

PTC3360 - Introdução a Redes e Comunicações

Rádio-enlaces - Parte II

EPUSP

Outubro 2025

Sumário

- 1 Redes de comunicação
- 2 Introdução às camadas superiores
- 3 Camada de enlace e física
 - Introdução
 - Controle de acesso ao canal compartilhado
 - Endereçamento MAC e *switches*
 - Camada física: meios de transmissão
 - Rádio-enlaces

Sumário

- 1 Redes de comunicação
- 2 Introdução às camadas superiores
- 3 Camada de enlace e física
 - Introdução
 - Controle de acesso ao canal compartilhado
 - Endereçamento MAC e *switches*
 - Camada física: meios de transmissão
 - Rádio-enlaces

Sumário

- 1 Redes de comunicação
- 2 Introdução às camadas superiores
- 3 Camada de enlace e física
 - Introdução
 - Controle de acesso ao canal compartilhado
 - **Endereçamento MAC e *switches***
 - Camada física: meios de transmissão
 - Rádio-enlaces

Sumário

- 1 Redes de comunicação
- 2 Introdução às camadas superiores
- 3 Camada de enlace e física
 - Introdução
 - Controle de acesso ao canal compartilhado
 - Endereçamento MAC e *switches*
 - Camada física: meios de transmissão
 - Rádio-enlaces

Sumário

- 1 Redes de comunicação
- 2 Introdução às camadas superiores
- 3 Camada de enlace e física
 - Introdução
 - Controle de acesso ao canal compartilhado
 - Endereçamento MAC e *switches*
 - Camada física: meios de transmissão
 - Rádio-enlaces

Ganho de antenas

Uma antena não ideal dissipa parte da potência recebida. Denotando essa potência dissipada como P_d e a potência total injetada como $P_T = P + P_d$, define-se a **eficiência** γ como

$$\gamma \triangleq \frac{P}{P_T} < 1$$

Além disso, o **ganho da antena** na direção (θ, ϕ) , $G(\theta, \phi)$ é definido como:

$$G(\theta, \phi) \triangleq \gamma D(\theta, \phi)$$

Observações:

- Quando indica-se o ganho de uma antena sem mencionar (θ, ϕ) está se tratando do ganho máximo G_0
- É usual indicar o ganho em dBi (decibéis em relação a uma antena isotrópica ideal) $G(\text{dBi}) = 10 \log G_0$

Exemplo

Exemplo 1: Potência radiada em função do ganho

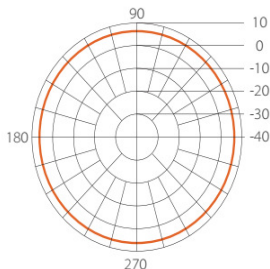
Calcule a densidade de potência irradiada produzida à distância r e direção (θ, ϕ) por uma antena de ganho $G(\theta, \phi)$ na qual se injeta potência P_T .

Exemplo: Antena onidirecional para wi-fi

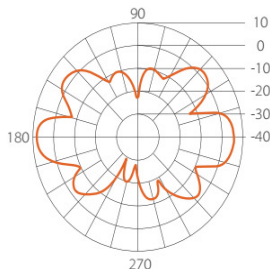
Exemplo 2: Antena onidirecional $G_0 = 8$ dBi em 2,4 GHz



H-Plane Co-Polarization Pattern



V-Plane Co-Polarization Pattern

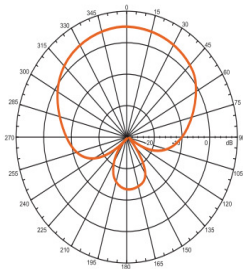


Exemplo: Antena direcional para wi-fi

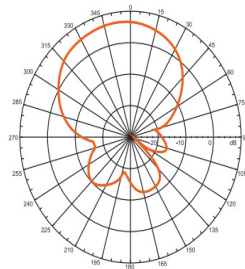
Exemplo 3: Antena direcional $G_0 = 6$ dBi em 2,4 GHz



H-Plane Co-Polarization Pattern



V-Plane Co-Polarization Pattern



Área efetiva e ganho

A **área efetiva** $A_e(\theta, \phi)$ de uma antena determina a potência P_R que ela fornece quando incide uma densidade de potência irradiada N_r com a direção (θ, ϕ) :

$$P_R = A_e(\theta, \phi) N_r$$

Pode-se mostrar [Wentworth, 2006, p. 261] que é relacionada com o ganho por:

$$A_e(\theta, \phi) = \frac{\lambda^2}{4\pi} G(\theta, \phi)$$

Recepção em antenas

Equação de Transmissão de Friis

Com os resultados anteriores obtemos:

$$P_R = \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2 G_T(\theta_T, \phi_T) G_R(\theta_R, \phi_R) P_T$$

Exemplo 4: Equação de Friis em termos de atenuação

A atenuação de espaço-livre entre duas antenas é definida por $A_0[dB] \triangleq 10 \log \frac{P_T}{P_R} = P_T[dBm] - P_R[dBm]$. Mostre que

$$A_0[dB] = 92,44 + 20 \log(rf) - G_T[dBi] - G_R[dBi]$$

sendo r a distância entre as antenas em quilômetros e f a frequência da portadora em gigahertz.

Recepção em antenas

Exemplo 5: Potência recebida de ponto de acesso WiFi

A potência recebida do ponto de acesso Janela (ver Slide 13 da aula sobre meios de transmissão) foi medida a uma distância de 3m e com o celular na mesma altura do dispositivo. Um trecho do ponto de acesso está abaixo. Admita que a antena do ponto de acesso tem um ganho de 4 dBi e a do celular, de 2 dBi. Admita ainda que a comunicação entre os dois utiliza a versão 802.11n do protocolo. Calcule a potência recebida no caso ideal de propagação de espaço livre e compare-a com o valor medido.

Appendix C - Technical Specifications

Technical Specifications

Wireless Transmit Power (AVG Power)

11b:17dBm(Max) 11g:16dBm(Max)

11n:14dBm(Max)

Wireless Operating Range²

- Indoors - up to 328 ft. (100 meters)
- Outdoors - up to 1312 ft. (400 meters)

D-Link DR-600 User Manual

96

Exemplo 6: Raio de cobertura Wifi

Segundo a especificação 802.11g, para 16-QAM a potência mínima que deve ser recebida para que se tenha um máximo de 10% de pacotes com erro é -74 dBm. Para este valor, estime o raio de cobertura do ponto de acesso nas condições do exercício anterior e compare-o com a informação do manual.

Wentworth, S. (2006). *Fundamentos de Eletromagnetismo: Com Aplicações em Engenharia*. LTC.