



Prova 1 - Parte 2

Redes Sem Fio

Autoria

Pedro Henrique Dornelas Almeida

Matrícula

18/0108140

Engenharia de Redes de Comunicação
Universidade de Brasília

4 de abril de 2022

Questão 1 - Capacidade do sistema celular

Considere um sistema celular em que há um total de 1001 canais de rádio disponíveis para tráfego. Suponha que a área de uma célula é de $6km^2$ e que a área de todo o sistema é de $2100km^2$.

a. Calcule a capacidade do sistema se o tamanho do "cluster" for 7.

Primeiro podemos ver quantas vezes o sistema será replicado:

$$M = \frac{2100}{6 \cdot 7} = 50$$

Assim, podemos então descobrir a capacidade do sistema(C), a partir do número de canais disponíveis ao sistema(S), do multiplicador M anterior:

$$C = MS = 50 \cdot 1001 = 50050$$

b. Quantas vezes o "cluster" de tamanho 4 teria que ser replicado para cobrir aproximadamente toda a área coberta pelo sistema celular?

$$M = \frac{2100}{6 \cdot 4} = 87,5$$

c. Calcule a capacidade do sistema se o tamanho do "cluster" for 4.

Da mesma maneira do item (a.), podemos fazer:

$$C = MS = 87,5 \cdot 1001 = 87587,5 = 87587 \text{ canais}$$

d. A diminuição do tamanho do cluster aumenta a capacidade do sistema? Explicar.

Note que uma diminuição do tamanho do cluster, faz com que a capacidade do sistema aumente, pois para cobrir a mesma área mantendo a área de uma célula constante, é necessário repetir mais vezes o cluster para cobrir toda a região, isto faz com que os canais sejam repetidos mais vezes, portanto, se temos células com mais canais sendo replicados C é maior.

Questão 2 - Números de canais de interferência

Considere um sistema celular com uma largura de banda total de 30 MHz que usa dois canais simplex de 25 kHz para fornecer canais full duplex de voz e de controle. Suponha que o sistema use um padrão de reutilização de 9 (nove) células e que 1 MHz de largura total de banda seja alocado para canais de controle.

a. Calcule o total de canais disponíveis,

Para encontrar o total de canais disponíveis precisamos dividir a banda total pela banda de um canal full duplex:

$$S = \frac{30MHz}{2 \cdot 25kHz} = 600 \text{ canais disponíveis}$$

b. Determine o número de canais de controle,

Para encontrar o número de canais de controle devemos dividir a banda reservada para controle pela banda para cada canal full duplex de controle:

$$\frac{1MHz}{2 \cdot 25kHz} = 20 \text{ canais de controle}$$

c. Determine o número de canais de voz por célula.

Semelhante ao item anterior, devemos dividir a banda reservada para canais de voz pela banda de cada canal full duplex de voz:

$$\frac{29MHz}{2 \cdot 25kHz} = 580 \text{ canais de voz}$$

Por célula:

$$\frac{580}{9} = 64,44$$

Podemos dividir da seguinte maneira:

- 5 células com 64 canais de voz
- 4 células com 65 canais de voz

Questão 3 - Pior caso de interferência co-canal

Considere um sistema celular que exija uma razão S/I de 18 dB.

a. Para um fator de reutilização de frequência 7, calcule a pior relação de interferência sinal-cocanal. Faça uma figura para tornar claro o seu entendimento.

Para calcular a relação S/I no pior caso, podemos utilizar a seguinte expressão, que derivamos da equação 3.8, encontrando o seguinte, utilizando o expoente de perda de caminho $n = 4$:

$$\frac{S}{I} = \frac{1}{2(Q-1)^{-4} + 2(Q+1)^{-4} + 2Q^{-4}}$$

Note que o Q significa para nós a razão de reutilização do co-canal, e para o formato hexagonal pode ser simplificado para:

$$Q = D/R = \sqrt{3N} = \sqrt{3 \cdot 7} = 4,58$$

Então, podemos fazer:

$$\frac{S}{I} = \frac{1}{2(4,58-1)^{-4} + 2(4,58+1)^{-4} + 2 \cdot 4,58^{-4}}$$

$$\frac{S}{I} = 53,23$$

$$\left. \frac{S}{I} \right|_{dB} = 17,26dB$$

b. Um fator de reutilização de frequência de 7 é aceitável em termos de interferência cocanal? Se não, qual seria uma melhor escolha do fator de reutilização de frequência?

Não é aceitável, visto que o mínimo exigido foi uma S/I de 18dB, logo, não atinge o mínimo. Uma melhor escolha seria $N=9$, pois assim, a interferência de co-canal seria menor, fazendo a mesma conta, no pior caso teríamos:

$$Q = D/R = \sqrt{3N} = \sqrt{3 \cdot 9} = 5,19$$

$$\frac{S}{I} = \frac{1}{2(5,19 - 1)^{-4} + 2(5,19 + 1)^{-4} + 2 \cdot 5,19^{-4}}$$

$$\frac{S}{I} = 94,77$$

$$\left. \frac{S}{I} \right|_{dB} = 19,76dB$$

Note que assim teríamos o mínimo exigido de interferência de co-canal para que o sistema funcione da maneira correta.

Questão 4 - Bloqueio, HMM (BH) e Relação SIR

Considere um sistema celular com 416 canais disponíveis, e que 21 desses canais desses sejam designados como canais de controle. Suponha que o tempo médio de retenção do canal (ou seja, a duração média) de uma chamada seja de 3 minutos, a probabilidade de bloqueio durante o horário de maior movimento (HMM, ou Busy Hour – BH) seja de 2%, e o fator de reutilização de frequência seja 9.

a. Determine o número de chamadas por célula por hora.

Cada célula pode usar $k = (416 - 21)/9 = 43,88 = 43$ canais de voz. Assim, podemos descobrir agora qual o tráfego total para cada célula por meio de uma interpolação na tabela Erlang B e sabendo que $P = 0,02$:

$$\frac{43 - 40}{70 - 40} = \frac{A - 31}{59,13 - 31} \rightarrow A = 33,813 \text{ [Erlangs]}$$

Neste momento, pode-se encontrar a quantidade de chamadas por célula (N_c) dividindo o tráfego total na célula pelo tráfego de uma chamada:

$$180/3600 = 0,05 \text{ [Erlangs/call]}$$

$$N_c = \frac{33,813}{0,05} = 676,26 \text{ chamadas}$$

Para não ocupar mais que o oferecido, devemos arredondar para:

$$N_c = 676 \text{ chamadas}$$

b. Determine a relação sinal-interferência S/I, em dB.

Para determinar a relação vamos utilizar a primeira camada de células que causam interferência de co-canal, considerando que D e R são constantes no sistema, o expoente de perda de caminho seja $n = 4$ e $i_0 = 6$, ou seja, o número de células na primeira camada seja 6, então:

$$\frac{S}{I} = \frac{(\sqrt{3N})^n}{i_0}$$

$$\frac{S}{I} = \frac{729}{6} = 121,5$$

$$\left. \frac{S}{I} \right|_{dB} = 10 \log(121,5) = 20,84 \text{ dB}$$

Questão 5 - Tráfego Oferecido x Tráfego Transportado; Sistemas BCC e BCD

Considere que em uma dada célula de um sistema troncalizado de comunicações móveis existam 50 canais de serviço, e que, a cada 100 chamadas realizadas, 2 chamadas são perdidas (não-completadas por insuficiência de recursos), não havendo enfileiramento. Cada canal, quando utilizado, permanece em uso, em média, durante 120 segundos, e os usuários apresentam 1,20 pedidos de chamadas por hora. Verifica-se, por meio de estatísticas, que os processos de intervalos entre chamadas e de tempos de atendimento seguem distribuição exponencial (ou seja, são markovianos). Pergunta-se:

a. Qual a carga de tráfego oferecido, em Erlangs?

A carga de tráfego oferecido, pode ser encontrada por meio da tabela Erlang B fazendo uma interpolação. Sabendo que no sistema temos uma probabilidade de bloqueio dada por $P = 2/100 = 0,02$, podemos fazer:

$$\frac{50 - 40}{70 - 40} = \frac{A - 31}{59,13 - 31} \rightarrow A = 40,37 \text{ Erlangs}$$

b. Qual a carga de tráfego transportado, em Erlangs?

A carga de tráfego transportado pode ser dado pela relação entre o tráfego oferecido e sua probabilidade da chamada se completar(1-P), em que P é a probabilidade de uma chamada ser bloqueada, assim:

$$C = A(1 - P) = 40,37(1 - 0,02) = 39,56 \text{ Erlangs}$$

c. Qual o número máximo de usuários servidos?

O número máximo de usuários servidos pode ser dado dividindo o tráfego total(A) pelo tráfego gerado por cada usuário(A_u). Para descobrir o tráfego gerado por cada usuário podemos fazer:

$$A_u = \lambda h$$

Em que o λ representa a taxa média de chamadas por usuário, e h representa o tempo médio de uma chamada, assim:

$$A_u = \frac{1,20}{3600} \cdot 120 = 0,04 \text{ Erlangs}$$

Agora podemos achar a quantidade máxima de usuários servidos(u) por célula:

$$u = A/A_u = 40,37/0,04 = 1009,25 = 1009 \text{ usuários}$$

d. Suponha agora que o sistema dispõe de buffer para enfileiramento de chamadas. Neste caso, qual a probabilidade de uma chamada atrasada esperar mais que 10 segundos?

Para esta questão, utilizaremos a fórmula de Erlang C para determinar a probabilidade de uma chamada não ter acesso imediato ao canal ($P_r[\text{atraso} > 0]$). Após isso, utilizaremos a seguinte relação para encontrar a probabilidade de uma chamada atrasada esperar mais que 10 segundos:

$$P_r[\text{atraso} > t] = P_r[\text{atraso} > 0] \cdot e^{\frac{-(C-A_{total})t}{H}}$$

Em que C é a quantidade de canais, A_{total} é a quantidade de tráfego total em Erlangs e H o tempo médio de duração de uma chamada, assim, fiz um programa em python para calcular estas probabilidades:

```

1  import math
2  from cmath import exp, log10
3
4  def factorial(x):
5      return math.factorial(x)
6
7  def pow(x,y):
8      return math.pow(x,y)
9
10 def somatorio(a,c):
11     soma = 0
12     for k in range(c):
13         soma = soma + (pow(a,k)/factorial(k))
14     return soma
15
16 a = float(input("A(Erlangs) = "))
17 c = int(input("C(canais) = "))
18 h = float(input("H(hold time) = "))
19 t = float(input("t(time) = "))
20
21 pr0 = pow(a,c) / (pow(a,c) + (factorial(c)*(1-(a/c))*somatorio(a,c)))
22
23 prt = pr0*exp(( -(c-a)) * t) / h)
24
25 print("Pr[atraso > 0] = " + str(pr0))
26 print("Pr[atraso > " + str(t) + "] = " + str(prt))

```

A probabilidade de uma chamada atrasar foi de:

$$P_r[\text{atraso} > 0] = 0,098 = 9,8\%$$

A probabilidade então de uma chamada atrasada esperar mais que 10 segundos foi de:

$$P_r[\text{atraso} > 10] = 0,044 = 4,4\%$$