

3ª Lista de Exercícios de Teleprocessamento 2021-1 EARTE

33. Calcule os coeficientes de Fourier para a função $f(t) = t$ ($0 \leq t \leq 1$).

$$A_n = -1/(\pi^2 * n), \quad B_n = 0, \quad c = 1$$

34. Um canal sem ruído de 4 kHz tem uma amostra a cada 1 ms. Qual é a taxa máxima de dados desse canal?

Um canal sem ruído pode transportar uma quantidade arbitrariamente grande de informações, não importando com que frequência é feita a amostragem. Basta enviar uma grande quantidade de dados por amostra. No caso do canal de 4 kHz, crie 8.000 amostras/s. Se cada amostra tem 16 bits, o canal pode enviar 128 kbps. Se cada amostra tem 1.024 bits, o canal pode enviar 8,2Mbps. A expressão-chave aqui é “sem ruído”. Com um canal normal de 4 kHz, o limite de Shannon não permitiria isso.

35. Os canais de televisão têm 6 MHz. Quantos *bits/s* poderão ser enviados, se forem usados sinais digitais de quatro níveis? Suponha um canal sem ruído.

$$m = 4$$

$$h = 6 \text{ MHz}$$

$$c = 2 * H * \log_2(M) \Rightarrow 2 * 6M * \log_2 4 = 24M$$

36. Se um sinal binário for enviado sobre um canal de 3 kHz cuja relação sinal/ruído é de 20 dB, qual será a taxa máxima de dados que poderá ser alcançada? 20 db = 1 e 2 zeros

37. Qual é a relação sinal/ruído necessária para colocar uma portadora T1 em uma linha de 50 kHz?

Para enviar um sinal T1, precisamos de $H \cdot \log_2(1 + S/N) = 1,544 \times 10^6$ com $H = 50.000$. Isso resulta em $S/N = 2^{30} - 1$, que corresponde a cerca de 93 dB.

38. Qual é a diferença entre uma estrela passiva e um repetidor ativo em uma rede de fibra óptica?

Uma estrela passiva não tem nenhum componente eletrônico. A luz de fibra ilumina uma série de outras. Um repetidor ativo converte o sinal óptico em um sinal elétrico para processamento posterior.

39. Qual é a largura de banda existente em 0,1 micron de espectro em um comprimento de onda de 1 micron?

$$c = 3 \cdot 10^8$$

$$\Delta f = c \cdot \Delta \lambda / \lambda^2 = 3 \cdot 10^8 \cdot 10^{-7} / 1 \cdot 10^{-12} = 30 \text{ THz}$$

40. Queremos enviar uma seqüência de imagens de tela de computador por fibra óptica. A tela tem 480×640 pixels, e cada pixel tem 24 bits. Há 60 imagens de tela por segundo. Qual é a largura de banda necessária, e quantos micra de comprimento de onda são necessários para essa banda a 1,30 micra?

A taxa de dados é $480 \times 640 \times 24 \times 60$ bps, que é igual a 442 Mbps. Por simplicidade, vamos supor 1 bps por Hz. Da equação (2-3), obtemos $\Delta \lambda = \lambda^2 \Delta f / c$. Temos $\Delta \lambda = 4,42 \times 10^{-8}$, e assim $\Delta \lambda = 2,5 \times 10^{-6}$ micra. O intervalo de comprimentos de onda utilizados é muito curto

41. O teorema de Nyquist também se aplica à fibra óptica, ou somente ao fio de cobre?

O teorema de Nyquist é uma propriedade matemática e não tem nenhuma relação com a tecnologia. Ele afirma que, se você tem uma função cujo espectro de Fourier não contém nenhum seno ou co-seno acima de f , então, por amostragem da função à frequência de

2_l, você irá captar todas as informações que existem. Desse modo, o teorema de Nyquist é verdadeiro para todos os tipos de meios de transmissão

42. Em geral, as antenas de rádio funcionam melhor quando o comprimento da antena é igual ao comprimento de onda das ondas de rádio. Uma variação razoável para o comprimento das antenas é de 1 cm a 5 m. Que faixa de frequências é coberta por esse intervalo?

Comece com $\lambda_l = c$. Sabemos que c é 3×10^8 m/s. Para $\lambda = 1$ cm, obtemos 30 GHz. Para $\lambda = 5$ m, obtemos 60 MHz. Desse modo, a banda coberta é de 60 MHz a 30 GHz.

43. O esmaecimento de vários caminhos é maximizado quando os dois feixes chegam ao destino defasados 180 graus. Que diferença de percurso é necessária para maximizar o esmaecimento (*fading*) em um enlace de microondas de 1 GHz com 50 Km de extensão?

A 1 GHz, as ondas têm o comprimento de 30 cm. Se uma onda percorrer 15 cm mais que a outra, elas chegarão fora de fase. O fato do link ter o comprimento de 50 km é irrelevante.

44. Um feixe de raios laser de 1 mm está orientado para um detector localizado a 100 m de distância do telhado de um edifício. Que desvio angular (em graus) o laser precisa ter antes de perder o detector?

Se o feixe estiver desviado 1 mm no fim do percurso, ele perderá o detector. Isso significa um triângulo com base 100 m e altura 0,001 m. Portanto, o ângulo é aquele cuja tangente é 0,00001. Esse ângulo mede cerca de 0,00057 grau.

45. Os 66 satélites de baixa órbita do projeto Iridium estão divididos em seis colares em torno da Terra. Na altitude em que eles se encontram, o período é de 90 minutos. Qual é o intervalo médio entre *handoffs* no caso de um transmissor estacionário?

Com 66/6 ou 11 satélites por colar, a cada 90 minutos, 11 satélites passam por uma posição diretamente vertical. Isso significa que existe um trânsito a cada 491 segundos. Desse modo, haverá um handoff a cada 8 minutos e 11 segundos, aproximadamente.

46. Considere um satélite na altitude dos satélites geoestacionários, mas cujo plano orbital está inclinado em relação ao plano equatorial por um ângulo ϕ . Para um usuário estacionário na superfície da Terra na latitude ϕ norte, esse satélite parecerá imóvel no céu? Se não, descreva seu movimento.

O satélite se movimenta de uma posição diretamente vertical em direção ao horizonte meridional, com uma excursão máxima a partir da posição vertical igual a $2f$. Ele leva 24 horas para ir da posição diretamente vertical até a excursão máxima e voltar

47. Um sistema telefônico simples consiste em duas estações finais e uma única estação interurbana, à qual cada estação final está conectada por um tronco *full-duplex* de 1 MHz. Um telefone comum é usado para fazer quatro ligações em um dia útil de 8 horas. A duração média de cada chamada é de 6 minutos. 10% das chamadas são interurbanas (ou seja, passam pela estação interurbana). Qual é o número máximo de telefones que uma estação final pode aceitar? (Suponha 4 kHz por circuito.)

Cada telefone faz 0,5 chamada/hora, de 6 minutos cada. Desse modo, um telefone ocupa um circuito por 3 minutos/hora. Vinte telefones podem compartilhar um circuito, embora a necessidade de manter a carga próxima a 100% ($r = 1$ em termos de enfileiramento) implique tempos de espera muito longos. Tendo em vista que 10% das chamadas são interurbanas, são necessários 200 telefones para ocupar em tempo integral um circuito interurbano. O tronco da estação tem $1.000.000/4.000 = 250$ circuitos multiplexados sobre ele. Com 200 telefones por circuito, uma estação pode admitir $200 \times 250 = 50.000$ telefones

48. Uma companhia telefônica regional tem 10 milhões de assinantes. Cada um de seus telefones está conectado a uma estação central por um fio de cobre de par trançado. O comprimento médio desses pares trançados é 10 km. Quanto vale o cobre contido nos loops locais? Suponha que a seção transversal de cada fio seja um círculo com 1 mm de diâmetro, que a densidade específica do cobre seja $9,0 \text{ gramas/cm}^3$ e que o cobre seja vendido ao preço de 3 dólares por quilograma.

A seção transversal de cada fio de um par trançado mede $\pi/4 \text{ mm}^2$. Uma extensão de 10 km desse material, com dois fios por par, tem um volume igual a $2\pi/4 \times 10^{-2} \text{ m}^3$. Esse volume é cerca de 15.708 cm^3 . Com uma massa específica igual a $9,0$, cada loop local tem massa igual a 141 kg. Portanto, a companhia telefônica possui $1,4 \times 10^9 \text{ kg}$ de cobre. A 3 dólares por quilograma, o cobre vale aproximadamente 4,2 bilhões de dólares.

49. Um oleoduto é um sistema *simplex*, um sistema *half-duplex*, um sistema *full-duplex* ou nenhum dos anteriores?

. Como uma única linha de estrada de ferro, ele é *half-duplex*. O óleo pode fluir em qualquer sentido, mas não em ambos os sentidos ao mesmo tempo.

50. O custo de um microprocessador rápido diminuiu tanto que agora é possível incluir um em cada modem. De que maneira isso afeta o tratamento de erros na linha telefônica?

Normalmente, os bits são enviados pela linha sem qualquer esquema de correção de erros na camada física. A presença de uma CPU em cada modem torna possível incluir um código de correção de erros na camada 1 para reduzir bastante a taxa de erros efetiva vista pela camada 2. O tratamento de erros pelos modems pode ser totalmente transparente para a camada 2. Muitos modems atuais incluem correção de erros.

51. Um diagrama de constelação de modems QAM tem pontos de dados nas seguintes coordenadas: (1,1), (1,-1), (-1,1) e (-1,-1). Quantos bps um modem com esses parâmetros pode alcançar a uma taxa de transmissão de 1.200 bauds?

Existem quatro valores válidos por baud, e assim a taxa de bits é duas vezes a taxa em bauds. A 1.200 bauds, a taxa de dados é 2.400 bps.

52. Um diagrama de constelação de modem tem pontos de dados em (0, 1) e (0, 2). O modem utiliza modulação de fase ou modulação de amplitude?

O deslocamento de fase é sempre 0, mas são usadas duas amplitudes; portanto, ele utiliza modulação por amplitude direta

53. Em um diagrama de constelação, todos os pontos estão em um círculo com centro na origem. Que espécie de modulação está sendo usada?

Se todos os pontos estiverem equidistantes da origem, todos eles terão a mesma amplitude, e assim a modulação de amplitude não está sendo usada. A modulação de frequência nunca é utilizada em diagramas de constelação; portanto, a codificação é de chaveamento por deslocamento de fase puro

54. Quantas frequências um modem QAM-64 *full-duplex* utiliza?

Dois, um para upstream e um para downstream. O esquema de modulação propriamente dito utiliza apenas amplitude e fase. A frequência não é modulada

55. Um sistema ADSL que usa DMT aloca 3/4 dos canais de dados disponíveis para o enlace *downstream*. Ele utiliza modulação QAM-64 em cada canal. Qual é a capacidade do enlace *downstream*?

Há 256 canais ao todo, menos 6 para POTS e 2 para controle, restando 248 para dados. Se $\frac{3}{4}$ desses canais forem para downstream, isso dará 186 canais para downstream. A modulação ADSL é feita em 4.000 bauds; assim, com QAM-64 (6 bits/ baud), teremos 24.000 bps em cada um dos 186 canais. A largura de banda total será então 4,464 Mbps downstream.

56. Dez sinais, cada um exigindo 4000 Hz de largura de banda, são multiplexados em um único canal utilizando FDM. Qual é a largura de banda mínima exigida para o canal multiplexado? Suponha que as bandas de proteção tenham 400 Hz de largura.

Existem dez sinais de 4.000 Hz. Precisamos de nove bandas de proteção para evitar qualquer interferência. A largura de banda mínima exigida é $4.000 \times 10 + 400 \times 9 = 43.600$ Hz

57. Por que o tempo de amostragem do PCM para o canal de voz foi definido como 125 s?

Um tempo de amostragem de 125 ms corresponde a 8.000 amostras por segundo. De acordo com o teorema de Nyquist, essa é a frequência de amostragem necessária para captar todas as informações em um canal de 4 kHz, como o de um canal telefônico. (Na realidade, a largura de banda nominal é um pouco menor, mas o corte não é nítido.)

58. Qual é a diferença, se houver, entre a parte de demodulador de um modem e a parte de codificador de um codec? (Afinal, ambos convertem sinais analógicos em sinais digitais.)

Dez quadros. A probabilidade de algum padrão aleatório ser 0101010101 (em um canal digital) é 1/1.024.

59. Um sinal é transmitido digitalmente sobre um canal sem ruído de 4 kHz com uma amostra a cada 125 s. Quantos *bits* por segundo são realmente enviados por cada um destes métodos de codificação?

(a) Padrão CCITT de 2,048 Mbps.

(b) DPCM com um valor de sinal relativo de 4 bits.

(c) Modulação delta.

34. (a) 64 kbps. (b) 32 kbps. (c) 8 kbps.

60. Uma onda senoidal pura de amplitude A é codificada com o uso da modulação delta, com x amostras/s. Uma saída igual a +1 corresponde a uma mudança de sinal de $+A/8$, e um sinal de saída de -1 corresponde a uma mudança de sinal de $-A/8$. Qual é a frequência mais alta que pode ser rastreada sem erro cumulativo?

61. Qual é a diferença essencial entre a comutação de mensagens e a comutação de pacotes?

A comutação de mensagens envia unidades de dados que podem ser arbitrariamente longas. A comutação de pacotes tem um tamanho máximo de pacote. Qualquer mensagem mais longa que esse tamanho máximo é dividida em vários pacotes.

62. Três redes de comutação de pacotes possuem n nós cada uma. A primeira rede tem uma topologia em estrela com um *switch* central, a segunda é um anel (bidirecional) e a terceira é totalmente interconectada, com um fio interligando cada nó. Quais são as opções de caminhos de transmissão em *hops* no melhor caso, no caso médio e no pior caso?

. As três redes têm as seguintes propriedades:

Estrela: Melhor caso = 2, caso médio = 2, pior caso = 2

Anel: Melhor caso = 1, caso médio = $n/4$, pior caso = $n/2$

Interconexão total: Melhor caso = 1, caso médio = 1, pior caso = 1

63. Compare o retardo no envio de uma mensagem de x bits sobre um caminho de k hops em uma rede comutada por circuitos e em uma rede comutada por pacotes (levemente carregada). O tempo de configuração de circuitos é s segundos, o retardo de propagação é d segundos por hop, o tamanho do pacote é p bits e a taxa de dados é b bps. Sob quais condições a rede de pacotes tem um retardo mais baixo?

Com a comutação de circuitos, em $t = s$, o circuito é configurado; em $t = s + x/b$, o último bit é enviado; em $t = s + x/b + kd$, a mensagem chega. Com a comutação de pacotes, o último bit é enviado em $t = x/b$. Para obter o destino final, o último pacote deve ser retransmitido $k - 1$ vezes pelos roteadores intermediários, cada retransmissão demorando p/b segundos; assim, o retardo total é $x/b + (k - 1)p/b + kd$. A comutação de pacotes é mais rápida se $s > (k - 1)p/b$.

64. Suponha que x bits dados do usuário tenham de ser transmitidos por um caminho de k hops em uma rede comutada por pacotes como uma série de pacotes, cada um contendo p bits de dados e h bits de cabeçalho, sendo $x \gg p+h$. A taxa de bits das linhas é b bps e o retardo de propagação é desprezível. Que valor de p minimiza o retardo total?

O número total de pacotes necessários é x/p , e assim o tráfego total de dados + cabeçalho é $(p + h)x/p$ bits. A origem exige $(p + h)x/pb$ segundos para transmitir esses bits. As retransmissões do último pacote pelos roteadores intermediários demora um tempo total de $(k - 1)(p + h)/b$ segundos. Acrescentando o tempo para a origem enviar todos os bits, mais o tempo para os roteadores transportarem o último pacote até o destino, limpando assim o pipeline, obtemos um tempo total de $(p + h)x/pb + (p + h)(k - 1)/b$ segundos. Minimizando essa quantidade em relação a p , encontramos $p \propto k = 1/(k - 1)$.

65. Em um sistema telefônico móvel típico com células hexagonais, é proibido reutilizar uma banda de frequências em uma célula adjacente. Se estão disponíveis 8402 frequências, quantas podem ser utilizadas em uma determinada célula?

66. O *layout* real de células do sistema telefônico raramente é tão regular quanto o teórico. Mesmo as formas de células individuais em geral são irregulares. Apresente uma razão possível para isso.

67. Faça uma estimativa do número de microcélulas com a tecnologia 5G com 200 m de raio que seriam necessárias para cobrir a cidade de Vitória (93 quilômetros quadrados).

68. Às vezes, quando um usuário móvel cruza o limite de uma célula para outra, a chamada atual é encerrada de forma abrupta, embora todos os transmissores e receptores estejam funcionando perfeitamente. Por quê?

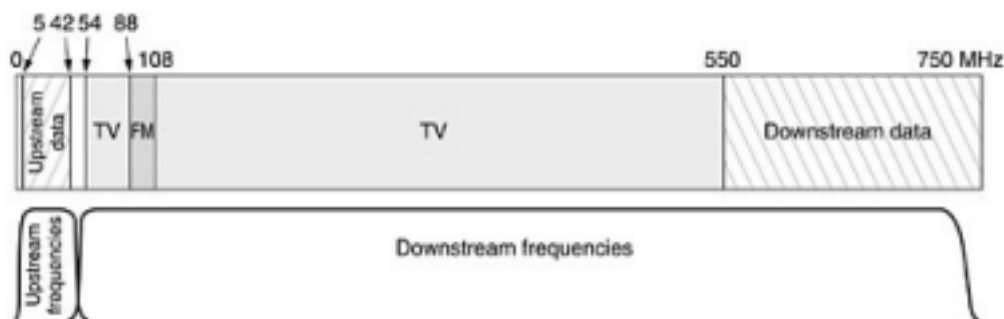
69. Na extremidade baixa, o sistema telefônico tem a forma de estrela, com todos os loops locais em uma vizinhança convergindo em uma estação final. Em contraste, a televisão a cabo consiste em um único cabo longo que passa por todas as casas no mesmo bairro. Suponha que um cabo de TV do futuro fosse uma fibra de 10 Gbps, em vez de fio de cobre. Ele poderia ser usado para simular o modelo de telefonia em que todos têm sua própria linha privada até a estação final? Nesse caso, quantas casas com um telefone poderiam ser conectadas a uma única fibra?

70. Um sistema de TV a cabo tem 100 canais comerciais, todos eles alternando programas com anúncios. Esse sistema é mais parecido com TDM ou FDM?

Ambos. Cada um dos 100 canais recebe a atribuição de sua própria faixa de frequência (FDM) e, em cada canal, os dois fluxos lógicos são entremeados pelo TDM. Esse exemplo é igual ao exemplo de rádio AM dado no texto, mas nenhum deles é um exemplo fantástico de TDM, porque a alternância é irregular.

71. Uma empresa de serviços a cabo decide oferecer acesso à Internet por cabo em um bairro que tem 5000 casas. A empresa utiliza um cabo coaxial e uma alocação de espectro que permite alcançar a largura de banda de 100 Mbps downstream por cabo. Para atrair clientes, a empresa decide garantir pelo menos 2 Mbps de largura de banda *downstream* para cada casa em qualquer instante. Descreva o que a empresa de serviços a cabo precisa fazer para fornecer essa garantia.

72. Usando a alocação espectral mostrada na figura a seguir e as informações dadas no texto, quantos Mbps um sistema de cabo aloca para o tráfego *upstream* e quantos para o tráfego *downstream*?



Observe que, como os sinais de televisão são todos downstream, é possível usar amplificadores 73. Com que velocidade um usuário de serviços de cabo recebe dados, se a rede está ociosa,

upstream que só funcionam na região de 5 a 42 MHz e amplificadores downstream que só funcionam na frequência de 54 MHz e acima desta, como mostra a figura. Desse modo, obtemos

exceto pela atividade desse usuário?

uma assimetria nas larguras de banda upstream e downstream, porque está disponível uma parte maior do espectro acima da faixa de TV do que abaixo dela. Por outro lado, a maior parte do tráfego Exercícios extraídos dos livros texto da disciplina.

provavelmente será downstream, e assim as operadoras de serviços a cabo não ficarão insatisfeitas com essa fatalidade. Como vimos antes, em geral as companhias telefônicas oferecem um serviço DSL assimétrico, embora não tenham nenhuma razão técnica para fazê-lo.

Cabos coaxiais longos não são melhores para transmissão de sinais digitais que loops locais longos; portanto, a modulação analógica também é necessária aqui. O esquema habitual é tomar cada canal downstream de 6 MHz ou 8 MHz e modulá-lo com QAM-64 ou, se a qualidade do cabo for excepcionalmente boa, com QAM-256. Com um canal de 6 MHz e QAM-64, obtemos cerca de 36 Mbps. Quando o overhead é subtraído, a carga útil líquida é

de aproximadamente 27 Mbps. Com QAM-256, a carga útil líquida é de cerca de 39 Mbps. Os valores europeus são 1/3 maiores.

No caso do fluxo upstream, nem mesmo a QAM-64 funciona bem. Existe ruído demais de microondas terrestres, rádios da faixa do cidadão e outras fontes; assim, é usado um esquema mais conservador — o QPSK. Esse método (mostrado na Figura 2.25) produz 2 bits por baud em lugar dos 6 ou 8 bits que a QAM oferece nos canais downstream. Conseqüentemente, a assimetria entre a largura de banda upstream e a largura de banda downstream é muito maior do sugere a Figura 2.48.

Além de atualizar os amplificadores, a operadora também tem de atualizar o head end, que deve passar de um amplificador não inteligente para um sistema inteligente de computador digital com uma interface de fibra de alta largura de banda para um ISP. Com freqüência, o nome também é atualizado, de "head end" para CMTS (Cable Modem Termination System — sistema de terminação