

디지털 신호 처리

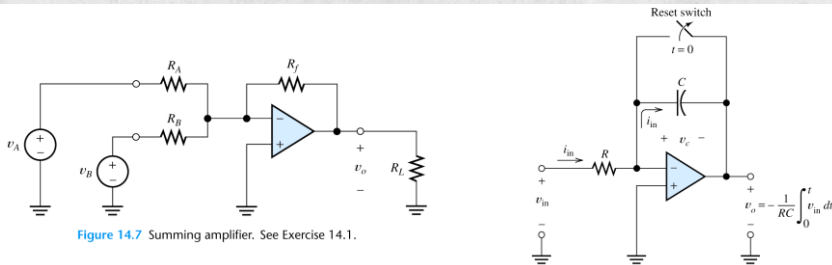
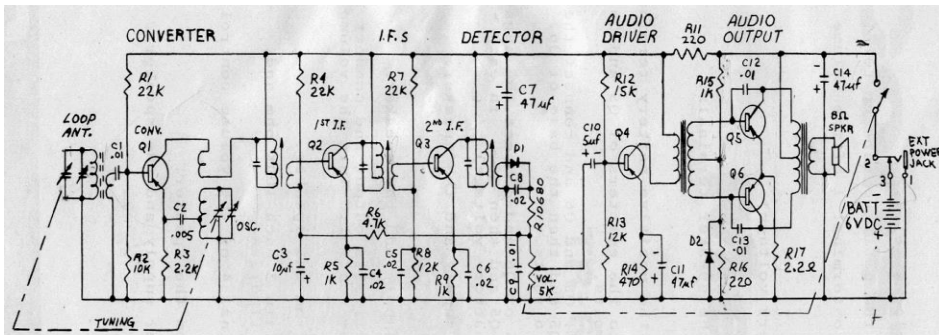
(Digital Signal Processing)

성원용

신호처리

- 신호에서 어떤 특정 주파수만을 뽑아내는 것 (filtering)
 - Bandpass filtering
 - Lowpass filtering
- Modulation
 - 신호의 주파수를 바꾸어서 높은 주파수로 또는 frequency modulation 등을 시키는 것
- Demodulation
 - 간단하게 diode detection
- Fourier transform – time domain signal을 frequency domain 에서 보는 것
- Signal compression
- Signal synthesis

Analog signal processing systems

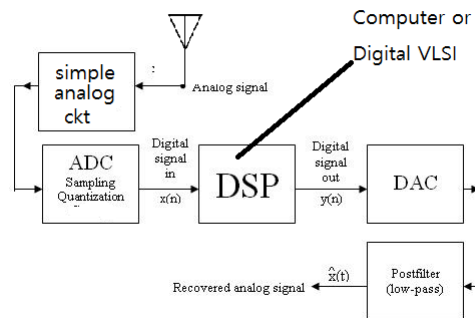


Analog signal processing systems

- Active elements (transistors, OP amp 등)와 R, C, L 로 구성이 되어 있다.
- 세월이 가도 가격이 잘 내려가지 않는다. 이점에서 VLSI와 반대이다.
- 어떤 기능을 바꾸려면 납땜질을 다시 해야 한다. 즉 유연성 면에서 매우 나쁘다.
- 복잡한 기능을 구현하기가 어렵다.

디지털 신호처리 시스템

- ADC(Analog digital converter)를 이용하여 analog 신호를 숫자로 바꿈. 그 다음은 컴퓨터(SW)나 digital hardware (adder, memory) 로 처리



Gain block and diode detection

```

float vin, vout;
float vo, va, vb;
float A, B; /* A, B gain */
vo = A*va + B*vb;

float vin, vout;
If (vin > vout)
    vout = 0.2*vin + 0.8*vout;
else
    vout = 0.8*vout;
  
```

곱하기가 증폭회로

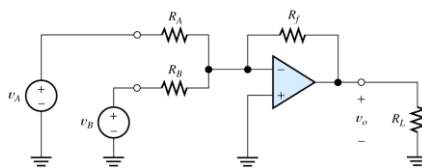
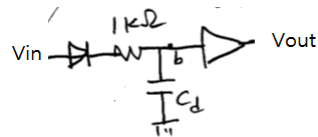


Figure 14.7 Summing amplifier. See Exercise 14.1.

if 가 다이오드의 순방향, 역방향 전류 흐름 역할



Digital filter

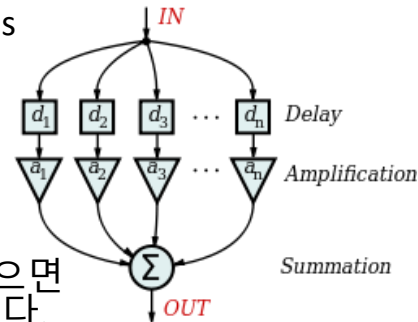
- Bandpass, highpass, lowpass filter 모두 오른쪽 그림과 같이 amplification (곱하기)

합치기 (더하기), 신호를 지연하기 (delay) 동작을 이용하여 구현할 수 있다.

- 즉 매우 빠른 컴퓨터만 있으면 라디오를 SW로 만들 수 있다.

또는 digital VLSI 로 만들 수 있다.

- 현재 HDTV, Smartphone 을 이런 방식으로 만듦.



그럼 왜 그전에는 digital 방식을 사용하지 안하였는가?

- Digital 방식은 많은 수의 multiplication, addition 을 필요로 하는데, 이 필요한 회수가 sampling 주파수 (즉, 신호가 오는 주파수)에 비례한다. 그렇기 때문에 고주파 신호처리에는 매우 불리하였다.
- 아래 회로에서 input 신호 v_A, v_B 가 10KHz로 sample 된 신호라면 출력을 구하는데 1초 동안에 20K번(2만번)의 곱셈. 신호가 1MHz로 들어오면 계산량 1초당 2million 번

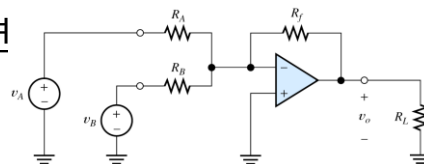


Figure 14.7 Summing amplifier. See Exercise 14.1.

승산기(hardware multiplier)의 가격)

- 30년전 TRW 16bit*16bit multiplier, 10MHz 동작
 - 당시 자동차 한대 가격 (OP amp: 짜장면 가격)
- 현재: 하나의 chip 안에 multiplier (동작 주파수 100MHz 이상) 가격
 - Moore의 법칙에 의해서 이렇게 됨.
- 30년전에는 정교한 신호처리를 위해서 digital signal processing 을 사용했다면 지금은 대부분 cheap signal processing 이 목적이다.



SIGNAL의 종류

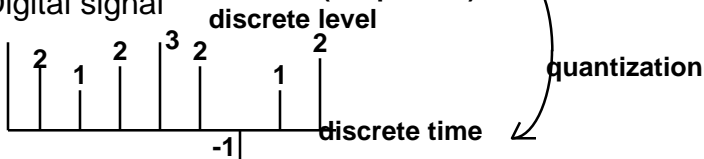
- Continuous time signal(analog signal)
voltage, current(continuous)



- Discrete time signal
continuous level

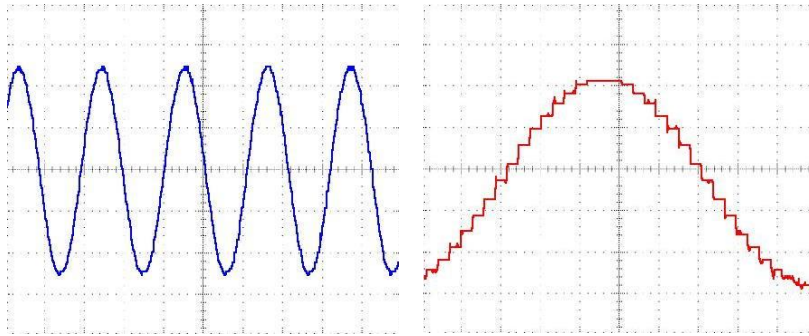


- Digital signal

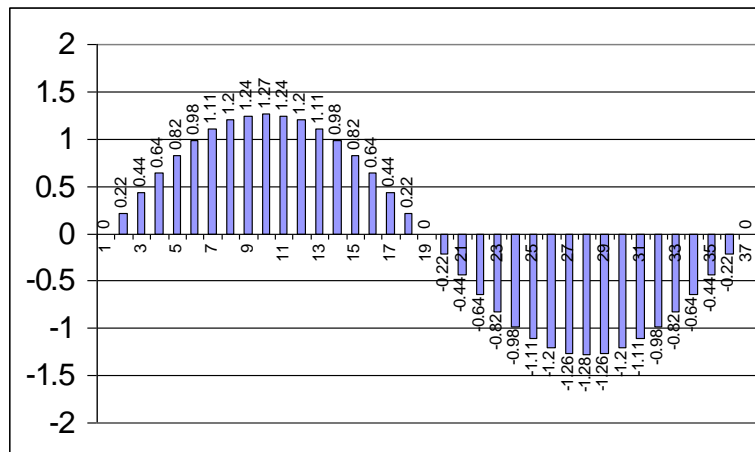


Analog to digital conversion

- Converting a continuously changing waveform (analog) into a series of discrete levels (digital)



Sampled signal (숫자 array)

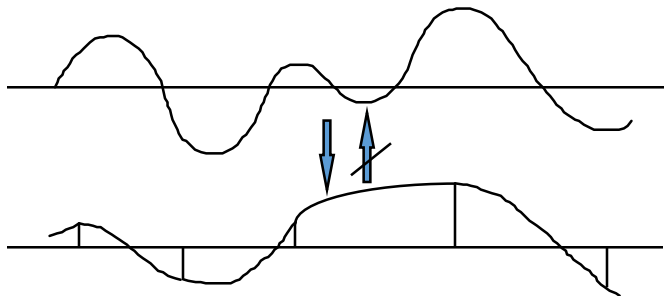


Sampling, ADC, DAC

- Sampling frequency needs to be high enough to accommodate all needed signal components (Nyquist sampling theorem)
 - Sample and hold (S&H): 일반적으로 ADC, DAC안에 내장되어 있음
- ADC and DAC accuracy (number of bits) should be high enough for low quantization noise

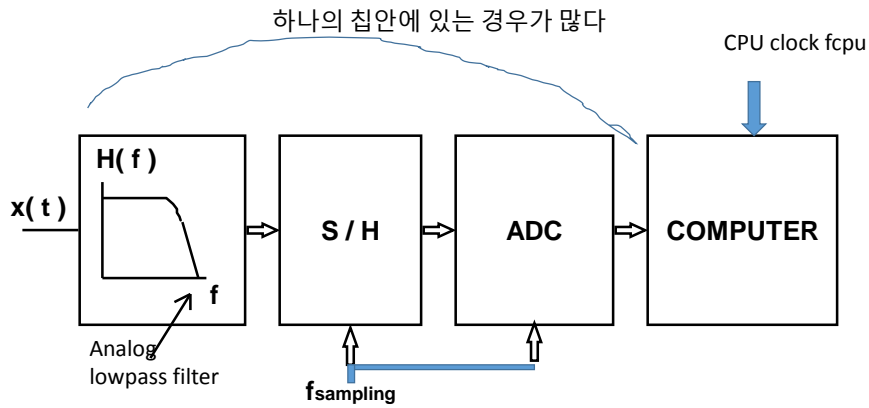
Sampling of continuous time signal $T = 1/f_{\text{sampling}}$

T 를 키우면 $x[n]$ 의 양이 줄어든다.



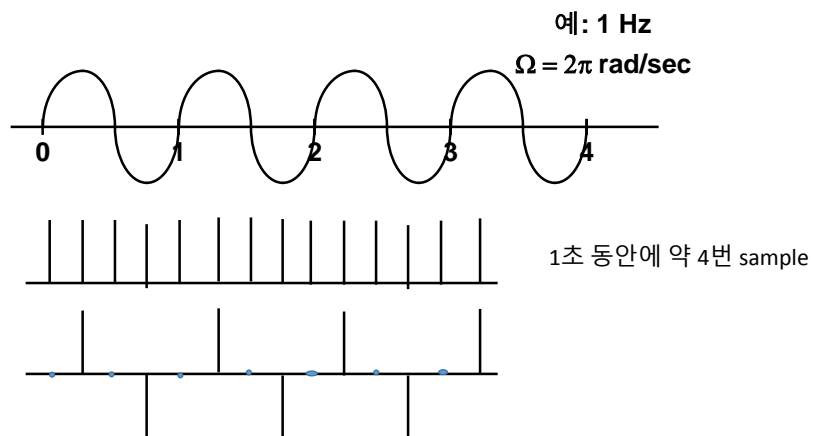
그러나 T 를 무한정 크게 할 수는 없다.
aliasing problem 이 있다.

ADC 과정

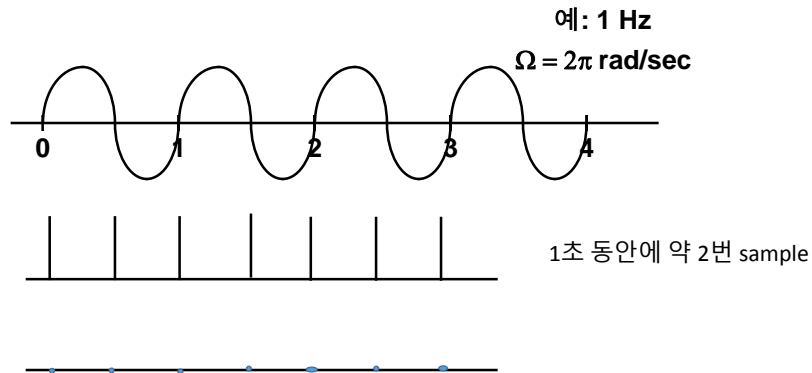


$f_{sampling}$ 은 신호를 sampling 하는 주파수이고, f_{cpu} 는 CPU 동작속도로 서로 관련이 없다. 단 SW구현을 위해서는 $f_{cpu} \gg f_{sampling}$ 이 필요하다. 보통 f_{cpu} 는 10MHz~3GHz, $f_{sampling}$ 은 수 KHz ~ 수십MHz

Sine wave 가 들어올 때의 sampling

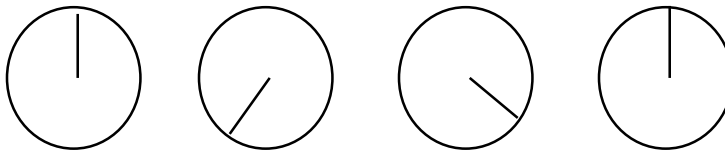


Sine wave 가 들어올 때의 sampling



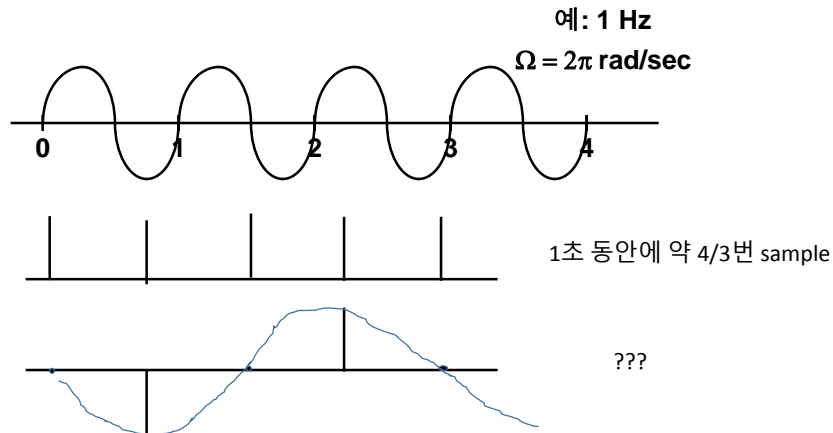
Sampling

- 한 sample 동안에 신호의 phase가 π 보다 더 많이 바뀌면 샘플링이 잘 안된다. (+)



- $2/3 \pi$ or $4/3 \pi$?

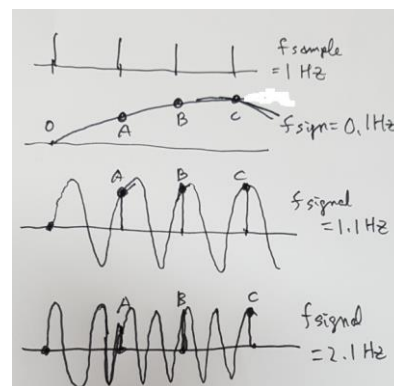
Sine wave 가 들어올 때의 sampling



Aliasing and Nyquist sampling theorem

- Aliasing: sampling 을 하는 주파수가 너무 낮아서, 디지털 신호를 보면 원래 신호보다 낮은 주파수로 보이는 현상.
- $f_{\text{sampling}} = 1\text{Hz}$ 로 보면, $f_{\text{signal}} = 0.1\text{Hz}, 1.1\text{Hz}, 2.1\text{Hz}, 3.1\text{Hz}$ 가 모두 같은 디지털 값으로 변환이 된다.
- 즉, 1Hz로 sample 된 값의 sequence가 $[0, 0.58, 0.95, 0.95, 0.58 \dots]$ 라면

주파수가 0.1Hz인지 1.1Hz인지, 2.1 Hz인지 알 수가 없다.

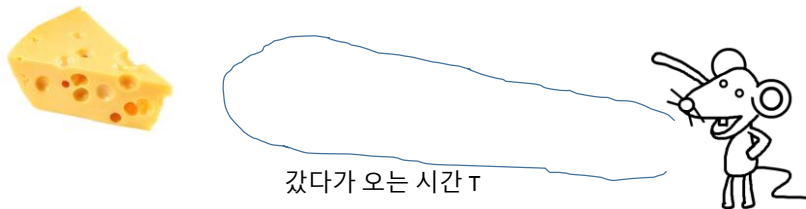


Digital로 샘플링된 값은 모두

0	$\sin(2\pi \cdot \frac{1}{10})$	$\sin(2\pi \cdot \frac{2}{10})$...
A	B	C	D
0	1	4	0
0.587	0.95	0.95	0.58

Nyquist sampling theorem

- Aliasing 을 막기 위해서는 input signal 의 maximum frequency 성분이 $-f_{\text{sample}}/2 \sim f_{\text{sample}}/2$ 사이에 있어야 한다. 즉 1MHz 로 sampling을 하려면, 입력의 최대 주파수가 0.5MHz 이내여야 한다.
- 어떤 입력 신호의 최대 주파수가 f_{max} 이면 $f_{\text{sampling}} > 2 * f_{\text{max}}$ 여야 한다.



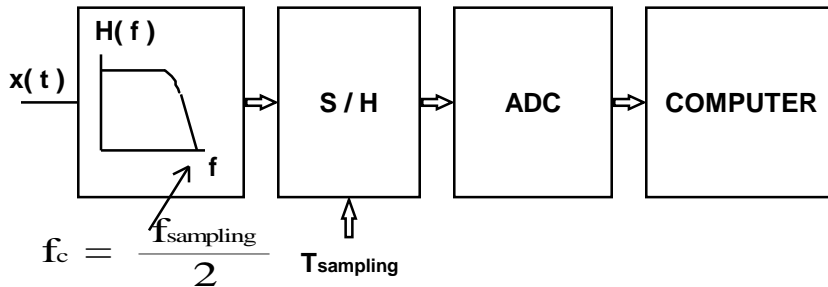
치즈를 지키기 위한 감시주기 $< T/2$

$$f_{\text{sampling}} > 2 * f_{\text{signal}}$$

ADC 과정 (앞에 lowpass filter 넣는다)

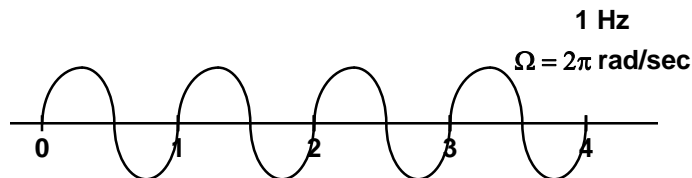
- 한 sampling interval (T 또는 $1 / f_{\text{sampling}}$) 동안에 입력 신호의 phase가 π 내로 바뀌어야 하므로 (반바퀴)

$$f_{\text{max}} \leq (1 / 2) f_{\text{sampling}}$$



The concept of frequency in the discrete time domain

continuous . . . Hz, cycle / sec, rad / sec ; sec(절대적 시간)



0	$\sin(2\pi \cdot \frac{1}{10})$	$\sin(2\pi \cdot \frac{2}{10})$...
A	B	C	D
0.587	0.95	0.95	0.58

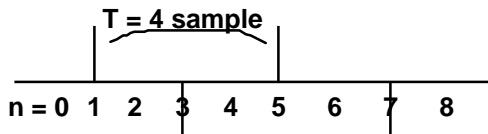
왼쪽과 같이 digital 로 보이는 값의 주파수는?
 $\pi/5 \text{ rad/sample}$
 또는 그냥 $\pi/5$

즉, 샘플된 신호의 원래 주파수 (Hz)는 알 수가 없고, 단지 sample 된 domain에서의 변화만 안다.

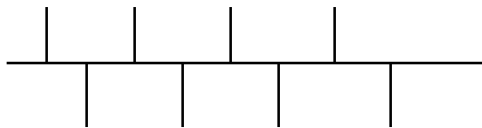
The Concept of frequency in the discrete time domain

Discrete . . . cycle / sample, rad / sample

; 절대적 시간 대신 순서만 존재한다.



$$\omega = \pi / 2 \text{ rad / sample}$$



$$\omega = \pi \text{ rad / sample}$$

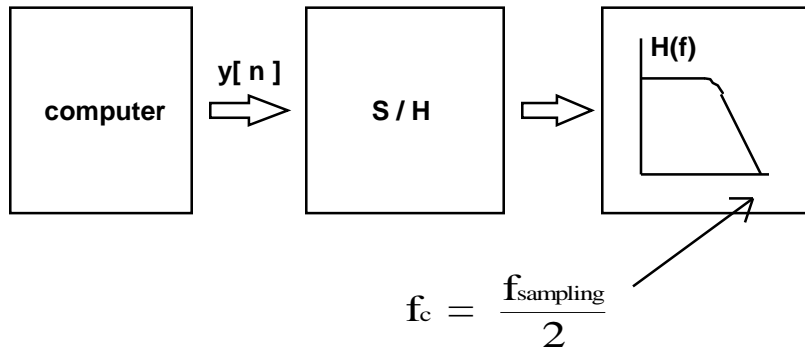
* Discrete time domain에서 frequency는 $-\pi$ 에서 π 까지만 생각하면된다.

몇 bit ADC 가 필요?

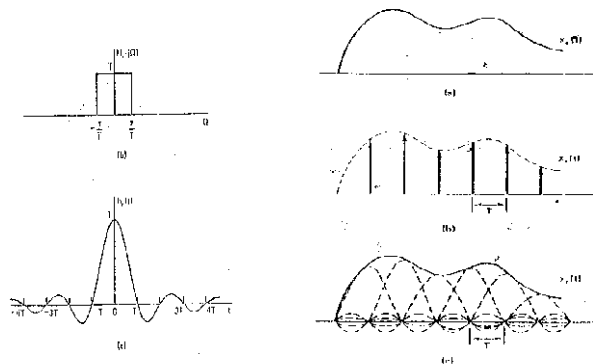
- N bit $\rightarrow 2^N$ levels
 - 8bit $\rightarrow 256$ levels
 - 16bit $\rightarrow 65,536$ levels
- 일반적으로 audio 에는 16비트 이상, 전화에는 12 비트 이상, video 에는 8비트 이상을 사용한다. Printer는 1bit (black and white dot)로 나타낸다.
- N 이 크면 – 양자화 잡음 (quantization noise) 작다.
- ADC 가격이 비싸다. 저장에 용량이 더 필요하다. DSP 과정에서 더 높은 bit의 multiplier adder memor가 필요하다.

Discrete to continuous conversion

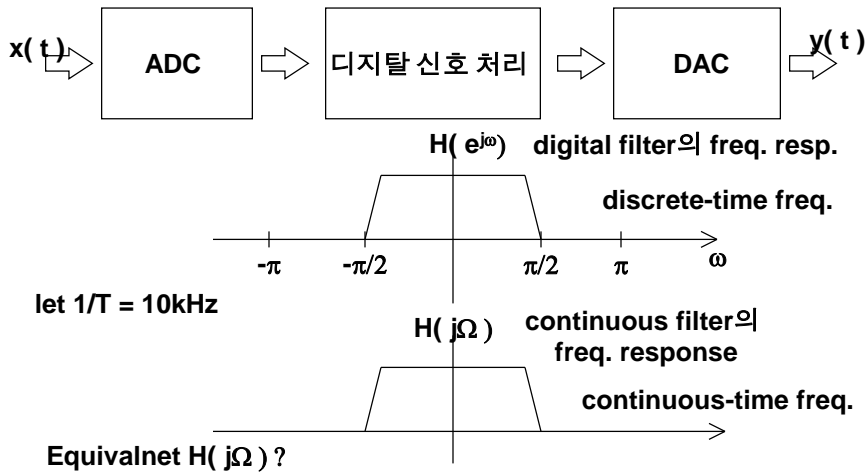
... low pass filtering



Discrete to continuous conversion(continued)



Discrete time processing of continuous time signals



Practical system의 예

- Audio: 인간 귀의 청력 한계는 약 20kHz이다.
- Hifi audio의 경우: CD fsampling = 44.1kHz
- MP3 = 48k, 44.1K and 32kHz 등
- 전화: fsampling = 8kHz → wideband coding 16kHz
- Image의 경우: printer: 1200dpi (dot per inch)
- iPhone7 LCD: 1334 x 750 픽셀 해상도(326ppi)

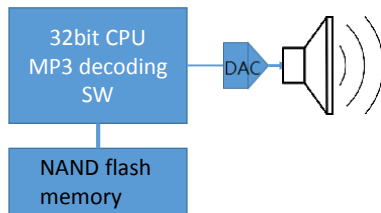
Digital storage

- CD는 audio 신호를 44.1KHz로 sample 한 후 16bit (2byte)로 ADC한다. 한시간의 음악을 녹음해 두는데 저장장치 얼마만큼이 필요한가?
 - 답: $2\text{byte} \times 44.1\text{K} \times 3600 = 317\text{Mbyte}$
- 지금 사용하는 LCD 화면의 해상도는 1680*1050이다. 그리고 한 픽셀은 32비트(RGB를 나타냄)를 사용한다. 하나의 화면 버퍼로 필요한 DRAM 용량은 얼마인가?
 - =10.08Mbyte
- 화면의 수평, 수직 해상도가 모두 두배씩이 된다면 화면 버퍼로 필요한 DRAM의 양은? 위의 4배.
- HDTV를 만들기 위해서는 큰 DRAM buffer 필요.

Digital compression

- CD는 audio 신호를 44.1KHz로 sample 한 후 16bit (2byte)로 ADC한다. 한시간의 음악을 녹음해 두는데 저장장치 얼마만큼이 필요한가?
 - 답: $2\text{byte} \times 44.1\text{K} \times 3600 = 317\text{Mbyte}$
- Flash memory 32Mbyte가 있다. 곡을 몇시간이나 넣어둘 수 있는가? Uncompressed: 약 6분
- MP3는 이 오디오 신호를 compress 해서 32Mbyte flash memory 에 곡을 한시간 이상 저장토록 하였다. MP3는 오디오 압축 표준.
- 어떻게 압축: 신호의 성질을 이용.

MP3 player



Digital signal processing의 응용

- Digital filtering: 신호의 어떤 주파수 대 만을 통과 시키던가 block한다. Lowpass, highpass, bandpass filter 등
- Digital compression: Data 의 양을 압축한다.
 - MP3, JPEG, MPEG, H.263 등
- Digital modulation demodulation:
 - AM, FM, QAM, QPSK, CDMA, OFDM 등
- Speech and music generation