado número de nós sensores
 - baixo custo por nó



Fonte: UC Berkeley, COTS Dust



Fonte: UCLA, WINS

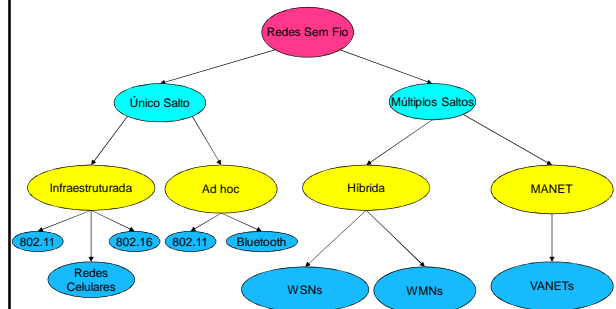


Fonte: JPL, Sensor Webs

- tamanho físico reduzido
- meio de transmissão sem fio
- fonte de energia restrita

Taxonomia

COPPE
UFRJ



Redes em Malha versus Ad Hoc

COPPE
UFRJ

Redes Ad Hoc Móveis

- múltiplos saltos
- nós móveis
- sem nenhuma infraestrutura
- tráfego usuário-usuário

WMNs

- múltiplos saltos
- nós móveis e fixos
- maior parte de infraestrutura
- tráfego usuário-gateway

Redes em Malha versus Redes de Sensores

COPPE
UFRJ

WSNs

- baixa banda passante (dezenas de kbps)
- na maioria: nós fixos
- questão chave: consumo de energia
- recursos limitados
- tráfego usuário-gateway

WMNs

- maior banda passante (>1Mbps)
- nós móveis e fixos
- não limitado em energia
- capacidade é um aspecto chave
- tráfego usuário-gateway

Redes Veiculares (VANETs)

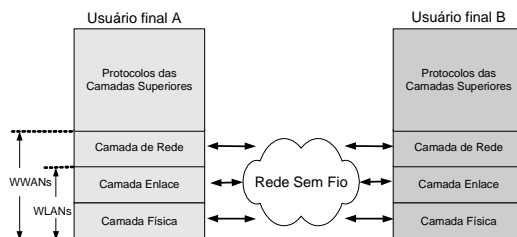
COPPE
UFRJ

- variação de MANETs com possível capacidade de DTN
- principal objetivo/motivação: segurança nas estradas
- tipos de comunicação
 - V2V
 - frequentes mudanças topológicas
 - multicast e broadcast
 - encaminhamento em múltiplos saltos
 - ineficiente em redes esparsas ou pouco densas
 - V2R
 - custo adicional
 - facilita a troca de informações entre veículos
 - V2I
 - deve ser adaptada às características das redes veiculares
- tecnologia: 802.11p

Capítulo II Camada Física e de Enlace

Arquitetura de Protocolos

COPPE
UFRJ



Funções das Camadas

COPPE
UFRJ

- camada Física
 - provê a transmissão de bits através de um canal de comunicação: multiplexação, modulação, codificação e espalhamento no espectro
 - controle de potência
- camada de Enlace
 - garante a sincronização, o controle de acesso ao meio e o controle de erro entre duas entidades, o encaminhamento de quadros
- camada de Rede
 - provê o roteamento de pacotes da fonte ao destino passando por diversas(os) redes físicas/nós
 - roteamento em redes móveis ad hoc, redes em malha, redes de sensores e em redes DTN

Camada Física

Classificação dos Meios de Transmissão

COPPE
UFRJ

- meio de transmissão
 - caminho físico entre o transmissor e o receptor
- meio guiado
 - ondas se propagam através de um meio sólido
 - exemplos: par trançado, cabo coaxial e fibra ótica
- meio não-guiado (transmissão sem fio)
 - provê o meio de transmissão, mas não guia os sinais eletromagnéticos
 - transmissão e recepção são realizadas por meio de uma antena
 - exemplos: atmosfera, espaço e água

Tecnologias de transmissão: rádio

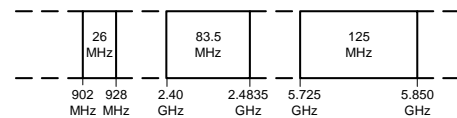
COPPE
UFRJ

- usado na maioria das redes
- GSM (900, 1800 e 1900 MHz), IEEE 802.11 e Bluetooth (2.4 GHz), IEEE 802.11a (5 GHz)
- vantagens:
 - pode cobrir grandes áreas e penetrar obstáculos
 - maiores taxas de transmissão
- desvantagens:
 - sofre e provoca interferências
 - poucas faixas de frequência são livres de licença e aquelas disponíveis não são as mesmas em todo o mundo

Bandas de Frequência ISM

COPPE
UFRJ

- a partir de 1985, o FCC permitiu às redes sem fio o uso sem licença da banda ISM (*Industrial, Scientific, and Medical*)
 - FCC: desde que a potência do sinal seja inferior a 1W
 - Anatel: 300 mW em grandes centros urbanos e 500 mW nos demais



Sinal

COPPE
UFRJ

- representação física dos dados
- a camada física é responsável pela conversão dos dados (bits) em sinais e vice-versa
- pode ser representado no domínio do tempo
 - analógico – intensidade do sinal varia suavemente no tempo
 - digital – intensidade do sinal mantém um nível constante por um período de tempo e então muda para um outro nível constante
 - periódico – sinal digital ou analógico cujo padrão se repete no tempo: $s(t+T) = s(t)$, onde T é o período do sinal
 - onda senoidal: $s(t) = A \sin(2\pi ft + \Phi)$
- ou no domínio da frequência

Sinal no Domínio da Frequência

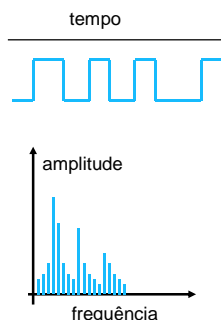
COPPE
UFRJ

- qualquer sinal eletromagnético consiste em uma coleção de sinais analógicos periódicos (ondas senoidais) em diferentes amplitudes, frequências e fases
- conceitos
 - frequência fundamental – quando todos os componentes de frequência de um sinal são múltiplos de uma frequência, ela é chamada de frequência fundamental
 - espectro – faixa de frequências que um sinal contém
 - banda passante absoluta – largura do espectro do sinal
 - banda passante efetiva (banda passante) – faixa estreita de frequência que contém maior parte da energia do sinal

Domínio da Frequência

COPPE
UFRJ

- todo sinal tem uma representação equivalente no domínio da frequência
 - transformada de Fourier
 - componente DC
 - infinitos componentes com diferentes amplitudes e frequências múltiplas da frequência fundamental (harmônicos)
- no entanto, ou o meio de transmissão limita o número de harmônicos ou harmônicos são filtrados

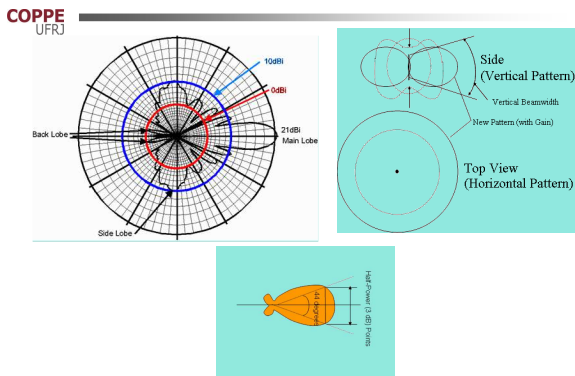


Antenas

COPPE
UFRJ

- condutor elétrico ou um sistema de condutores
 - transmissão – irradia energia eletromagnética no espaço
 - recepção – coleta a energia eletromagnética do espaço
- tipos de antenas
 - antena isotrópica (ideal): irradia potência igualmente em todas as direções
 - antenas dipolo
 - composta de duas peças de tamanho $\frac{\lambda}{4}$ do comprimento de onda dispostas em linha reta e alimentadas pelo meio do dipolo
 - antena omnidirecional
 - antenas direcionais
 - antenas direcionais setorizadas
- ganho da antena
 - potência de saída, numa dada direção, comparada com aquela produzida por uma antena omnidirecional perfeita (isotrópica) em qualquer direção
 - expresso em dBi

Diagramas de Irradiação de Antenas

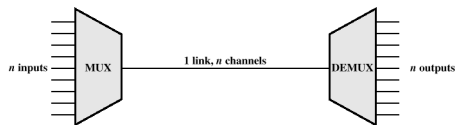


Padrões de Irradiação

- COPPE**
UFRJ
- representação gráfica das propriedades de irradiação de uma antena
 - mostrados na forma de cortes em duas dimensões
 - largura do feixe
 - medida da diretividade de uma antena
 - padrão de recepção
 - equivalente ao padrão de irradiação de transmissão

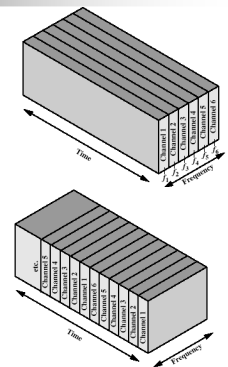
Multiplexação

- COPPE**
UFRJ
- transporte de múltiplos sinais em um único meio
 - uso mais eficiente do meio de transmissão
 - capacidade de um meio de transmissão usualmente excede a capacidade exigida por um único sinal



Tipos de Multiplexação

- COPPE**
UFRJ
- Frequency-division multiplexing (FDM)
 - normalmente, a banda passante utilizável do meio excede a banda passante requerida de um dado sinal
 - Time-division multiplexing (TDM)
 - normalmente, a taxa de bit alcançável do meio excede a taxa de dados requerida de um sinal digital

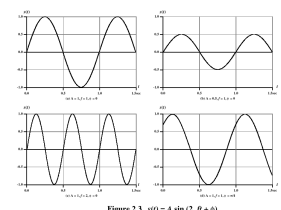


Modulação do Sinal

- COPPE**
UFRJ
- preparo do sinal para a transmissão
 - sistema que recebe duas entradas (informação e portadora) e fornece um sinal de saída que será utilizado no transporte da informação em ondas de rádio
 - modulação digital
 - conversão do dado digital num sinal analógico
 - amplitude (ASK), frequência (FSK), fase (PSK) e amplitude+fase (QAM)

Modulação Digital

- COPPE**
UFRJ
- a variação no tempo dos parâmetros A , f e Φ pode ser usada para representar os dados
 - (a) $A = 1$, $f = 1$ Hz e $\Phi = 0$
 - (b) amplitude: $A = 0.5$
 - (c) frequência: $f = 2$
 - (d) $\Phi = \pi/4$ radianos (45°)
 - 2π radianos = $360^\circ = 1$ período



Modulação Digital

- amplitude-shift keying (ASK)

$$s(t) = \begin{cases} A \cos(2\pi f_c t) & \text{binary 1} \\ 0 & \text{binary 0} \end{cases}$$

- frequency-shift keying (FSK)

$$s(t) = \begin{cases} A \cos(2\pi f_1 t) & \text{binary 1} \\ A \cos(2\pi f_2 t) & \text{binary 0} \end{cases}$$

- phase-shift keying (PSK)

$$s(t) = \begin{cases} A \cos(2\pi f_c t) & \text{binary 1} \\ A \cos(2\pi f_c t + \pi) & \text{binary 0} \end{cases}$$

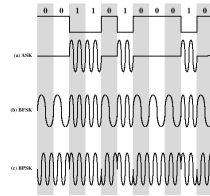
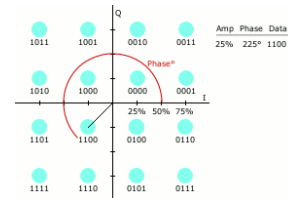


Figure 6.2 Modulation of Analog Signals for Digital Data

Quadrature Amplitude Modulation (QAM)

COPPE
UFRJ

- combinação de ASK e PSK
- ex.: 16-QAM (4 bits por símbolo)



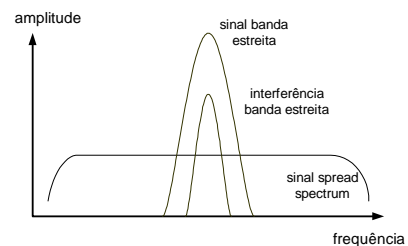
Espalhamento no Espectro (spread spectrum)

COPPE
UFRJ

- espalha a potência do sinal numa larga faixa de frequência
 - desperdiça banda mas ganha no desempenho sinal-ruído
 - interferências são na sua maioria de banda estreita
 - interferem somente numa pequena faixa do sinal
- permite o compartilhamento da mesma faixa de frequência por vários usuários (multiplexação CDMA)
- privacidade
- dois métodos
 - Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)
 - Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)

Espalhamento no Espectro

COPPE
UFRJ



Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)

COPPE
UFRJ

- modulação com uma portadora que salta de frequência em frequência em função do tempo em uma larga faixa
 - código de salto determina quais frequências serão utilizadas e a ordem
 - um sinal de banda estreita somente interfere se estiver transmitindo na mesma frequência num mesmo instante
- recomendação do FCC para a banda de 2.4 GHz
 - 75 ou mais frequências por canal e um tempo máximo de permanência em cada frequência (dwell time) de 400ms
- permite que vários rádios operem na mesma banda desde que utilizem códigos ortogonais
 - exige uma coordenação dos transmissores, ou
 - pode-se usar uma sequência de saltos pseudo-aleatória
 - alguns produtos permitem a escolha de códigos de salto através de software

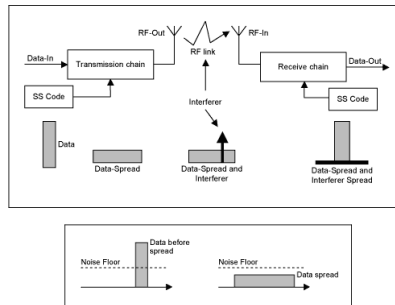
Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)

COPPE
UFRJ

- combinação (operação XOR) de um sinal digital com uma sequência de bits (*pseudo-noise ou chipping sequence*) de mais alta taxa
 - envio de uma sequência de bits para cada bit de dado
 - a própria sequência (bit 0) ou o seu complemento (bit 1)
 - uma escolha apropriada da sequência de bits faz com o que o sinal resultante seja espalhado
 - o número de bits (ou chips) da sequência (ou fator de espalhamento) determina a banda passante do sinal resultante
 - IEEE 802.11: sequência com 11 chips
- mais caro e maior consumo de energia
- atinge maiores taxas: p.ex. IEEE 802.11b - 11 Mbps

Espalhamento no Espectro

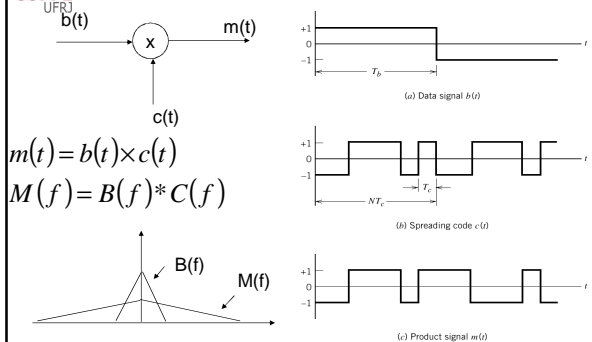
COPPE
UFRJ



Fonte: Dallas/Maxim (http://www.maxim-ic.com/appnotes.cfm/appnote_number/1890)

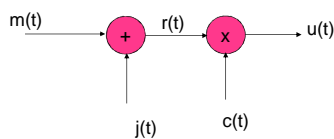
Espalhamento no Espectro

COPPE
UFRJ



Espalhamento no Espectro

COPPE
UFRJ



$$r(t) = m(t) + j(t) = c(t) \times b(t) + j(t)$$

$$u(t) = c(t) \times r(t)$$

$$u(t) = c^2(t) b(t) + c(t) \times j(t)$$

$$u(t) = b(t) + c(t) \times j(t)$$

Capacidade de Shannon

COPPE
UFRJ

$$C = B \log_2(1 + \text{SNR})$$

- B = banda passante do sinal
- SNR = relação sinal-ruído
- representa a capacidade teórica máxima que pode ser atingida
- na prática, taxas bem inferiores podem ser alcançadas
 - assume apenas ruído branco (térmico)
 - ruído impulsivo, atenuação e atrasos não são levados em conta

Razão Sinal-Ruído (SNR)

COPPE
UFRJ

- razão da potência do sinal e da potência do ruído presente num determinado ponto da transmissão
- normalmente, medida no receptor e expressa em dB

$$(\text{SNR})_{\text{dB}} = 10 \log_{10} \frac{\text{potência do sinal}}{\text{potência do ruído}}$$

- um alto SNR significa uma alta qualidade do sinal
- estabelece um limite superior na taxa de dados alcançável

SNR por bit

COPPE
UFRJ

- razão entre a energia por bit (E_b) pela densidade espectral do ruído por Hertz

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S/R}{N_0} = \frac{S}{kTR}$$

- a taxa de erro de bit (BER) de um sinal digital é uma função de E_b/N_0
 - quando a taxa de bit R aumenta, a potência do sinal transmitido deve aumentar para manter o E_b/N_0 desejado

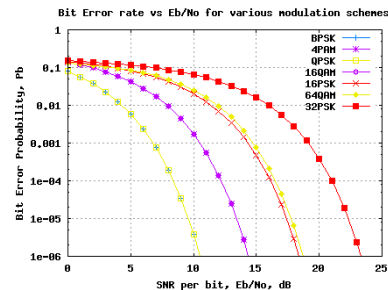
Lei de Shannon

COPPE
UFRJ

- um aumento na banda passante permite um aumento na capacidade
- um aumento na taxa de dados aumenta a taxa de erro de bits
- um aumento na SNR diminui a taxa de erro de bits

BER em função da SNR

COPPE
UFRJ



Decibel

COPPE
UFRJ

- unidade usada para expressar diferenças **relativas** na potência do sinal
 - $dB = 10 \log (P1/P2)$
- o uso de logaritmo como unidade de medida é útil pois:
 - a potência do sinal tende varrer várias ordens de grandeza
 - perdas e ganhos na atenuação do sinal podem ser expressos através de adições e subtrações
- valores absolutos de potência
 - dBm: em relação a 1mW
 - 0 dBm $\Rightarrow P = 1mW$
 - dBW: em relação a 1W

Exercício

COPPE
UFRJ

- a potência do sinal alvo recebido é de 1×10^{-3} mW, o ruído de fundo é de -100 dBm e a interferência é de 9×10^{-10} mW. Qual é a SINR desse sinal?
 - sinal = 1×10^{-3} mW \Rightarrow -30 dBm
 - ruído = -100 dBm $\Rightarrow 1 \times 10^{-10}$ mW
 - interferência + ruído = 10^{-9} mW \Rightarrow -90 dBm
 - SINR (dB) = -30 dBm – (-90 dBm) = 60 dB

Desvanecimento do Sinal

COPPE
UFRJ

- propagação multipercurso, sombreamento (*shadowing*) por bloqueio do sinal, mudanças de posição ou direção da antena e obstáculos que se movem causam grandes flutuações na potência do sinal

Desvanecimento do Sinal

COPPE
UFRJ

- Fast fading
 - desvanecimento rápido do sinal
 - uma sequência de símbolos podem ser afetados
 - ex. canais de rádio móveis
- Slow fading
 - desvanecimento lento do canal
 - mudanças atmosféricas e topográficas
 - variações na potência média do sinal recebido
- Flat fading (non-selective)
 - atenuação que atua sobre toda a banda passante do sinal
 - todos os componentes de frequência são afetados igualmente

Desvanecimento do Sinal (cont.)

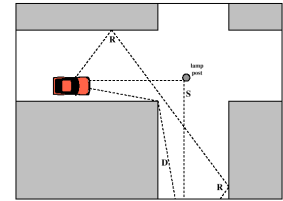
COPPE
UFRJ

- Selective fading
 - atenuação que ocorre sobre uma porção da banda passante do sinal provocando uma distorção
 - apenas um conjunto de frequências do canal é afetado pelo desvanecimento
- Rayleigh fading
 - distribuição que descreve o desvanecimento instantâneo provocado pelo múltiplo percurso quando não existe um sinal dominante
- Ricean fading
 - distribuição que descreve o desvanecimento instantâneo quando existe um sinal preponderante

Propagação em Presença de Obstáculos

COPPE
UFRJ

- reflexão: objetos maiores do que o comprimento de onda
- refração: mudança de direção causada por penetração em meio de diferente densidade
- difração: obstrução por superfícies irregulares
- espalhamento: grande quantidade de pequenos objetos



Propagação Multipercurso

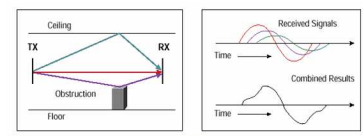
COPPE
UFRJ

- superposição no receptor de múltiplos sinais espalhados no tempo
 - sinais refletidos sofrem diferentes atrasos de propagação
 - efeitos construtivos e destrutivos das ondas multipercurso

Efeitos da Propagação Multipercurso

COPPE
UFRJ

- múltiplas cópias de um sinal podem chegar em diferentes fases
 - se as fases se adicionam destrutivamente, o nível de sinal relativo ao ruído decresce tornando a detecção mais difícil
- Interferência Inter-Símbolos (ISI)
 - uma ou mais cópias atrasadas de um pulso podem chegar ao mesmo tempo que o pulso primário de um bit subsequente



Componentes dos Modelos de Desvanecimento

COPPE
UFRJ

- perda de percurso (path loss)
- slow (ou long-term) fading ou log-normal fading
- fast (ou short-term) fading ou Rayleigh fading

Perda de Percurso (Path Loss ou Large-Scale Path Loss)

COPPE
UFRJ

- componente determinístico que depende da distância entre o transmissor e o receptor
 - decaimento logarítmico
- modelos de propagação teóricos ou empíricos predizem a potência média do sinal recebido para grandes distâncias
 - usados para estimar a área de cobertura do rádio
 - espaço livre (Free Space), terreno plano (TwoRayGround), Log-distance (empírico)

Perda de Percurso (cont.)

COPPE
UFRJ

- normalmente expressa em dB
 - $PL(dB) = 10 \log P_t/P_r$
- no espaço livre:
 - $P_r = P_t * G_t * G_r * \lambda^2 / (4\pi)^2 * L * d^2$
 - onde, $d \gg \lambda$
- reflexão no solo (2RG):
 - $P_r = P_t * G_t * G_r * h_t^2 h_r^2 / d^4$

Perda de Percurso (cont.)

COPPE
UFRJ

- log-distance (empírico)
 - $PL \propto (d/d_0)^n$
 - onde, d_0 = distância de referência
- o valor do expoente depende do ambiente
 - espaço livre: $n=2$
 - visada direta (LOS) em regiões urbanas: $3 < n < 5$

Slow (ou long-term) fading ou Log-Normal fading

COPPE
UFRJ

- componente randômico representando o efeito do ambiente no caminho de propagação (relevo, prédios, árvores, etc.)
 - também conhecido como *shadowing fading*
- afeta a potência média do sinal recebido
- obedece uma distribuição log-normal (normal em dB) em torno do valor médio que depende da distância

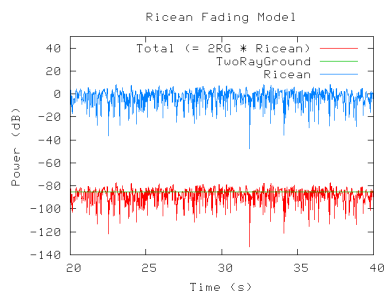
Fast (ou short-term) fading ou Rayleigh fading

COPPE
UFRJ

- componente randômico devido à:
 - propagação multipercurso
 - velocidade do móvel
 - movimento dos objetos ao redor
- o nível de sinal segue uma distribuição de probabilidade de Rayleigh (ou Ricean Fading)
 - K (Ricean factor) = 0 (Rayleigh)

Ricean Fading Model

COPPE
UFRJ



- Punnoose, R.J., Nikitin, P.V. and Stancil, D.D. "Efficient Simulation of Ricean Fading within a Packet Simulator", IEEE Vehicular Technology Conference, Sept 2000. (<http://www.ece.cmu.edu/wireless/downloads.html>)

Perdas por Penetração

COPPE
UFRJ

- perdas do sinal através de paredes e pisos
- normalmente extraídas através de medições
- exemplos:
 - paredes e pisos – 5 a 25 dB

Propagação do Sinal de Rádio

COPPE
UFRRJ

