



Escola Politècnica Superior
de Castelldefels

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Colección de problemas de la Asignatura

Introducción a la Ingeniería

Tema 3

Índice

Tema 3.	Digitalización de Señales: Conversión Analógica/Digital.	3
3.1	Etapas principales: Muestreo, cuantificación y codificación	3
Problema 3.1	Esquema de bloques conversor A/D	3
Problema 3.2	Parámetros de conversión analógico digital	3
Problema 3.3	Parámetros de conversión analógico digital	4
Problema 3.4	Digitalización de imagen	4
Problema 3.5	Digitalización de audio	4
Problema 3.6	Digitalización de audio	4
Problema 3.7	Digitalización de señal de presión	5
Problema 3.8	Digitalización de señal de temperatura	5
Problema 3.9	Conversión A/D para un sensor de temperatura	6
Problema 3.10	Conversión A/D para temperatura	6
Problema 3.11	Digitalización de video	6
Problema 3.12	Sistema MP3	7
Problema 3.13	Digitalización sistema alumbrado	7
Problema 3.14	Conversión A/D presión	8
Problema 3.15	Conversión A/D sensor de temperatura	9
Problema 3.16	Sistemas de audio digital y analógico	9
Problema 3.17	Conversión A/D sensor de temperatura	9

Tema 3. Digitalización de Señales: Conversión Analógica/Digital.

Objetivos

Una vez finalizado este tema, el estudiante estará capacitado para:

- definir de una señal analógica y digital;
- describir un diagrama de bloques sencillo de un conversor A/D, y enumerar la funcionalidad de cada uno de sus elementos;
- explicar los criterios básicos de diseño para cada bloque, y describir el criterio de Nyquist, el fenómeno de Aliasing y los errores de cuantificación;
- enumerar las diferencias más importantes entre una señal analógica y otra digital, como el ancho de banda asociado y sensibilidad al ruido;
- conocer casos prácticos de conversión A/D sobre audio y video;

3.1 Etapas principales: Muestreo, cuantificación y codificación

Problema 3.1 Esquema de bloques conversor A/D

Dibuje un esquema simple para un conversor A/D, que incluya tanto los bloques que lo componen como una representación simbólica de la evolución de la señal para cada etapa. Indicar para cada bloque si la señal puede transformarse con o sin pérdida de información, en función de: a) si la señal es de banda limitada o ilimitada; b) si la señal es de duración finita o infinita en el tiempo;

Problema 3.2 Parámetros de conversión analógico digital

Se desea digitalizar una fuente de audio analógica con un margen dinámico de ± 15 V y ancho de banda no superior a 20 KHz empleando palabras de 16 bits por muestra. Complete la tabla adjunta:

PARAMETRO	VALOR
Paso de cuantificación, Δ	$\Delta =$
Error que genera el cuantificador, ε_q	$\varepsilon_q =$
Frecuencia de muestreo, f_m	$f_m =$
Ancho de banda de la señal digital resultante, BW_d	$BW_d =$
<i>Ayuda: Suponga que cada bit por segundo ocupa 0.5 Hz de ancho de banda.</i>	

Problema 3.3 Parámetros de conversión analógico digital

Dado un canal que permite un flujo de información de 625 kbps **como máximo**, determinar:

- máximo ancho de banda de la señal digital suponiendo que ésta precisa de 0.5 Hz por cada bit por segundo;
- máxima frecuencia de muestreo si cada muestra se codifica con 8 bits;
- máximo número de canales analógicos si cada uno precisa de 4 kHz de ancho de banda;

Problema 3.4 Digitalización de imagen

Un sistema de vigilancia utiliza una cámara digital que captura 12 imágenes por segundo. Cada imagen está formada por 288 filas y 384 columnas de elementos de imagen (píxeles). Los píxeles son en color y cada una de las tres componentes está codificada con 8 bits. Se pide:

- El número de bits que contiene cada imagen.
- La tasa de transmisión (en bps, es decir bits/seg) con la que debe transmitirse la información capturada por la cámara.
- El tiempo en el que debe transmitirse cada línea y el número de bits correspondientes a la información de una línea.
- Suponga que el sistema registra una alarma cada vez que se detecta la presencia de una persona en la puerta de acceso al edificio. La alarma consiste en grabar una secuencia de 7 segundos de vídeo en un disco duro. Determine el número total de alarmas que podrán registrarse teniendo en cuenta que la capacidad total del disco duro es de 10 GBytes.

Problema 3.5 Digitalización de audio

El sistema DVD Audio incorpora un mode d'enregistrament multicanal amb 5.1 canals. En aquest cas, tots els canals es codifiquen en PCM i s'utilitza una mateixa freqüència de mostratge de 96KHz per tots ells (també pel canal de Subwoofer). La codificació PCM es fa amb 20 bits per mostra. Calculi el número de Mbytes que es necessitarà per emmagatzemar 52 minuts d'àudio (el màxim que permet el DVD-Audio amb aquest format multicanal).

Problema 3.6 Digitalización de audio

Consideri un sistema d'enregistrament de senyals d'àudio digital multicanal en suport de disc dur. El só multicanal es divideix en un canal frontal, dos canals frontals-laterals, dos canals posteriors i un canal frontal de baixa freqüència o subwoofer. Generalment, aquesta disposició dels canals es coneix com 5.1 canals ja que hi ha 5 canals d'àudio complet i un de baixa freqüència (subwoofer). L'amplada de banda dels senyals que volem enregistrar es:

- Canals frontal, 2 laterals, 2 posteriors: 20KHz
- Canal Subwoofer: 300 Hz.

Es demana:

- a) Indiqui quina freqüència de mostratge mínima agafaria per cada un dels canals.
- b) Suposant que utilitza 24 bits en format PCM per codificar cada mostra. Calculi el número de bits per segon necessari per enregistrar tots els canals (Suposi que tots els bits son deguts al senyal PCM i que no es tenen en compte codis de sincronització, ni correcció d'error)

Problema 3.7 Digitalización de señal de presión

Tenemos un sensor de presión que nos proporciona un voltaje entre 1 y 2 voltios para una entrada entre 0 y 2 libras por pulgada cuadrada (p.s.i.).

Primera parte

- a) ¿Cuál será la especificación (ecuación de la recta) de un circuito adaptador que adecue la salida del sensor a la entrada del muestrador/cuantificador que acepta un voltaje entre 0 y 5 V?
- b) ¿Cuántos bits necesita el cuantificador para obtener una resolución de una centésima de p.s.i.?

Segunda parte

- c) Si experimentalmente determinamos que la frecuencia máxima de variación de la entrada es de 4.9 KHz, ¿a qué frecuencia debemos muestrear? (Escoger el menor número natural posible)
- d) ¿Cuál podría ser la frecuencia de corte del filtro "antialiasing" antes del muestreo?
- e) ¿Cuál será la salida del conversor analógico-digital en bits por segundo?
- f) Si asumimos que cada bit por segundo necesita 0.5 Hz de capacidad de canal, ¿cuál será la capacidad total necesaria? ¿en qué factor ha aumentado comparada con la transmisión directa analógica?

Problema 3.8 Digitalización de señal de temperatura

Suposi un senyal amplificat i prèviament condicionat procedent d'un sensor de temperatura. El marge dinàmic del senyal es de -3 Volts a 3 Volts que cobreixen el marge de temperatures desde -30° a 60°, segons la relació:

$$V_{out} = (1/15)(T-15)$$

Sabem que la precisió del termòmetre es de una centèsima de grau i volem digitalitzar la tensió de sortida mantenint, com a mínim, la precisió analògica.

- a) Determini el número de nivells de quantificació que utilitzaria suposant que el marge dinàmic del quantificador està perfectament adaptat al marge dinàmic del senyal.
- b) Suposi que vol codificar la sortida del quantificador amb PCM emprant un número de bits fix. Determini quin és el número de bits mínim.

Problema 3.9 Conversión A/D para un sensor de temperatura

Tenemos un sensor de temperatura que nos proporciona un voltaje entre 1 y 5 voltios para una temperatura entre 0 y 100 °C.

- a) ¿Cuántos bits necesitamos para obtener una resolución de una décima de grado?
- b) Si experimentalmente determinamos que la frecuencia máxima de variación de la entrada es de 4.9 KHz, ¿a qué frecuencia debemos muestrear?
- c) ¿Cuál podría ser la frecuencia de corte del filtro "antialiasing" antes del muestreo?
- d) ¿Cuál será la salida del conversor analógico-digital en bits por segundo?
- e) Si utilizamos tramas de 128 bytes (octetos, 8 bits de datos) más dos bytes de control, ¿cuántas necesitamos transmitir por segundo? ¿Cuál será ahora el flujo de transmisión en bit por segundo?
- f) Si asumimos que cada bit por segundo necesita 0.5 Hz de capacidad de canal, ¿cuál será la capacidad total necesaria? ¿en qué factor ha aumentado comparada con la transmisión directa analógica?

Problema 3.10 Conversión A/D para temperatura

Las especificaciones de medida de un termómetro digital son las siguientes:

- *Margen dinámico* de medida: De 0°C a 40°C
- *Resolución* de la medida: 0.1°C

Si el termómetro utiliza como sensor de temperatura un sensor PTC de 10 mV/°C de *sensibilidad*, dibuje la *curva de transducción* temperatura-tensión.

En el proceso de digitalización de la señal:

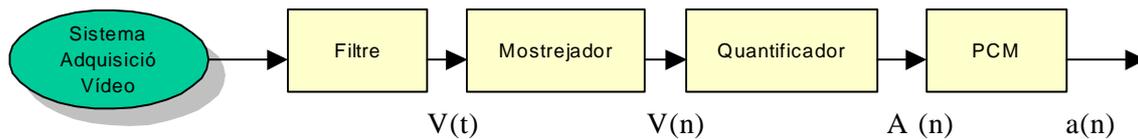
- 1) ¿Cuánto vale el *paso de cuantificación*?
- 2) ¿Cuántos *niveles de cuantificación* tiene el conversor A/D (analógico/digital)?
- 3) ¿Cuántos *bits* son necesarios (como mínimo) para digitalizar la señal?

NOTA: Recuerde que el número de bits es siempre un número entero.

VOCABULARIO clave en cursiva.

Problema 3.11 Digitalización de video

El sistema de vídeo que es muestra en la figura està compostat per un sistema d'adquisició, un filtre passa-baixes, un mostrejador, un quantificador i un bloc PCM. El sistema d'adquisició de vídeo captura escenes de imatges i genera 25 quadres (imatges) per segon amb una resolució de 620 línies per quadre.



Suposant que cada línia està composta per 740 elements de imatge o pixels.

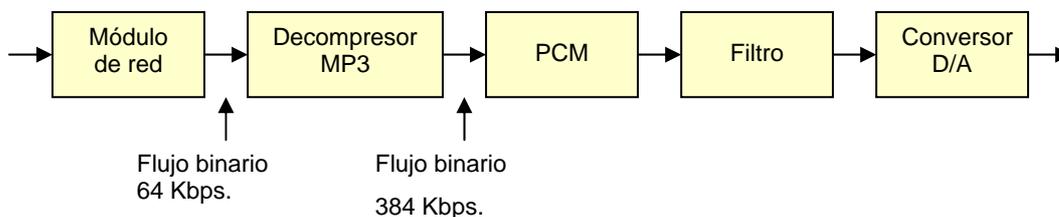
- Determinar la freqüència del mostrejador.
- Quin tipus de filtre hi ha abans del mostrejador?. Quina hauria de ser la freqüència de tall màxima del filtre?

En el cas que el senyal $V(t)$ fos de banda limitada amb una freqüència màxima de 10 MHz.

- Quina seria la freqüència de mostratge mínima?
- Si el senyal $a(n)$ genera un flux de 160 Mbps. De quants nivells consta el quantificador?
- Dibuixar el quantificador ($V(n)$ respecte a $A(n)$) amb els seus respectius nivells i un possible esquema del sistema PCM.

Problema 3.12 Sistema MP3

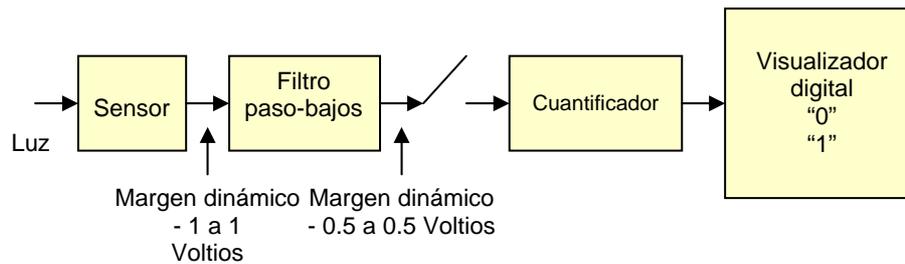
Un reproductor MP3 se puede esquematizar mediante el siguiente diagrama de bloques:



- ¿Cuál es el ancho de banda máximo del filtro paso bajo, si la salida del bloque PCM trabaja con una tasa de 48 Kilomuestras por segundo?.
- ¿Cuántos bits utiliza el bloque PCM, si la velocidad de entrada es de 384 Kbps.?
- ¿Con cuántos niveles trabaja el bloque PCM?. Dibuja un diagrama entrada-salida con algunos niveles.
- ¿Cuál es el factor de compresión que utiliza éste sistema MP3?.

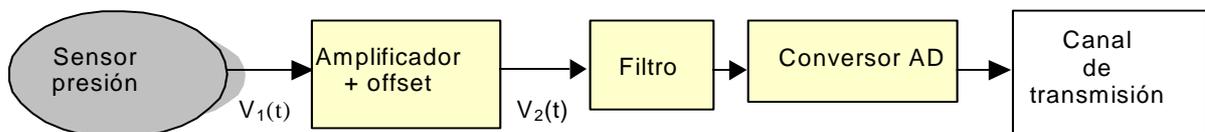
Problema 3.13 Digitalización sistema alumbrado

En la figura se presenta un sistema, que en función de la luz ambiente, indica cuando se tiene que tener encendido el alumbrado público. El sistema consta de un sensor que convierte la luz ambiente a niveles de tensión. El margen dinámico del sensor es de -1 voltio a $+1$ voltio. Posteriormente la tensión analógica se procesa por un bloque A/D mostrándose la salida en un visualizador o display. La información que se desea presentar en el display es binaria, "0" \rightarrow "alumbrado encendido" ó $1 \rightarrow$ "1" "alumbrado apagado".



- Si el filtro paso bajo del bloque A/D trabaja a 1 KHz., ¿Cuál es la frecuencia de muestreo del muestreador?
- ¿Cuál será la amplitud máxima de las muestras a la salida del muestreador, si el margen dinámico a la salida del filtro paso bajo es de -0.5 voltios a $+0.5$ voltios ?
- ¿Cuántos bits tiene el cuantificador? ¿y cuántos niveles?. Dibuja un esquema del cuantificador indicando entrada-salida.
- ¿Con qué magnitudes físicas trabaja el sensor?. ¿Qué tipo de sensores utilizarías? ¿Cómo se denominan?.

Problema 3.14 Conversión A/D presión

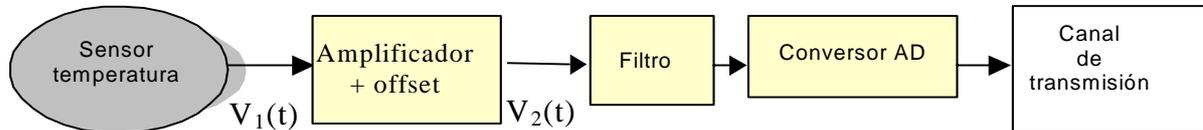


Tenemos un sensor de presión que nos proporciona un voltaje (V_1) entre 1 y 2 voltios para un intervalo de presiones de 0 a 2 p.s.i. (Nota: p.s.i. corresponde a la unidad de presión *libras por pulgada cuadrada*).

- Determinar los valores de amplificación y offset debería tener un circuito adaptador para adecuar la salida del sensor al margen dinámico requerido (V_2) entre -5 y 5 V.
- ¿Cuántos bits necesita el cuantificador para obtener una resolución de una centésima de p.s.i?
- El canal de transmisión permite poder transmitir la información digital a una velocidad máxima de 64 Kbits/s. A partir del resultado del apartado (b) determínese la frecuencia máxima a que podríamos muestrear.
- Justificar la necesidad del filtro antes del convertor AD y especificar algunas de sus propiedades (tipo de filtro y frecuencia de corte, asumiendo que se trata de un filtro ideal).
- Si asumimos que cada bit por segundo necesita 0.5 Hz de capacidad de canal, ¿cuál será la capacidad total necesaria? ¿en qué factor ha aumentado comparada con la transmisión directa analógica que se podría hacer desde la salida del filtro?

Problema 3.15 Conversión A/D sensor de temperatura

Disponemos de un sistema digital que permite transmitir la información procedente de un sensor de temperatura. El esquema del sistema está representado en el siguiente diagrama de bloques:



El margen dinámico de la señal es de -6 Volts a 6 Volts que cubren el margen de temperaturas de un sensor asociado a un horno desde 0° a 90° , según la relación: $V_1 = (2T-90)/15$

La precisión del termómetro es de una centésima de grado y se quiere digitalizar la tensión de salida manteniendo dicha precisión analógica, por lo que el error máximo de cuantificación debe ser menor que el error derivado por la falta de precisión del sensor.

El espectro de la señal V_1 tiene un ancho de banda de 400 Hz.

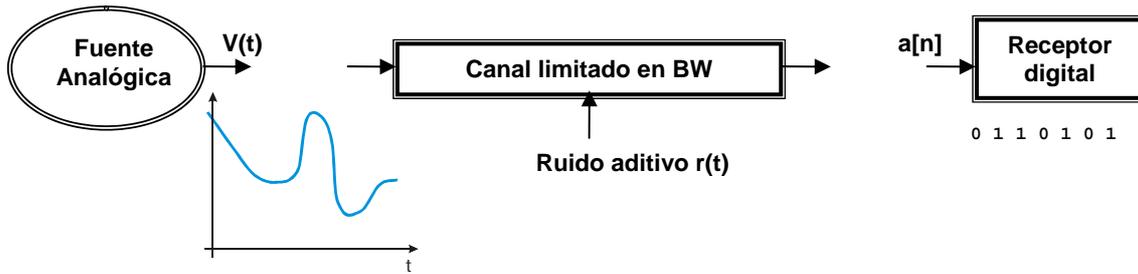
- Determinar el número de niveles de cuantificación (N) que se utilizarían, suponiendo que el margen dinámico del cuantificador está perfectamente adaptado al margen dinámico de la señal.
- Supóngase que se quiere codificar la salida del cuantificador con PCM empleando un número de bits (n) fijo. Determinar el número de bits mínimo.
- Determinar el flujo requerido (en Kbits/s) para poder transmitir la información digital por canal de transmisión.
- Justificar la necesidad del filtro tras el circuito de adaptación (amplificación + offset), y especificar algunas de sus características (tipo de filtro y frecuencia de corte). Nota: considérese que se trata de un filtro ideal.
- Si el canal sólo pudiera transmitir la mitad del flujo requerido manteniendo el ancho de banda a transmitir, determinar la precisión con que se enviaría la lectura del termómetro y el factor respecto a la precisión del sensor.

Problema 3.16 Sistemas de audio digital y analógico

Describa las ventajas e inconvenientes de un sistema de audio digital respecto a uno analógico atendiendo a los errores (a su generación, propagación o posible reducción). ¿Puede alguno de estos sistemas eliminar o minimizar algún tipo de errores?

Problema 3.17 Conversión A/D sensor de temperatura

Se dispone de una fuente de audio analógica con margen dinámico de ± 15 V, de un receptor digital y de un canal que admite señales con ancho de banda máximo $BW = 250$ KHz. Se desea diseñar un convertor analógico digital para hacer compatibles la señal proveniente de la fuente con el receptor. Se desea mantener una alta calidad de sonido, por lo que se escoge emplear palabras de 16 bits por muestra.



Se pide:

- determinar el paso de cuantificación, el error que genera el cuantificador y la frecuencia de muestreo del conversor analógico digital, considerando el ancho de banda de la señal de audio limitado a 20 KHz;
- Determinar el ancho de banda de la señal digital así creada, si asumimos que cada bit por segundo necesita 0.5 Hz de ancho de banda;
- Supóngase que se coloca el conversor A/D a la entrada del canal. ¿Existe alguna incompatibilidad entre los resultados obtenidos con las características del canal? Justifique la respuesta. En caso afirmativo, ¿qué posibles soluciones propondría, aún debiendo sacrificar la calidad de la señal? Justifíquelas.
- El canal introduce un ruido aditivo $r(t)$. Recuérdese que el proceso de digitalización también añade otro tipo de ruido. Teniendo en cuenta este aspecto, razonar si es preferible colocar el conversor A/D ANTES o DESPUÉS del canal. ¿Pueden eliminarse o reducirse estos ruidos?

Bibliografía bàsica:

John Robinson Pierce, A. Michael Noll, “Señales. La ciencia de las telecomunicaciones”, Ed. Reverté, S.A., Barcelona, 1995

Wright, P.H. Introducción a la Ingeniería. Addison Wesley, 1993.

Bibliografía complementària:

Àngel Cardama, “Las Telecomunicaciones en la Sociedad de la Información”, CIMNE, Reial Acadèmia de Doctors, Barcelona, 2002

Nicholas Negroponte, “El mundo digital”