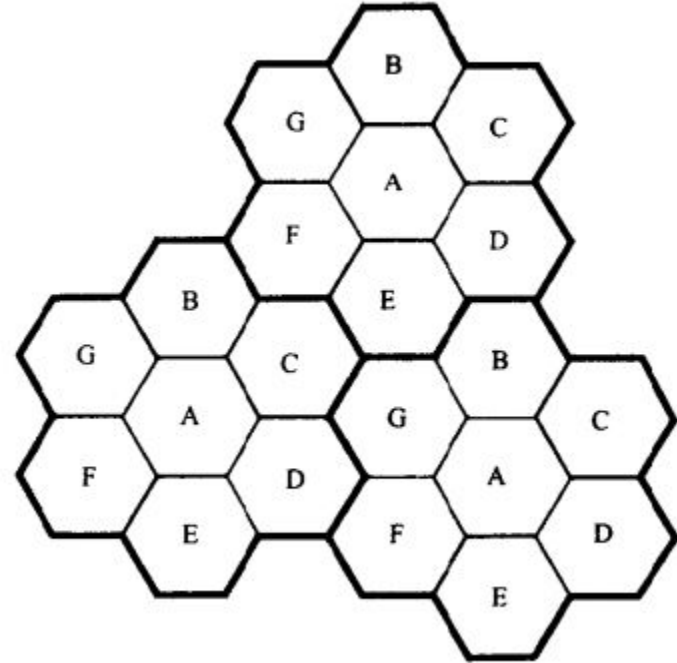


Introdução: Pré-celular

- Uma única torre transmitindo em alta potência cobrindo uma grande área.
- Bell Mobile System, 1970: capacidade de 12 ligações simultâneas em uma área com 28 km de raio.

Introdução

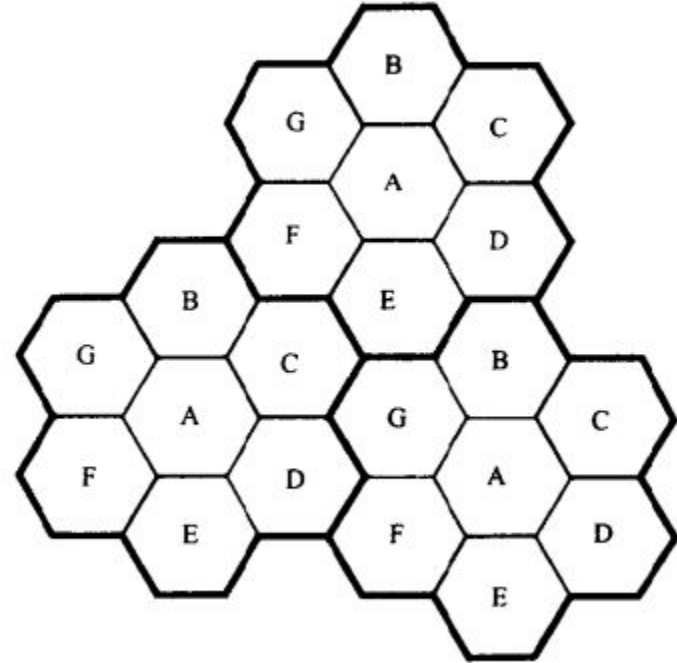
- Conceito celular: Dividir a área em regiões menores (célula), cada uma com uma torre de transmissão (ERB), que opera em uma parcela dos canais de frequência disponíveis.
- A alocação das frequências deve minimizar a interferência entre células, para isso células vizinhas não podem usar o mesmo canal de frequência.



Fonte: Rappaport

Introdução

- Hexágonos são utilizados apenas para simplificar o planejamento do sistema, devido às suas características geométricas.
- Só é possível cobrir o plano com polígonos regulares do mesmo tipo usando triângulos equiláteros, quadrados ou hexágonos. E destes o hexágono é o que mais se aproxima de um círculo.



Fonte: Rappaport

Reuso celular

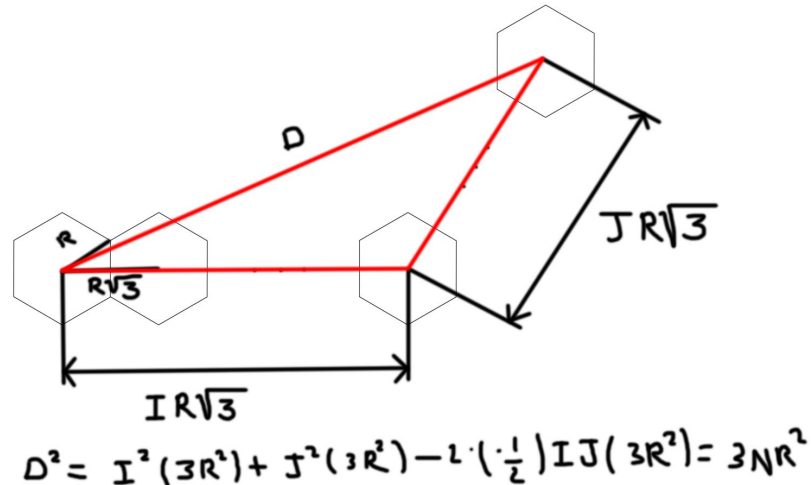
- Número de canais de uma operadora: S
- Número de canais usados por célula: k
- Tamanho do cluster: N
- Se um cluster é replicado M vezes, então a capacidade do sistema será $C = MNk = MS$

Reuso celular

- Por causa da geometria hexagonal, apenas alguns tamanhos de cluster são possíveis: $N = i^2 + ij + j^2$
- Posições de células co-canais mais próximas
 - Mova i células ao longo de qualquer faixa de hexágonos
 - Vire 60° anti-horário e mova j hexágonos

Reuso celular

- A razão R/D , onde R é o raio de uma célula e D a menor distância até a próxima célula co-canal, é um bom indicador de interferência inter-celular.
- Em um sistema com células de raio constante, essa razão pode ser simplificada para $1/\sqrt{(3N)}$



Interferência e capacidade do sistema

- Co-canal: originada pelo reuso de frequência
- Canal adjacente: originada por sinais adjacentes em frequência, devido a vazamentos de energia fora da faixa nominal

Interferência co-canal

- Não pode ser resolvida aumentando a potência de transmissão.
- É reduzida aumentando-se a distância física entre a células co-canais.
- O sinal recebido pode ser avaliado utilizando a SIR (Signal-to-Interference Ratio)
- S: potência do sinal recebido
- i_0 : o número de células co-canais interferentes
- I_i : potência da interferência gerada pela célula i

$$\frac{S}{I} = \frac{S}{\sum_{i=1}^{i_0} I_i}$$

Interferência co-canal

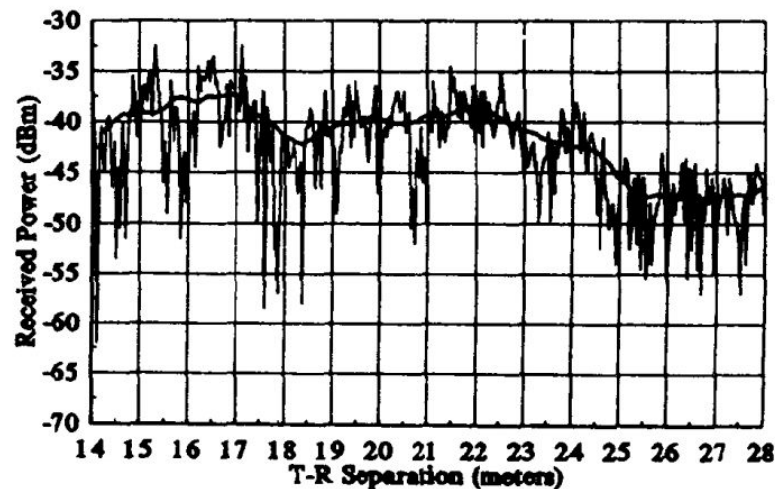
- A potência recebida pode ser aproximada pela fórmula
- Onde **P₀** é a potência em uma referência distante **d₀**
- **n** é o expoente de perda de percurso

$$P_r = P_0 \left(\frac{d}{d_0} \right)^{-n}$$

$$\frac{S}{I} = \frac{R^{-n}}{\sum_{i=1}^{i_0} (D_i)^{-n}} = \frac{(D/R)^n}{i_0} = \frac{(\sqrt{3N})^n}{i_0}$$

Introdução a propagação de ondas de rádio

- Mecanismos: reflexão, difração e espalhamento.
- Modelos de larga e pequena escala.
- Larga escala: Tenta estimar a potência média do sinal recebida em grandes distâncias. Úteis para calcular a área de cobertura.
- Pequena escala: Caracterizam as rápidas flutuações dos sinais recebidos através de pequenas variações de distância ou de durações de tempo.



Fonte: Rappaport

Modelo do espaço livre

- Usado quando o transmissor e o receptor possuem uma linha de visão sem nenhuma obstrução entre eles.
- Friis equation

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L}$$

Larga escala: Perda de percurso (Log-distance)

- A teoria e medidas indicam que a potência recebida decresce logaritmicamente com a distância.

$$PL(dB) = PL(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right)$$

Larga escala: Sombreamento log-normal

- O modelo anterior não considera que o ambiente pode variar drasticamente em posições que estão a uma mesma distância do transmissor.
- Medidas mostraram que para qualquer valor de distância a perda tem uma distribuição log-normal (normal em dB) com média igual ao resultado anterior.

$$PL(d)[dB] = \overline{PL}(d) + X_{\sigma} = \overline{PL}(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_{\sigma}$$

Larga escala: Modelos de propagação ao ar livre

- Modelos que levam em conta as irregularidades do terreno como a curvatura da Terra, montanhas, construções, árvores, etc.

Larga escala: Modelo de Okumura

- Baseado em dados de áreas urbanas, com frequências variando de 150 MHz a 1920 MHz, distâncias variando de 1 km a 100 km e antenas com alturas de 30 m a 1000 m.
- Resumidamente, é um conjunto de curvas que fornecem a atenuação média relativa ao modelo do espaço livre.

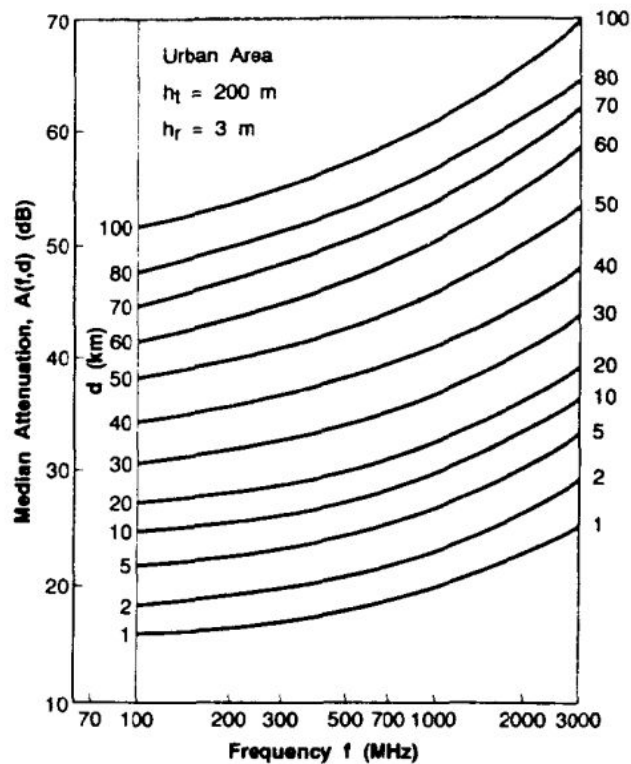
$$L_{50}(\text{dB}) = L_F + A_{mu}(f, d) - G(h_{te}) - G(h_{re}) - G_{AREA}$$

$$G(h_{te}) = 20\log\left(\frac{h_{te}}{200}\right) \quad 1000 \text{ m} > h_{te} > 30 \text{ m}$$

$$G(h_{re}) = 10\log\left(\frac{h_{re}}{3}\right) \quad h_{re} \leq 3 \text{ m}$$

$$G(h_{re}) = 20\log\left(\frac{h_{re}}{3}\right) \quad 10 \text{ m} > h_{re} > 3 \text{ m}$$

Larga escala: Modelo de Okumura



Fonte: Rappaport

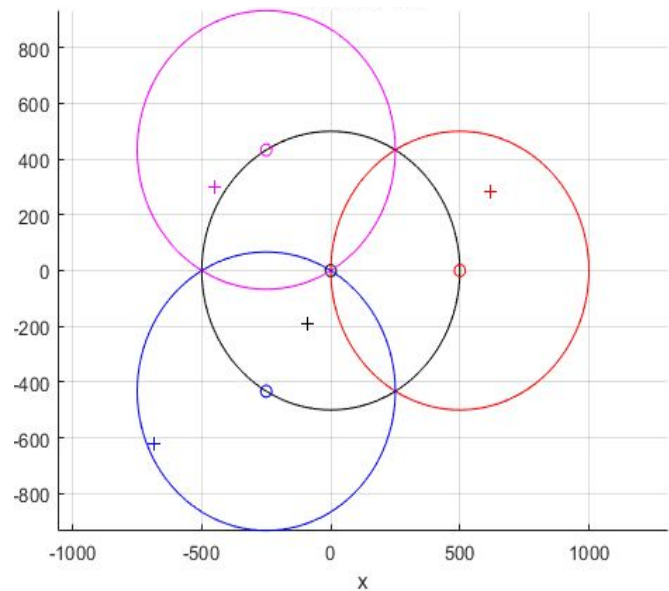
Larga escala: Modelo de Hata

- Formulação empírica dos dados fornecidos por Okumura com equações de correção para aplicações em outras situações.
- É válido no intervalo de frequências de 150 MHz a 1500 MHz.
- EURO-COST estendeu este modelo para 2 GHz.

Pequena escala: Desvanecimento

- Rápida flutuação de amplitude de um sinal sobre uma pequena variação de tempo ou de posição.
- Causado pela interferência das múltiplas versões de um sinal que chegam ao receptor em instantes ligeiramente diferentes.
- Influenciado pela velocidade do receptor, de objetos em movimento ao redor dele. (Efeito doppler)

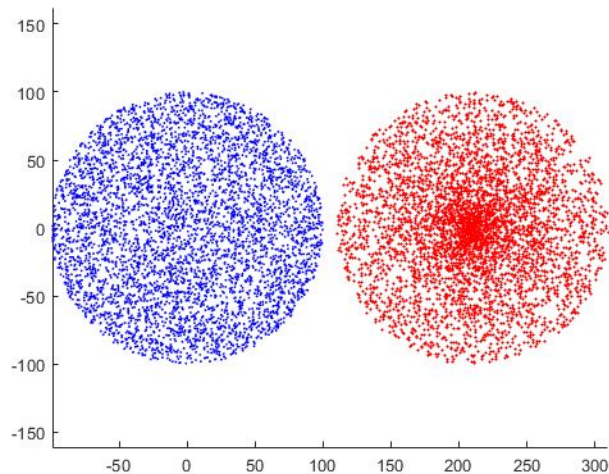
Atividade



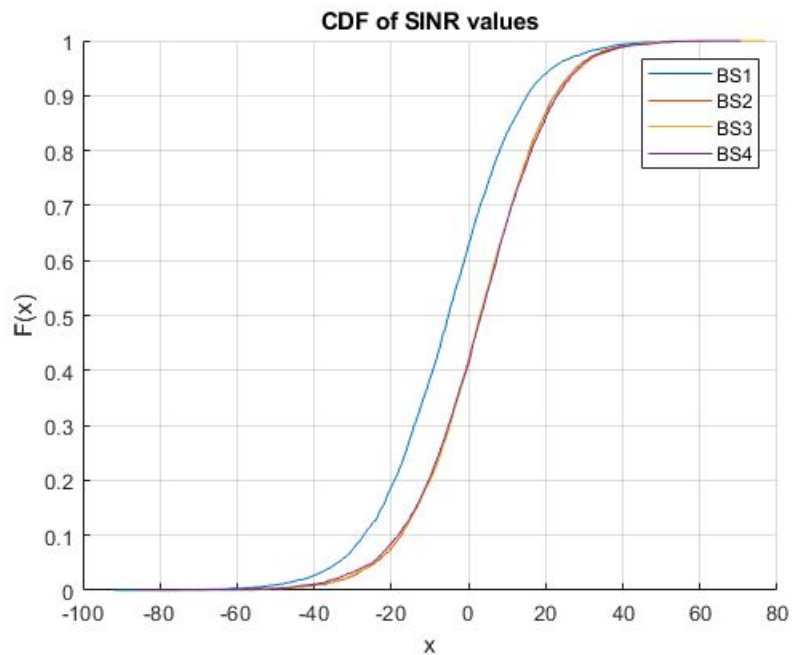
vtSINR ✕			
1x4 double			
1	2	3	4
7.4349	3.4993	18.3605	-8.7646

Atividade

- Distribuição dos raios
- Vermelho: $R \cdot \text{rand}()$
- Azul: $R \cdot \sqrt{\text{rand}()}$



Atividade



Status of BS1

min: -100.8366
max: 70.3512
mean: -5.6794
median: -5.7208
std: 17.3526

Status of BS3

min: -60.0336
max: 74.0375
mean: 3.4104
median: 3.6379
std: 16.3962

Status of BS2

min: -87.8546
max: 80.9465
mean: 2.5198
median: 2.8852
std: 16.8012

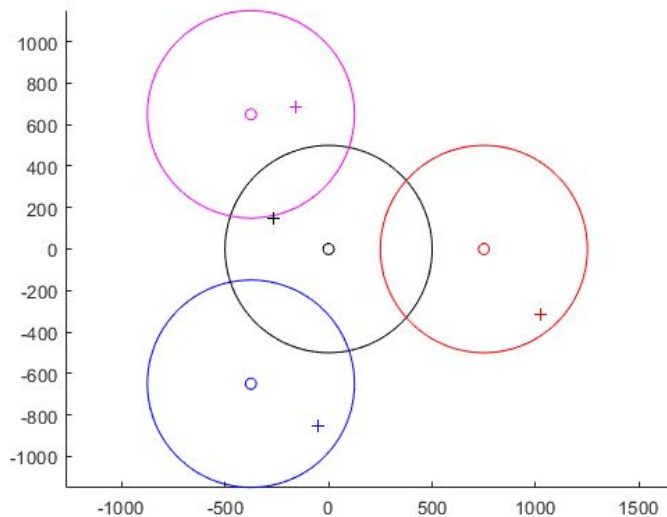
Status of BS4

min: -77.0423
max: 77.8661
mean: 2.9006
median: 3.6698
std: 16.7616

Atividade - Resultados

- A distribuição dos valores é aproximadamente normal.
- As distribuições para as ERBs 2, 3 e 4 são bem próximas, como esperado pela configuração das posições.
- A ERB 1 tem uma qualidade de sinal menor pois é a que mais sofre com a interferência.
- Aumentando a distância entre as ERBs nota-se uma melhora na qualidade do sinal.

Atividade - Resultados



```
Status of BS1
  min: -50.9522
  max: 69.9474
  mean: 3.0731
  median: 2.6865
  std: 14.9195
```

```
Status of BS2
  min: -44.9385
  max: 104.2702
  mean: 9.2019
  median: 8.9203
  std: 15.1882
```

```
Status of BS3
  min: -47.5711
  max: 106.4821
  mean: 9.6038
  median: 9.4699
  std: 15.0534
```

```
Status of BS4
  min: -45.9042
  max: 107.8024
  mean: 9.5128
  median: 9.1982
  std: 15.2380
```