

Universidade do Minho - Dep.^{to} Informática
Mestrado em Engenharia de Telecomunicações & Informática
Serviços de Rede & Aplicações Multimédia

Ano Letivo 2023/2024 • 2º Teste Escrito • maio 2024
Duração Total: 110 Minutos
Escreva as suas respostas num editor de texto à sua escolha e envie no formato PDF
(ou formato de texto) para **bruno.dias@di.uminho.pt** e **bafdias@gmail.com**



Figura 1: Sistema Multimédia.

Na figura 1 está esquematizado um sistema de digitalização, transmissão e gravação em ficheiro digital dum canal áudio analógico. O sinal do canal é captado por um microfone digital que faz a conversão AD e gera uma sequência PCM binária.

A sequência PCM binária é depois codificada num módulo com compressão por padrões LZWdR (algoritmo dado nas aulas teóricas e conforme anexado a este enunciado) em blocos de 72 bits (ou 24 símbolos), i.e., cada sequência binária resultante duma amostra tem três bits e é considerada um símbolo de entrada no compressor LZWdR. A compressão LZWdR gera uma nova sequência de bits (resultante da codificação dos índices/códigos dos padrões LZWdR) que é transmitida na linha.

No destino do sistema de transmissão existe um descompressor LZWdR que realiza o trabalho inverso do compressor descomprimindo a sequência binária recebida, obtendo uma sequência PCM binária igual à original.

Por fim, esta sequência PCM binária é codificada/comprimida para um ficheiro de *output* através de codificação aritmética, em que cada grupo de três bits também é considerado um símbolo. Cada canal de áudio gera um ficheiro de *output*. O esquema é aplicado num sistema áudio estéreo (dois canais de áudio com duas linhas de transmissão gerando dois ficheiros de *output*).

Tendo em atenção os dados do sistema multimédia da figura 1, responda às seguintes perguntas, justificando as respostas com todos os cálculos e todos os dados relevantes:

- Qual a sequência binária na linha de transmissão correspondente à seguinte sequência PCM binária (72 bits) resultante da digitalização? (35%)
101 001 010 000 101 011 111 010 101 000 111 101
010 101 001 000 101 101 000 101 000 010 100 001

Para ser mais fácil trabalhar com símbolos individuais do que grupos de bits transforma-se a sequência binária de entrada numa sequência equivalente virtual de 24 símbolos individuais (alfabeto de 7 símbolos: A-000, B-001, C-010, D-011, E-100, F-101, H-111)*:
F B C A F D H C F A H F C F B A F F A F A C E B

Nota*: não aparece a sequência 110 por isso só precisamos de 7 símbolos.

Passo	Pa	Pb	Output	Novos Padrões (P.i)		Nº bits codificação
				P.1	A	
				P.2	B	
				P.3	C	
				P.4	D	
				P.5	E	
				P.6	F	
				P.7	H	
1	P.6=F	P.2=B	6	P.8	FB	3
				P.9	BF	
2	P.2=B	P.3=C	2	P.10	BC	3
				P.11	CB	
3	P.3=C	P.1=A	3	P.12	CA	4
				P.13	AC	
4	P.1=A	P.6=F	1	P.14	AF	4
				P.15	FA	
5	P.6=F	P.4=D	6	P.16	FD	4
				P.17	DF	
6	P.4=D	P.7=H	4	P.18	DH	5
				P.19	HD	
7	P.7=H	P.3=C	7	P.20	HC	5
				P.21	CH	
8	P.3=C	P.15=FA	3	P.22	CF	5
				P.23	CFA	
				P.24	FC	
				P.25	AFC	
9	P.15=FA	P.7=H	15	P.26	FAH	5
				P.27	HAF	
10	P.7=H	P.24=FC	7	P.28	HF	5
				P.29	HFC	
				P.30	FH	
				P.31	CFH	
11	P.24=FC	P.8=FB	24	P.32	FCF	5
				P.33	FCFB	
				P.34	BFCF	
12	P.8=FB	P.14=AF	8	P.35	FBA	6
				P.36	FBAF	
				P.37	ABF	
				P.38	FABF	
13	P.14=AF	P.15=FA	14	P.39	AFF	6
				P.40	AFFA	
				P.41	FFA	
14	P.15=FA	P.15=FA	15	P.42	FAF	6
				P.43	FAFA	
				P.44	AFAF	
15	P.15=FA	P.3=C	15	P.45	FAC	6
				P.46	CAF	
16	P.3=C	P.5=E	3	P.47	CE	6
				P.48	EC	
17	P.5=E	P.2=B	5	P.49	EB	6
				P.50	BE	
18	P.2=B	P.0=*FIM*	2	P.0	*FIM*	6
19	P.0=*FIM*	-	0			6

A sequência final de índices/códigos seria igual a: 6 2 3 1 6 4 7 3 15 7 24 8 14 15 15 3 5 2 0*

A sequência binária equivalente, tendo em conta o número de bits mínimo necessário para representar os índices/códigos, seria igual a:

110 010 0011 0001 0110 00100 00111 00011 01111 00111 11000 001000 001110 001111 001111 000011 000101 000010 000000*

- Depois dos dados passarem pelo descompressor LZWdR, voltamos a obter uma sequência PCM igual à resultante da digitalização referida na questão anterior. Utilizando codificação aritmética para este bloco de dados e considerando que cada símbolo é um grupo de três bits, qual a sequência binária resultante (sem considerar os metadados necessários) da codificação dos primeiros 15 bits (cinco símbolos) daquele bloco? (35%)

Frequências/Probabilidades

Si	Fi	Pi
A	5	0,21
B	3	0,13
C	4	0,17
D	1	0,04
E	1	0,04
F	8	0,33
H	2	0,08

		0,33	0,21	0,17	0,13	0,08	0,04	0,04
		F	A	C	B	H	D	E
Input								
F	0,00	0,33	0,54	0,71	0,84	0,92	0,96	1,00
B	0,00			0,23	0,2772			0,33
C	0,23		0,257466	0,264759				0,2772
A	0,257466	0,25987269	0,26140422					0,264759
F	0,25987269	0,260378095						0,26140422

Intervalo:] 0,25987269 ; 0,260378095]

i	Bit(i)	Valor	Total
1	0	0,0000000000	0,0000000000
2	1	0,2500000000	0,2500000000
3	0	0,0000000000	0,2500000000
4	0	0,0000000000	0,2500000000
5	0	0,0000000000	0,2500000000
6	0	0,0000000000	0,2500000000
7	1	0,0078125000	0,2578125000
8	0	0,0000000000	0,2578125000
9	1	0,0019531250	0,2597656250
10	0	0,0000000000	0,2597656250
11	1	0,0004882813	0,2602539063

Sequência

Binária

Final: 01000010101

3. Imagine que sequência binária PCM da questão 1 resulta da digitalização do canal esquerdo do sistema estéreo e que a sequência seguinte resulta da digitalização do canal direito do mesmo sistema estéreo no mesmo intervalo de tempo:

101 010 010 001 100 011 110 010 100 000 101 100

011 111 001 001 101 001 000 101 001 011 110 110

- i) Explique duas estratégias dum algoritmo contextual alternativo de codificação, sem perda de informação, das duas sequências dos dois canais num único ficheiro de *output* que tire partido do facto de se tratar da digitalização de dois canais de áudio recolhidos por microfones quase no mesmo local ao mesmo tempo. **(10%)**

As duas estratégias mais simples de codificação contextual aplicada ao áudio digital resultando da gravação estéreo (dois canais) da mesma fonte sonora serão (estas estratégias são aplicadas consecutivamente, na ordem em que aqui são apresentadas):

- A. Combinar os dois canais num canal central que é a média dos dois canais originais (porque a digitalização da mesma fonte de áudio gera dois canais com valores de amostras muito aproximados) e num canal offset que regista a diferença para os dois canais (o valor absoluto da diferença é igual para os dois canais mas de sinal inverso); uma alternativa ainda mais simples é gravar apenas um canal original e depois a diferença para o outro canal (a vantagem desta abordagem é que não precisa lidar com arredondamentos de valores não inteiros);
- B. Registrar apenas a diferença entre amostras consecutivas do canal central (valor delta) pois a digitalização de sinais áudio gera sequências de amostras em que os valores consecutivos variam pouco.

- ii) Utilizando essas estratégias algorítmicas, qual seria então a sequência binária final dentro do ficheiro de *output* resultante da codificação das duas sequências indicadas? **(20%)**

Utilizando as duas estratégias anteriores (adaptando a primeira para trabalhar apenas com valores inteiros) calculam-se os valores de Delta Total para o canal central (função equivalente ao valor da média, mas garante-se sempre um valor inteiro) e a diferença entre canais para cada amostra. Os valores decimais calculados são depois passados para binário (número de bits depende do valor máximo absoluto em cada bloco de amostras) e em que o primeiro bit indica se o valor é positivo ou negativo. O resultado final pode ser verificado na tabela seguinte:

Nº Amostra:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Esquerdo (E):	5	1	2	0	5	3	7	2	5	0	7	5	2	5	1	0	5	5	0	5	0	2	4	1
Direito (D):	5	2	2	1	4	3	6	2	4	0	5	4	3	7	1	1	5	1	0	5	1	3	6	6
Total (E+D):	10	3	4	1	9	6	13	4	9	0	12	9	5	12	2	1	10	6	0	10	1	5	10	7
Diferença (E-D):	0	-1	0	-1	1	0	1	0	1	0	2	1	-1	-2	0	-1	0	4	0	0	-1	-1	-2	-5
(Binário)	0000	1001	0000	1001	0001	0000	0001	0000	0001	0000	0010	0001	1001	1010	0000	1001	0000	0100	0000	0000	1001	1001	1010	1101
Delta Total:	10	-7	1	-3	8	-3	7	-9	5	-9	12	-3	-4	7	-10	-1	9	-4	-6	10	-9	4	5	-3
(Binário)	1010	10111	00001	10011	01000	10011	00111	11001	00101	11001	01100	10011	10100	00111	11010	10001	01001	10100	10110	01010	11001	00100	00101	10011

Nota*: O primeiro valor do canal central (Delta Total) de cada bloco tem de ser o valor exato do total pois ainda não temos valores anteriores para calcular uma diferença.

Algoritmo de Codificação LZWdR

Considere-se a sequência de símbolos $S=S_1S_2...S_N$ na entrada de dados, em que cada símbolo S_i pode assumir um de K valores possíveis dum alfabeto

$A=\{X_1, X_2, ..., X_K\}$. Por conveniência, $S[i]=S_i$ e $A[i]=X_i$.

Defina-se um dicionário com um máximo de T padrões tal que $D=\{P_1, P_2, ..., P_T\}$ em que $D[i]=P_i$ é o padrão identificado pelo código/índice i . P_i^* representa a sequência de símbolos invertida de P_i , da direita para a esquerda. Valores típicos: $K=2^8$, $T=2^{20}$.

Inicia-se o dicionário de padrões D com os K padrões de símbolos individuais de A .

Processar S em pares consecutivos de padrões conhecidos $P_a|P_b$ (os maiores já existentes em D), acrescentando ao dicionário: i) os padrões novos formados por concatenação de P_a com todos os padrões que estão em P_b e ii) todos os padrões novos formados ao inverter os padrões obtidos em i).

Enviar para a saída o código/índice de P_a .

Voltar a processar S em pares consecutivos de padrões a partir do primeiro símbolo de P_b , i.e., $P_a=P_b$, repetindo os passos anteriores até não haver mais símbolos em S para processar depois de P_b .

Terminar enviando para a saída o código/índice de P_b .