Universidade Federal de Santa Maria

Departamento de Eletrônica e Computação

Exercícios

Redes de comunicação de dados

Carlos Henrique Barriquello
barriquello@gmail.com

Exercícios

Um grupo de N estações compartilha um canal ALOHA puro de 56 kbps. Cada estação transmite em média um quadro de 1.000 bits a cada 100 s, mesmo que o anterior ainda não tenha sido enviado (as estações podem, por exemplo, armazenar em buffer os quadros enviados). Qual é o valor máximo de N?

Resposta

No ALOHA puro a largura de banda útil é 0.184 × 56 kbps = 10.3 kbps.

Cada estação precisa de 10 bps, então N = 10300/10 = 1030 estações.

Exercícios

Compare o retardo do ALOHA puro com o do slotted ALOHA com uma carga baixa. Qual deles é menor? Explique sua resposta.

Resposta

No ALOHA puro, uma transmissão pode iniciar instantaneamente. Para cargas baixas, praticamente não haverá colisões e a transmissão será bem sucedida.

Com o slotted ALOHA, ela deve esperar o próximo *slot*. Portanto, em média tem-se um retardo de meio tempo de *slot.*

Exercícios

Dez mil estações estão disputando o uso de um único canal slotted ALOHA. Uma estação faz em média 18 solicitações/hora. Um slot tem 125 µs. Qual é a carga total aproximada do canal?

Resposta

Cada terminal faz uma requisição a cada 200 segundos, resultando em um total de 50 requisições/segundo.

Portanto, $G = 50/8000 = 1/160$.

Exercícios

Uma grande população de usuários do ALOHA tenta gerar 50 solicitações/s, incluindo os quadros originais e as retransmissões. O tempo é dividido em unidades de **40 ms**.

(a) Qual é a chance de sucesso na primeira tentativa?

(b) Qual é a probabilidade de haver exatamente k colisões antes de se obter sucesso?

(c) Qual é o número esperado de tentativas de transmissão necessárias?

Resposta

(a) Com G = 50/25 = 2, a lei de Poisson dá uma probabilidade de e^{-2}.

(b) $p=(1 - e^{-G})^k e^{-G} = 0.135 \times 0.865^k$.

(c) O número esperado de transmissões é $R = e^G = 7.4$.

Exercícios

A medição de um canal slotted ALOHA com um número infinito de usuários mostra que 10% dos slots estão ociosos.

(a) Qual é a carga do canal, representada por G?

(b) Qual é a capacidade (*throughput*)?

(c) O canal está sobrecarregado ou subutilizado?

Resposta

(a) Usando a lei de Poisson, $P_0 = e^{-G}$, então $G = -\ln P_0 = -\ln 0.1 = 2.3$.

(b) Usando $S = Ge^{-G}$ com $G = 2.3$ e $e^{-G} = 0.1$, $S = 0.23$.

(c) Como $G > 1$, o canal está sobrecarregado.

Exercícios

Em um sistema slotted ALOHA com uma população infinita, o número médio de slots que uma estação aguarda entre uma colisão e sua retransmissão é **4**. Represente em um diagrama a curva de variação do retardo (atraso) com a capacidade desse sistema.

Resposta

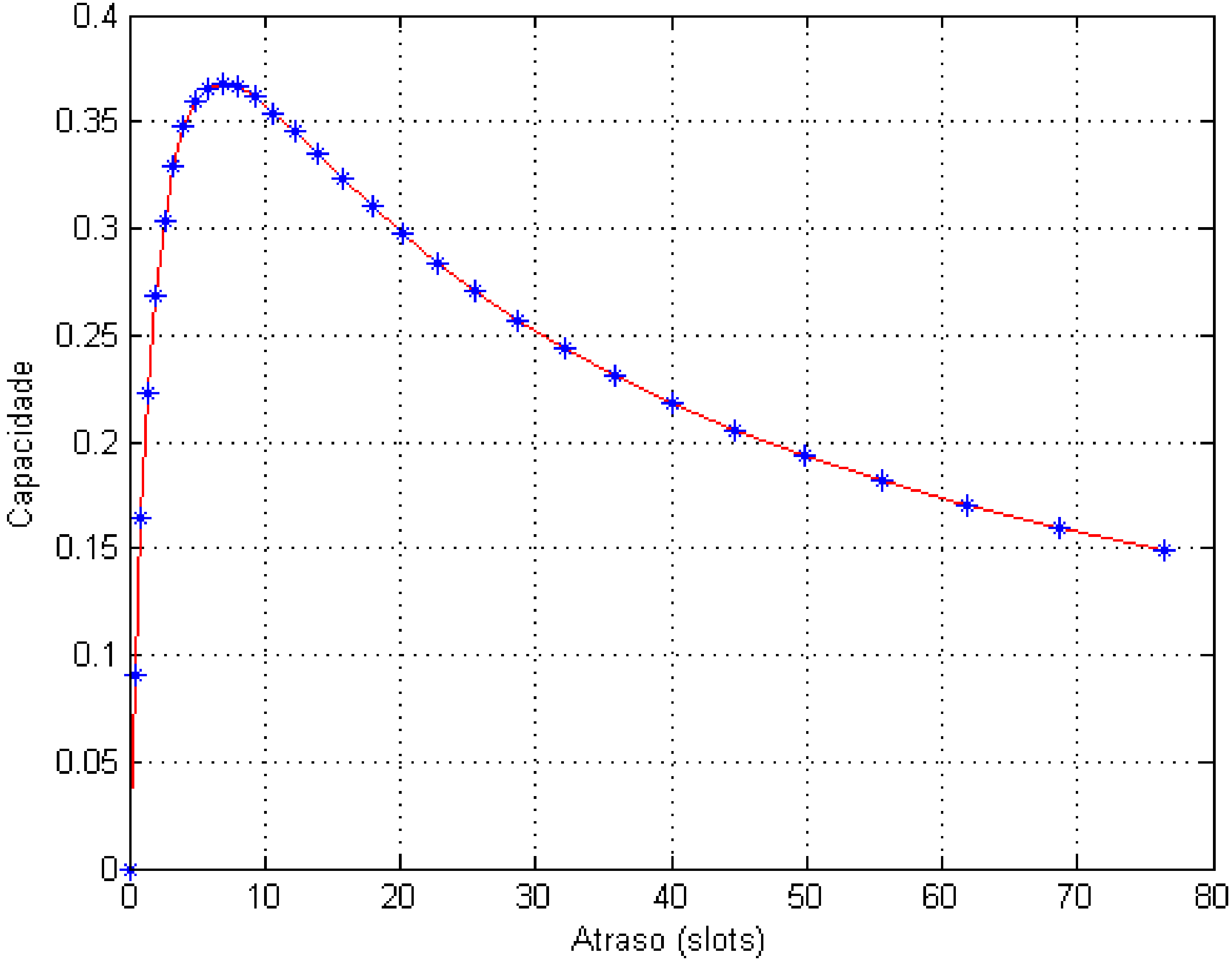
O número de transmissões é $E = e^G$.

Estes E eventos são separados por $E - 1$ intervalos de 4 slots cada. Logo, o atraso é $4(e^G - 1)$.

A capacidade é dada por $S = Ge^{-G}$.

Então, há duas equações paramétricas, uma para o atraso e outra para a capacidade, ambas em relação a G. Para cada valor de G é possível encontrar o atraso e a capacidade, resultando em um determinado ponto da curva.

Resposta



0.4
0.35
0.3
0.25
0.2
0.15
0.1
0.05
0
Capacidade
0
10
20
30
40
50
60
70
80
Atraso (slots)

Exercícios

Quanto tempo uma estação **s** terá de esperar, na pior das hipóteses, antes de poder começar a transmitir seu quadro sobre uma LAN que use o protocolo de acesso ao meio com mapa de bits?

Resposta

O pior caso é quando todas as estações querem transmitir e **s** é estação com a maior numeração.

Neste caso, **s** deverá esperar $(N - 1) \times d$ bits para a transmissão dos quadros até a chegada do próximo período de disputa + N bits do período de disputa + $(N - 1) \times d$ bits para realizar a transmissão do seu quadro.

O tempo total é $N + 2(N - 1)d$ tempo de bits.

Exercícios

Dezesseis estações, numeradas de 1 a 16, estão disputando o uso de um canal compartilhado que emprega o protocolo de percurso em árvore adaptativo. Se todas as estações cujos endereços são **números primos** de repente ficarem disponíveis ao mesmo tempo, quantos slots de bits serão necessários para resolver a disputa?

Resposta

Estações 2, 3, 5, 7, 11 e 13 ficam prontas. São necessários 11 slots, sendo cada slot disputado assim:

slot 1: 2, 3, 5, 7, 11, 13
slot 2: 2, 3, 5, 7
slot 3: 2, 3
slot 4: 2
slot 5: 3
slot 6: 5, 7
slot 7: 5
slot 8: 7
slot 9: 11, 13
slot 10: 11
slot 11: 13

Exercícios

Um conjunto de 2^n estações usa o protocolo de percurso em árvore adaptativo para arbitrar o acesso a um cabo compartilhado. Em um determinado instante, duas delas se tornam disponíveis. Qual será o número máximo, mínimo e médio de slots do percurso em árvore, se 2^n for muito maior que 1?

Resposta

O número de slots depende de quão acima da raiz deve-se ir até encontrar um nó antecessor comum a ambas as estações.

- se ambas possuem um nó pai comum (no nível n), deve-se percorrer 2n+1 slots. Isto ocorre com probabilidade 2^{-n}.

- se ambas possuem um nó avó comum (no nível n-1), deve-se percorrer 2n-1 slots. Isto ocorre com probabilidade 2^{-n+1}. Os demais casos seguem a mesma lógica.

Portanto, no pior caso tem-se 2n+1 slots e no melhor caso, 3 slots (i.e. n=1). A média m é:

$$m = \sum_{i=0}^{n-1} 2^{-(n-i)}(2n+1-2i) \longrightarrow m = (1-2^{-n})(2n+1) - 2^{-(n-1)} \sum_{i=0}^{n-1} i2^{i}$$

Exercícios

Duas estações CSMA/CD estão tentando transmitir arquivos longos (de vários quadros). Depois que cada quadro é enviado, elas disputam o canal usando **algoritmo de recuo binário exponencial.** Qual é a probabilidade de a disputa terminar na rodada de número **k**, e qual é o número médio de rodadas por período de disputa?

Resposta

O número de tentativas de aquisição inicia em 1. A i-ésima tentativa está distribuída entre $2^{(i-1)}$ slots. Então, a probabilidade de colisão na tentativa i é $2^{-(i-1)}$. A probabilidade de falharem as primeiras k−1 tentativas, seguidas pelo sucesso na rodada k é

$$P_k = (1 - 2^{-(k-1)}) \prod_{i=1}^{k-1} 2^{-(i-1)}$$

$$P_k = (1 - 2^{-(k-1)})\, 2^{-(k-1)(k-2)/2}$$

Assim, o número médio de tentativas é $\sum k P_k$

Exercícios

Considere a construção de uma rede CSMA/CD que funciona a 1 Gbps sobre um cabo de 1 km, sem repetidores. A velocidade do sinal no cabo é 200.000 km/s. Qual é o tamanho mínimo de quadro?

Se usar o tamanho mínimo de quadro do IEEE 802.3, qual deve ser o comprimento máximo de cabo?

Resposta

Em um cabo de 1 km, o tempo de propagação é 5 µs, então 2τ = 10 µs.

Para que CSMA/CD funcione, deve ser impossível transmitir um quadro inteiro neste intervalo.

A 1 Gbps, todos os quadros menores que 10.000 bits podem ser completamente transmitidos em menos de 10 µs, então o quadro mínimo é de 10.000 bits ou 1250 bytes.

A 1Gbps e com quadro de 64 bytes, o comprimento máximo do cabo é L = (64 x 8/(10^9)) x (2x(10^8)/2) = 51.2m

Exercícios

O comprimento do cabo de uma rede IEEE 802.3 (10 Mbps) é 500 metros (velocidade de propagação: 2 x 10^8 m/s) e o tamanho do quadro médio é 500 bits. Assume-se que a probabilidade “p” de uma estação usar um “slot” não varia durante o período de contenção (“p” é constante).

a) Determine a máxima eficiência do canal se o número médio de estações tentando enviar um quadro é fixo em 3. Qual é o número médio de slots perdidos durante o período de contenção?

b) Responda a questão “a” considerando um número muito grande de estações tentando enviar um quadro.

Resposta

a) A eficiência máxima ocorre quando a probabilidade "A" de uma estação utilizar o canal com sucesso é máxima. Sendo A=kp(1-p)^(k-1), A é maximizado para p=1/k. Portanto, p=1/3 e A= (1-1/3)^2 = 4/9.

Portanto, o número médio de slots perdidos no período de contenção é 1/A = 9/4 = 2.25.

O atraso de propagação τ = 500/(2x10^8) = 2.5 us

Logo, a máxima eficiência é U = P/(P+2τ/A) =>

U = (500/10^7)/(500/10^7 + 2x2.5x10^(-6) x 2.25) = 81.6%

Resposta

b) Quando $k \to \infty$, o número médio de slots perdidos é $1/A = e$.

Portanto, a máxima eficiência é $U = P/(P+2\tau e)$ =>

U = (500/10^7)/(500/10^7 + 2x2.5x10^(-6) x 2.71) = 78.7%

Exercícios

Duas estações em uma rede CSMA/CD usam o **algoritmo de recuo binário exponencial** quando ocorrem colisões. Considerando o caso em que ambas enviam um quadro simultaneamente, causando a primeira colisão, responda:

a) Qual é a probabilidade de que não ocorram mais do que duas colisões sucessivas após a primeira colisão?

b) Qual é o período médio de contenção se cinco (5) colisões sucessivas acontecerem?

Respostas

a) Se não ocorrem mais do que duas colisões sucessivas após a primeira colisão, deve haver nenhuma, uma ou duas retransmissões ?

$P = P1 + P2 + P3 = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \times (1-\frac{1}{4}) + \frac{1}{2} \times \frac{1}{4} \times (1-1/8) =$

$P = 0.5 + 0.375 + 0.109375 = 0.98 = 98\%$

Respostas

b) Se 5 colisões sucessivas acontecerem após a primeira colisão, o período médio de contenção será:

Contenção = primeira colisão + 4 colisões sucessivas + tempo médio de espera antes de enviar o quadro sem colisão

O número médio de slots perdidos em um intervalo de contenção de n slots quando ocorre uma colisão é:

Soma de j=1 até n P("perder j slots") x j = 1/n x soma de j=1 até n = 1/n x n(n+1)/2 = (n+1)/2

Após "i" colisões, n = 2^i. Então,

Contenção = 1 + soma i=1 até 4 (2^i + 1)/2 + (2^5 – 1)/2 = 33.5 slots

Exercícios

Duas estações compartilham um segmento de uma rede IEEE 802.3 (10 Mbps). Cada estação quer enviar exatamente 2 quadros de 1000 bits cada e ambas começam a enviar simultaneamente. Considerando que o atraso de um slot de contenção (2x o atraso de propagação) é igual a 2 us e que a probabilidade "p" de retransmissão em um determinado slot é constante e igual a 1/2, responda:

a) Qual é o tempo médio de envio dos dois primeiros quadros?

b) Qual é o tempo médio de envio dos 4 quadros?

Resposta

a)O atraso médio de contenção é C = 2x10^(-6)/ A, sendo A=kp(1-p)^(k-1) = 1/2, para k=2 e p=1/2.

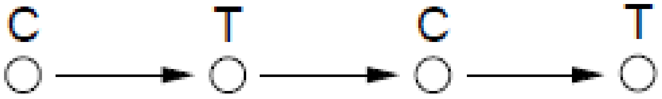
Portanto, C = 4x10^(-6) s.

O tempo de transmissão de um quadro é

T=1000/10x10^6 = 10^(-4) s.

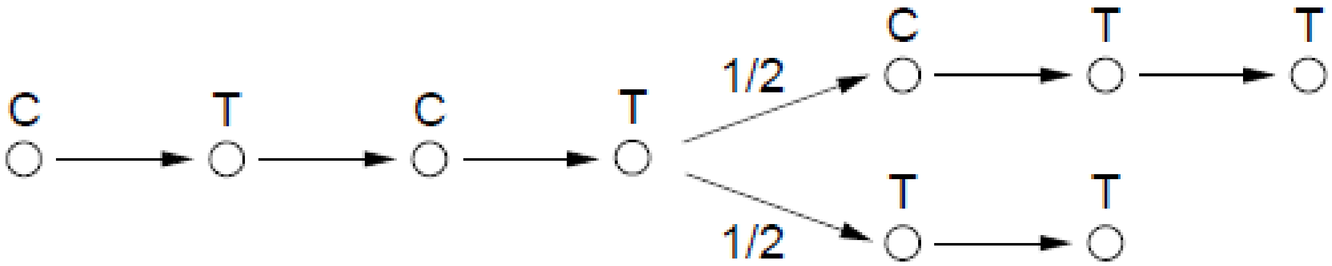
Como o envio de cada quadro é precedido pelo tempo médio de contenção, o tempo médio de envio dos dois primeiros é

C+T+C+T = 2.08 x 10^(-4) s



Resposta

b) Como o tempo de envio dos dois primeiros já foi calculado, é necessário determinar o tempo médio dos dois próximos quadros. Porém, só haverá contenção se ambas as estações tiverem quadros para transmitir. Portanto, há duas situações possíveis com probabilidade ½ cada.



$$2C + 2T + \frac{1}{2}(C + 2T) + \frac{1}{2}2T = 4.1 \times 10^{-4}\ \mathrm{s}$$

Exercícios

Três estações compartilham um segmento de uma rede IEEE 802.3 (10 Mbps). A estação A quer enviar 2 quadros de 250 bytes cada e as estações B e C querem enviar um quadro 125 bytes cada. Todas começam a enviar simultaneamente. Considerando que o atraso de um slot de contenção (2x o atraso de propagação) é igual a 2 us e que a probabilidade “p” de retransmissão em um determinado slot é constante e igual a 0.3, responda:

a) Qual é o tempo médio de envio do primeiro quadro?

b) Qual é o tempo médio de envio dos 4 quadros?

Resposta

a) O atraso médio de contenção é C = 2x10^(-6)/A, sendo A=kp(1-p)^(k-1) = 0.441, para k=3 e p=0.3.

Portanto, C = 4.535 x 10^(-6) s.

O tempo de transmissão de quadro para A é

$$T_a = \frac{250 * 8 \text{ b}}{10 \times 10^6 \text{ b/s}} = 2 \times 10^{-4} \text{ s}$$

E para B e C

$$T_{bc} = \frac{125 * 8 \text{ b}}{10 \times 10^6 \text{ b/s}} = 10^{-4} \text{ s}$$

Resposta

a) A primeira transmissão é precedida de um período de contenção e demora mais o tempo médio de transmissão de um quadro.

$$
\begin{aligned}
C + 1/3\,T_a + 2/3\,T_{bc} &= 4.535 \times 10^{-6} + 1.333 \times 10^{-4}\ \mathrm{s} \\
&= 1.37868\ldots \times 10^{-4}\ \mathrm{s}
\end{aligned}
$$

Exercícios

Seja uma rede A com as seguintes características: capacidade de transmissão = 5 Mbps; comprimento do cabo = 1 Km; número de terminais = M e comprimento de pacote = b bits. Uma outra rede B possui o mesmo número de terminais, o mesmo comprimento de pacote e um cabo de 50 Km de comprimento. Atraso de propagação = a segs/Km.

Se as redes A e B utilizam o esquema de acesso CSMA/CD, calcule a capacidade de transmissão da rede B para que se tenha a mesma eficiência de A.

Resposta

A eficiência de uma rede CSMA/CD pode ser aproximada por:

$U=1/(1+2\tau/AP)$

Portanto para se ter a mesma eficiência, deve-se ter:

$\tau\_A/P\_A = \tau\_B/P\_B$ ou, equivalentemente,

$\tau\_A \times R\_A = \tau\_B \times R\_B$. Portanto, $R\_B = \tau\_A \times R\_A/\tau\_B =$
$a \times 5M/ (50 \times a) = 0.1$ Mbps

Exercícios

Seja uma rede em barramento de 1 km com o esquema de acesso CSMA/CD. O total de número de terminais é 10. O comprimento médio do pacote é 1000 bits e o atraso de propagação é 10 μs/km.

a) Calcule o valor aproximado da capacidade de transmissão do barramento para que a rede possa operar com uma eficiência de 50%.

b) Para o valor de capacidade encontrado em (a), qual é o novo valor de comprimento de pacote para que a eficiência seja 60%?

Resposta

a) A eficiência de uma rede CSMA/CD pode ser aproximada por:

$U=1/(1+2\tau/AP)$

Para $U=0.5$, deve-se ter $2\tau/AP = 2\tau R/AL = 1$

Portanto $R = AL/2\tau = (1-1/M)^{\wedge}(M-1) x L/2\tau = 0.9^{\wedge}(0.9) \times 1000/(2x10u)$

Então, R = 19.37 Mbps

Resposta

b) A eficiência de uma rede CSMA/CD pode ser aproximada por:

$U=1/(1+2\tau/AP)$

Para $U=0.6$, deve-se ter $P= L/R = 3\tau/A$

Portanto $L = 3\tau R/(1-1/M)^{\wedge}(M-1) = 3x10u \times 19.37M \times 0.9^{\wedge}(0.9)$

Então, L = 1500 bits.