



Edgar Santiago Ochoa Quiroga

María Alejandra Rodríguez Ríos .....

### Ejercicio 1

Suponga que una fuente genera dígitos binarios con distribución uniforme, los mensajes son enviados a través de un canal cambia los símbolos que genera una fuente binaria con las probabilidades que se muestran en la gráfica.

[poner foto](#) Responda cada una de las siguientes preguntas justificando su razonamiento:

- ¿Cuál es el número más probable de errores que se puede encontrar en un mensaje de 5000 bits que pase por el canal?
- Si se codifica cada bit que genera la fuente triplicándolo, en qué porcentaje se reduce el número de errores? Suponga que para la decodificación se usa mayoría de bits por tripla.
- Si se codifica cada bit que genera la fuente con una n-tupla y se usa mayoría de bit por n tupla en la decodificación, cuál sería la longitud mínima n - tupla para obtener por lo menos un 95 % de certeza en la decondificación?

**Solución.** Hola :p

### Ejercicio 2

Se codifican los bits de una fuente de acuerdo a la siguiente función

$$\text{Cod}(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_1+x_2+x_4, x_1+x_3+x_4, x_2+x_3+x_4, x_1+x_3+x_5, x_3+x_4+x_5)$$

Si el mensaje recibido es 1101110101 determine si hay un error en el mensaje y si es posible corregir el error . Use diagramas de Ven o el método de Galager para llegar a la solución. Deje todos los cálculos que le llevan a la solución en su hoja de respuesta.

**Solución.** Hola :p

### Ejercicio 3

Clasifique los siguientes códigos de tal manera que puedan codificar la misma fuente. Luego indique por fuente cuál sería el mejor código. Justifique todas sus afirmaciones.

- $C_1 = \{0, 1\}$
- $C_2 = \{00, 01, 10\}$
- $C_3 = \{000, 111\}$
- $C_4 = \{000, 011, 101, 110, 001, 100\}$
- $C_5 = \{00000, 11111, 22222\}$
- $C_6 = \{001, 010, 012, 021, 100, 221\}$

**Solución.** Hola :p

#### Ejercicio 4

Determine justificando, si los códigos  $C_1 = \{1, 10, 100, 1000\}$  y  $C_2 = \{1, 01, 001, 0001\}$  son univocamente decodificables.

**Solución.** Procederemos con cada código por separado

- Sea  $C = \{1, 10, 100, 1000\}$ ., Donde nuestro alfabeto para codificar es  $D = \{0, 1\}$  Procedamos por medio de Sardinas-Patterson. Primero definimos  $C_0 = C$ , por el algoritmo tenemos que

$$C_1 = \{w \in D^+ \mid uw = v, \text{ con } u \in C_0 \text{ y } v \in C \text{ o } u \in C \text{ y } v \in C_0\}.$$

Note que como  $C_0 = C$  Basta con resolver ecuaciones de concatenación de palabras donde solo revisamos los elementos de  $C$ . Procedemos por casos.

**Caso 1:** Si  $u = 1000$ , tenemos las siguientes cuatro ecuaciones

$$1000w = \begin{cases} 1 \\ 10 \\ 100 \\ 1000 \end{cases}$$

Note que  $|1000w| \geq 5$  ya que  $|w| \geq 1$ . Pero las longitudes de las palabras al otro lado de la igualdad son a lo mas 4, por lo que estas ecuaciones no tienen solución.

**Caso 2:** Si  $u = 100$ , tenemos las siguientes cuatro ecuaciones

$$100w = \begin{cases} 1 \\ 10 \\ 100 \\ 1000 \end{cases}$$

Note que para las primeras tres al igual que en el caso anterior no hay solución simplemente viendo las longitudes, pero para la ultima tomando  $w = 0$ , tenemos nuestra primera solución.

**Caso 3:** Si  $u = 10$ , tenemos las siguientes cuatro ecuaciones

$$10w = \begin{cases} 1 \\ 10 \\ 100 \\ 1000 \end{cases}$$

Siguiendo la lógica de los anteriores casos nos damos cuenta que  $w = 00$  es solución de la cuarta ecuación, mientras que  $w = 0$  de la tercera y las otras dos no tienen.

**Caso 4:** Si  $u = 1$ , tenemos las siguientes cuatro ecuaciones

$$1w = \begin{cases} 1 \\ 10 \\ 100 \\ 1000 \end{cases}$$

Siguiendo la lógica de los anteriores casos nos damos cuenta que  $w = 000$  es solución de la cuarta ecuación, mientras que  $w = 00$  de la tercera y  $w = 0$  de la segunda, mientras que la primera no tiene solución.

Así tenemos que  $C_1 = \{0, 00, 000\}$ . Siguiendo el algoritmo tenemos que

$$C_2 = \{w \in D^+ | uw = v, \text{ con } u \in C_1 \text{ y } v \in C \text{ o } u \in C \text{ y } v \in C_1\}.$$

Veamos los posibles casos.

**Caso 1:** Si  $u \in C_1$  y  $v \in C$ , note que la palabra  $uw$  siempre empieza en 0, ya que  $u$  es igual a 0, 00 o 000, mientras que todas las palabras  $v$  en  $C$  empiezan en 1, así ninguna ecuación tiene solución.

**Caso 2:** Si  $u \in C$  y  $v \in C_1$ , pasa igual que en el caso anterior. Todas las posibles palabras  $uw$  empiezan por 1, ya que cualquier palabra en  $C$  empieza por uno, mientras que todas las palabras en  $C_1$  empiezan por 0, así ninguna ecuación tiene solución. Así  $C_2 = \emptyset$ .

Por la construcción podemos concluir que  $C_3 = C_4 = \dots = \emptyset$ . Por lo tanto

$$C_\infty = \bigcup_{i=1}^{\infty} C_i = C_1.$$

Así podemos notar que

$$C \cap C_\infty = \{1, 10, 100, 1000\} \cap \{0, 00, 000\} = \emptyset.$$

Concluyendo por el teorema de Sardinas-Patterson que  $C$  es unívocamente decodificable.

- Sea  $C = \{1, 01, 001, 0001\}$ , donde nuestro alfabeto para codificar es  $D = \{0, 1\}$ . Siguiendo el algoritmo, tomamos  $C_0 = C$ , siguiendo el algoritmo tenemos que

$$C_1 = \{w \in D^+ | uw = v, \text{ con } u \in C_0 \text{ y } v \in C \text{ o } u \in C \text{ y } v \in C_0\}.$$

Veamos los casos.

**Caso 1:** Sea  $u = 0001$ , Note que  $|uw| \geq 5$ , y las posibles longitudes para  $v \in C$  son menores o iguales a 4, luego para este  $u$ , las ecuaciones no tienen solución.

**Caso 2:** Sea  $u = 001$ , note que por el argumento de las longitudes la única ecuación que se podría considerar es

$$001w = 0001.$$

Pero note que el tercer símbolo de izquierda a derecha de la palabra de la izquierda es 1, mientras que el de la derecha es 0, por lo que ninguna ecuación tiene solución.

**Caso 3:** Sea  $u = 01$ , nuevamente por el argumento de las longitudes las ecuaciones que valen la pena considerar son

$$01w = \begin{cases} 001 \\ 0001 \end{cases}$$

Pero nuevamente el segundo símbolo de izquierda a derecha de la palabra de la izquierda es 1, mientras que en ambas palabras de la derecha el símbolo es 0, así para estas ecuaciones nuevamente no tenemos soluciones.

**Caso 4:** Para este último caso, siguiendo la misma idea de las longitudes, cuando  $u = 1$  basta con considerar las siguientes ecuaciones

$$1w = \begin{cases} 01 \\ 001 \\ 0001 \end{cases}$$

Pero la palabra de la izquierda empieza en 1, mientras que las de la derecha en 0, por lo que nuevamente no ha soluciones.

Como en ningún caso existe  $w$  que cumpla las ecuaciones, tenemos que  $C_1 = \emptyset$ . Luego tenemos que  $C_2 = C_3 = \dots = \emptyset$ . De esta manera tenemos que

$$C_\infty = \bigcup_{i=1}^{\infty} C_i = \emptyset.$$

Luego es claro que

$$C \cap C_\infty = \emptyset.$$

Así por el teorema de Sardinas-Patterson podemos concluir que  $C$  es unívocamente decodificable.

De esta manera concluimos por medio de Sardinas-Patterson que los  $C_1$  y  $C_2$ , presentados en el enunciado, son unívocamente decodificables.

□□

## Ejercicio 5

Pruebe, diseñando un algoritmo (sin usar el algoritmo de Sardinas-Patterson), que el código triario  $\{aa, b, ba, abc\}$  es unívocamente decodificable

**Solución.** Hola :p

### Ejercicio 6

Determine si el código triario  $C = \{ab, cb, abbc, cbc, abb\}$  es unívocamente decodificable. Existe un código binario instantáneo con las longitudes de palabras de  $C$ ? Si existe constrúyalo.

**Solución.**

### Ejercicio 7

Una fuente genera símbolos con una distribución de probabilidad

$$\{0,729, 0,081, 0,081, 0,081, 0,009, 0,009, 0,009, 0,001\}.$$

Determine un código binario que permita calcular la codificación de los símbolos de la fuente con menor longitud promedio. Calcule la eficiencia del código.

**Solución.** Hola :p

### Ejercicio 8

Diseñe un código de Fano para una fuente con la siguiente distribución de probabilidad

$$\{0,20, 0,19, 0,18, 0,17, 0,15, 0,10, 0,01\}$$

.

**Solución.** Hola :p

### Ejercicio 9

Resuelva el ejercicio 1.5.1 de las notas de clase. Construya un código que no sea instantáneo cuyas longitudes de palabra cumplen la desigualdad de Kraft.

**Solución.** Sea  $C = \{1, 10, 100, 1000\}$ . Este código claramente no es instantáneo, ya que no es prefijo, por que la palabra 1 es segmento inicial de todas las demás palabras del código. Note que para este código tenemos que  $D = 2$  ya que es un código binario, y tenemos longitudes de palabra  $\ell_1 = 1, \ell_2 = 2, \ell_3 = 3$  y  $\ell_4 = 4$ . Así

$$\begin{aligned}\sum_{i=1}^4 D^{-\ell_i} &= 2^{-1} + 2^{-2} + 2^{-3} + 2^{-4} \\ &= 2^{-4}(2^3 + 2^2 + 2 + 1) \\ &= \frac{8 + 4 + 2 + 1}{16} \\ &= \frac{15}{16} \leq 1.\end{aligned}$$

De esta forma  $C$  es un código no instantáneo que cumple la desigualdad de Kraft como queríamos.

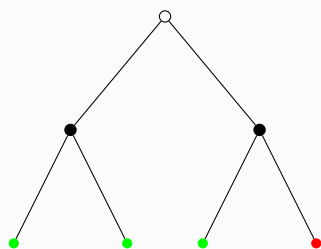
### Ejercicio 10

Resuelva el ejercicio 1.5.2 de la notas de clase, calcule la eficiencia. Construya, en caso de que exista, un código binario instantáneo constituido por 5 palabras de longitudes: 2, 2, 2, 3 y 4.

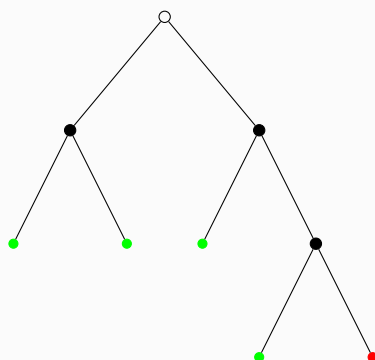
**Solución.** Primero verifiquemos que tal código exista. Tenemos que  $D = 2$ , por que es binario y tenemos longitudes de palabra  $\ell_1 = 2, \ell_2 = 2, \ell_3 = 2, \ell_4 = 3$  y  $\ell_5 = 4$ . Así

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^5 D^{-\ell_i} &= 2^{-2} + 2^{-2} + 2^{-2} + 2^{-3} + 2^{-4} \\ &= 2^{-4}(2^2 + 2^2 + 2^2 + 2 + 1) \\ &= \frac{4 + 4 + 4 + 2 + 1}{16} \\ &= \frac{15}{16} \leq 1. \end{aligned}$$

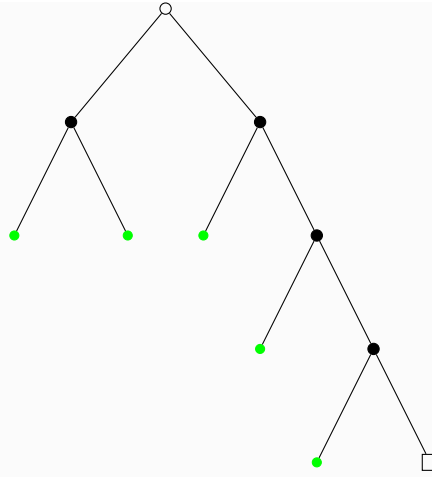
Como cumple la desigualdad de Kraft, sabemos que existe un código instantáneo (no completo ya que no se tiene la igualdad), con las longitudes de palabra indicadas. Siguiendo el algoritmo de construcción, tenemos para el paso uno el siguiente árbol de altura 2.



Donde los nodos verdes serán hojas, y el rojo es un nodo terminal. Para el segundo paso aumentamos a un árbol de altura 3 como se muestra a continuación



Para finalizar aumentamos el árbol a una altura 4 como se muestra a continuación



De esta forma si a las ramas que abren hacia la izquierda les asignamos el 0 y a las otras el 1, obtenemos el siguiente código instantáneo con las longitudes de palabra deseadas.

$$C = \{00, 01, 10, 110, 1110\}.$$

□□

### Ejercicio 11

Resuelva el ejercicio 2.3.1 de la página 36 de las notas de clase, calcule la eficiencia en cada caso. Considere el alfabeto  $S$  con la distribución de probabilidades que se muestra en la tabla:

A	B	C	D	E	F	G	H
0,02	0,03	0,04	0,04	0,12	0,20	0,20	0,35

Suponga que se ha usado un código de Huffman para codificar los mensajes sobre un alfabeto binario. Si en el árbol de codificación se le asigna 1 a las ramas sobre la izquierda y 0 a las ramas sobre la derecha, ¿qué palabra representa la secuencia 11101111101110? Determine la longitud promedio de palabra para este código. ¿Cuál sería la codificación de los símbolos sobre un código triario?

**Solución.** Hola :p

### Ejercicio 12

Resuelva el ejercicio 3.5.1 de la página 61 de las notas de clase, calcule la eficiencia en cada caso. Considere una fuente que genera símbolos del alfabeto  $S = \{0, 1\}$  con probabilidades  $p(0) = 0,9$  y  $p(1) = 0,1$ . Diseñe códigos de Huffman y de Shannon-Fano para los alfabetos extendidos  $S^2$ ,  $S^3$  y  $S^4$ , en cada caso calcule la eficiencia.

**Solución.** Hola :p