

TIBBİ ENSTRUMENTASYON TASARIM VE UYGULAMALARI

SAYISAL FİLTRELER

SUNU PLANI

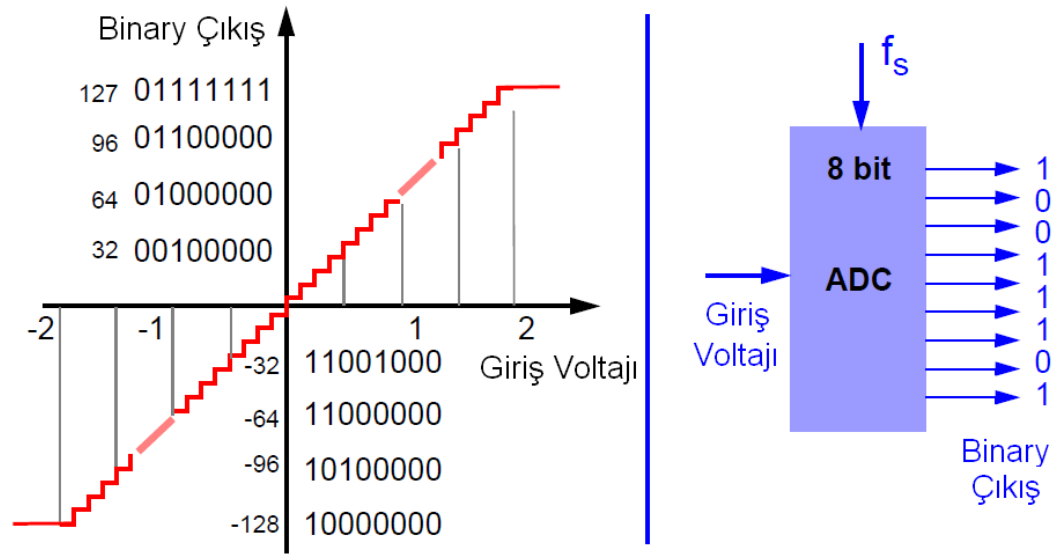
- Analog sayısal çevirici
- FIR Filtreler
- IIR Filtreler
- Adaptif Filtreler
- Pan-Tompkins Algoritması

BÖLÜM 1

ANALOG SAYISAL ÇEVİRİCİ

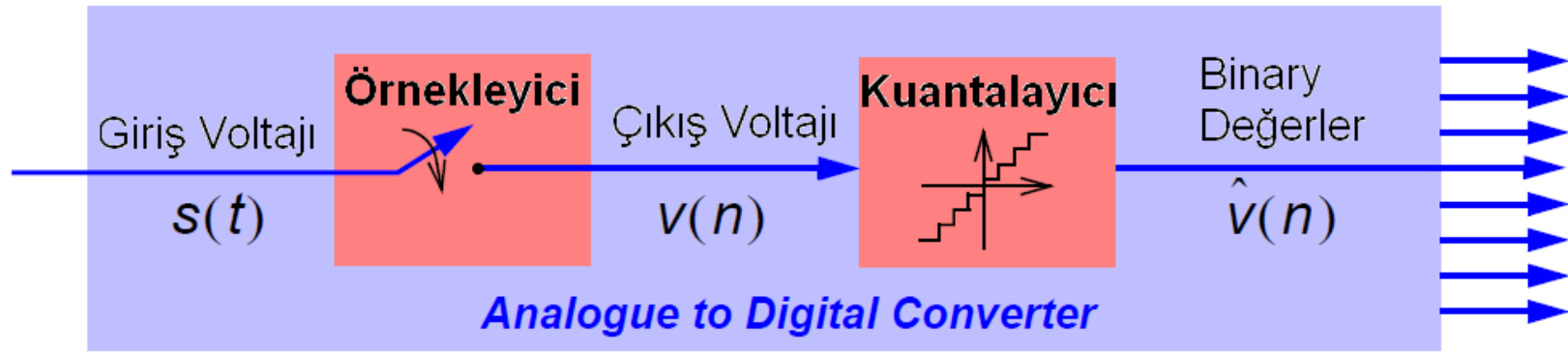
Araş. Gör. Berat Doğan 11/04/2012

Analog Sayısal Çevirici



ADC girişine uygulanan bir voltajı, binary bir değere çeviren elemandır.

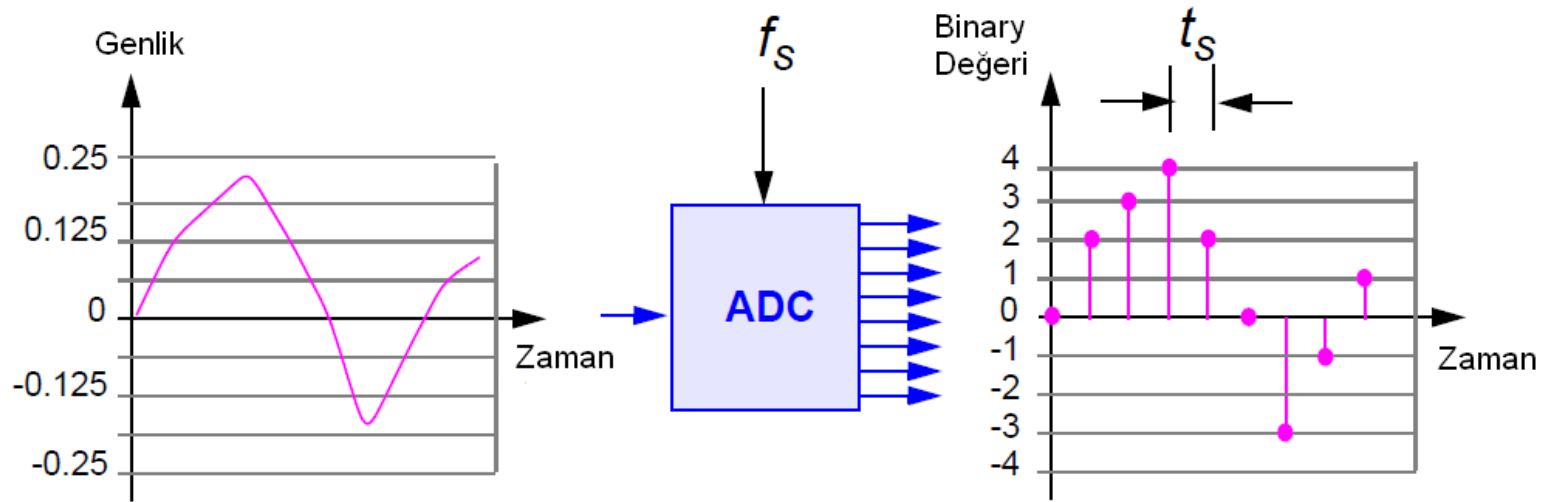
Analog Sayısal Çevirici



ADC bir örnekleyici ve bir kuantalayıcıyla temsil edilebilir.

Örnekleme

Bir saniyede sayısala çevrilen toplam örnek sayısı ADC'nin örnekleme frekansı olarak bilinir, f_s Hz.



Örnekleme

Örnekler arasındaki zamana ise, örnekleme periyodu (t_s), denir.

$$t_s = \frac{1}{f_s}$$

Örnekleme frekansı uygulamadan uygulamaya değişir.

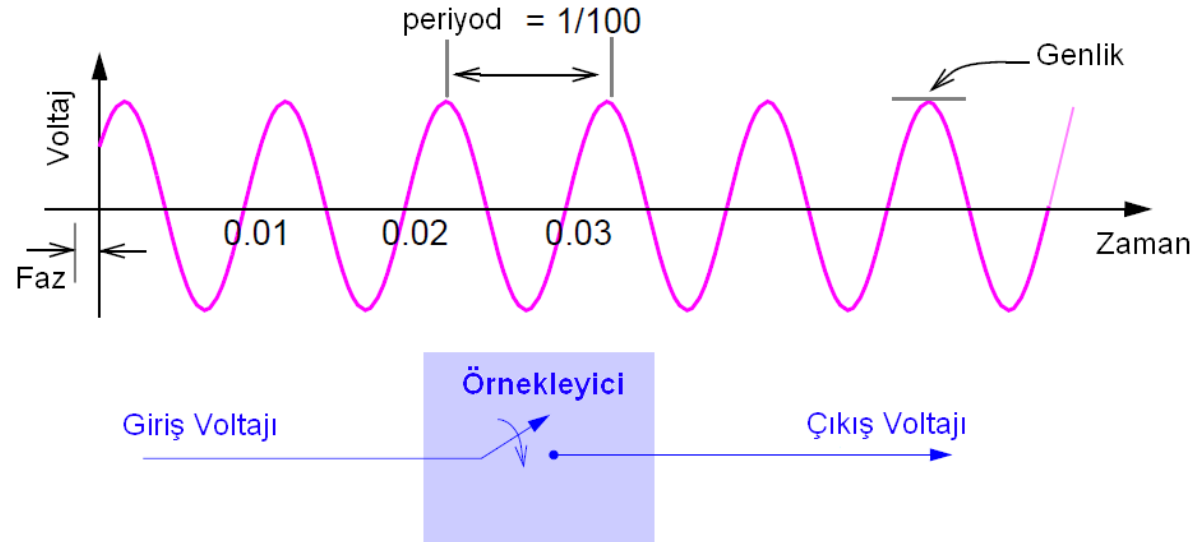
10 Hz'ler, Kontrol sistemlerinde

100 Hz'ler, Biyomedikal uygulamalarında

1000 Hz'ler, Ses ve görüntü uygulamalarında

1000000 Hz'ler, RF uygulamalarında

Örnekleme Frekansı

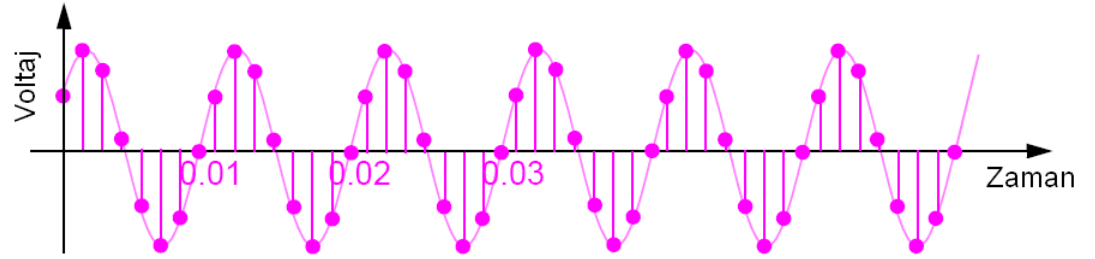


100 Hz'lik işarete ait bütün bilgiyi kaybetmeden geri alabilmek için örnekleme frekansımız kaç olmalı?

Örnekleme Frekansı

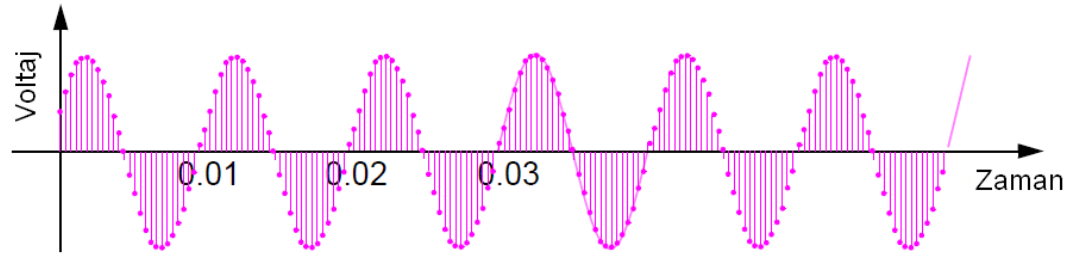
800 Hz

Yeterli gibi.



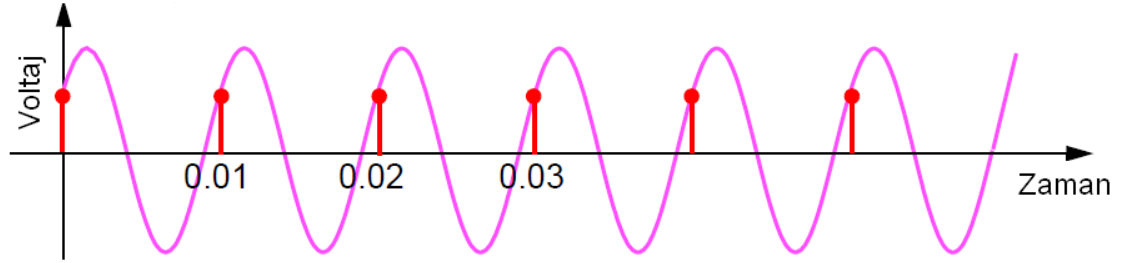
3000 Hz

Gereğinden fazla?

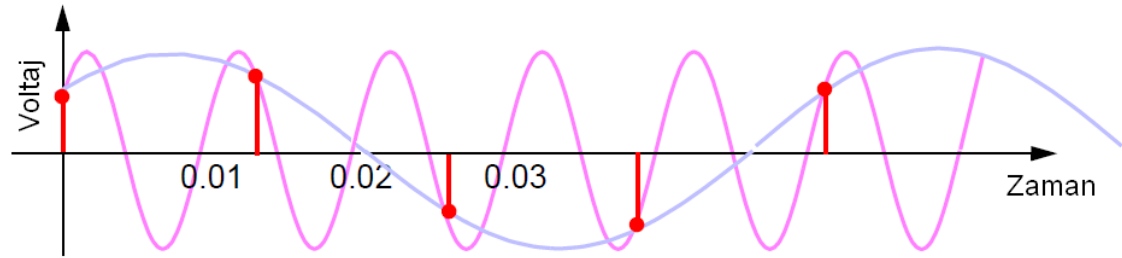


Örnekleme Frekansı

100 Hz
DC işaret!



80 Hz
Bilgi kaybı.



Örnekleme Frekansı

Nyquist örnekleme teoremine göre bir işarete ait bütün bilginin kaybedilmeden geri alınabilmesi için örnekleme frekansı (f_s),

$$f_s \geq 2f_{\max}$$

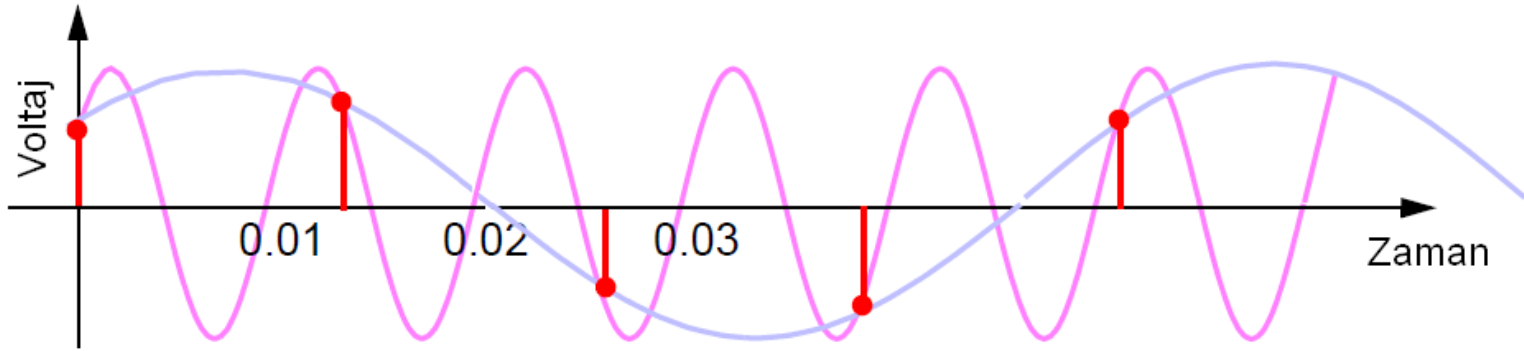
işaretteki maksimum frekans bileşeninin iki katına eşit veya daha büyük olmalıdır.

Örtüşme

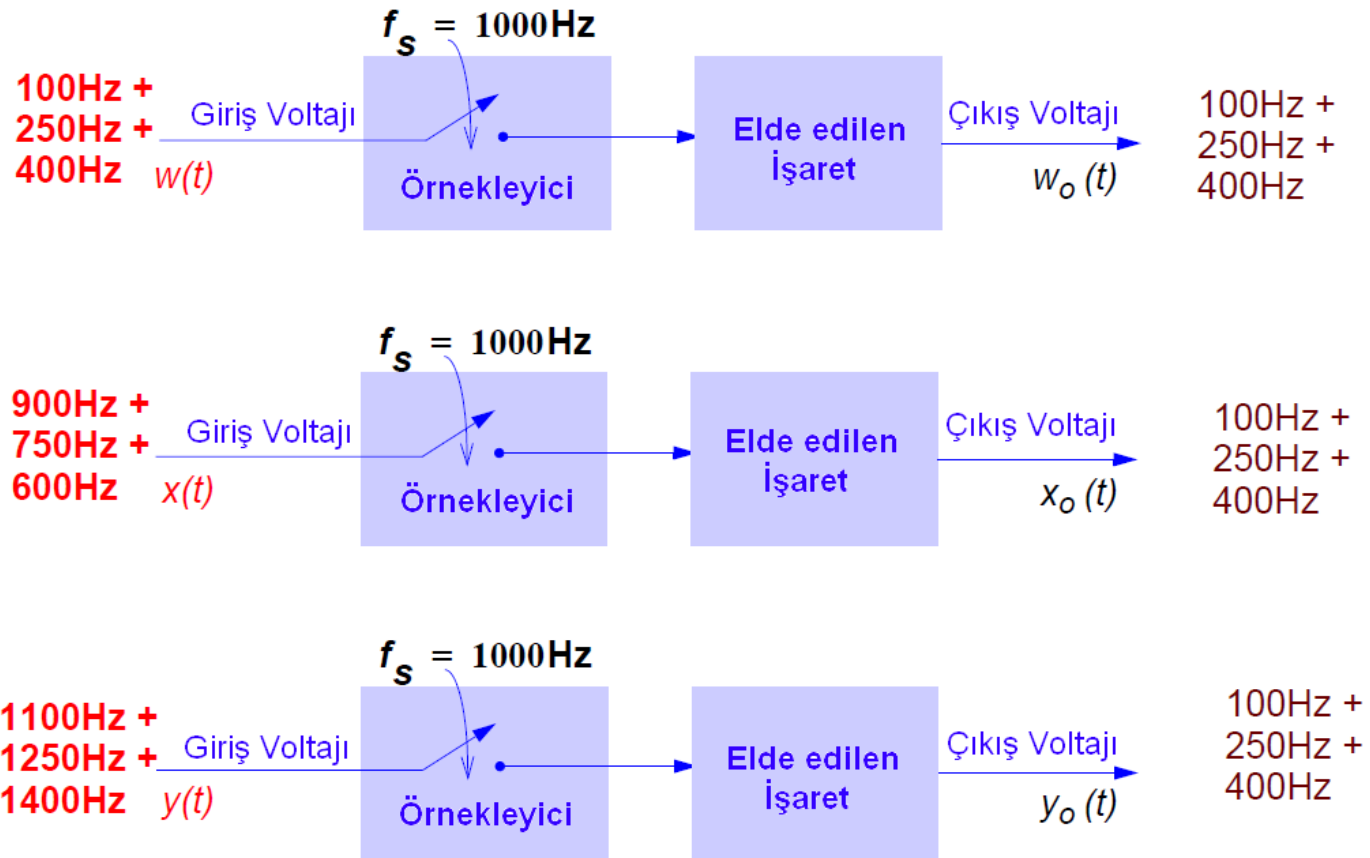
Bir işaret Nyquist örnekleme oranının altında bir frekansla örneklenirse işarete ait frekans bilgisi kaybedilir. Bu durumda örtüşme (aliasing) meydana gelir. 100 Hz'lik işaretin 80 Hz'de örneklendiği durumu yeniden göz önüne alalım. Bu durumda örnekleme sonucu elde edilen işaretin frekansı,

$$f_s - f_{\text{işaret}} = 20 \text{ Hz}$$

olur.

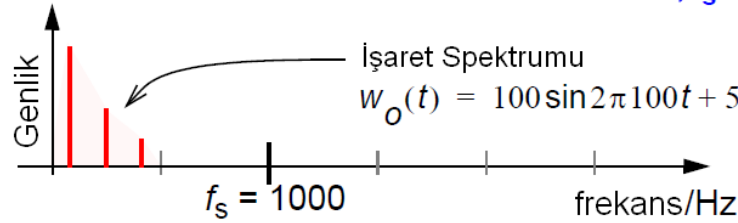


Örtüşme

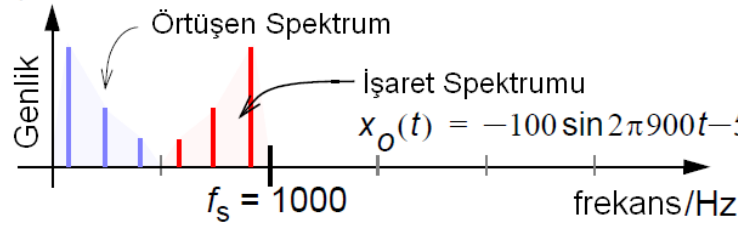


Örtüşme

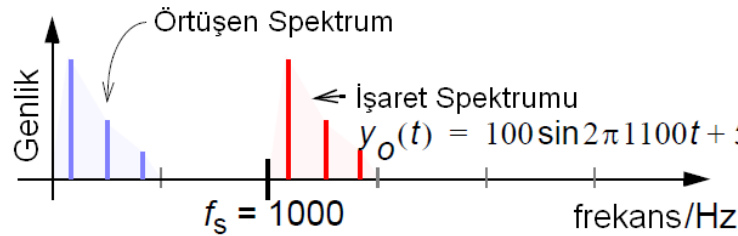
Örnekleme Frekansı, $f_s = 1000\text{Hz}$



ÖRTÜŞME YOK



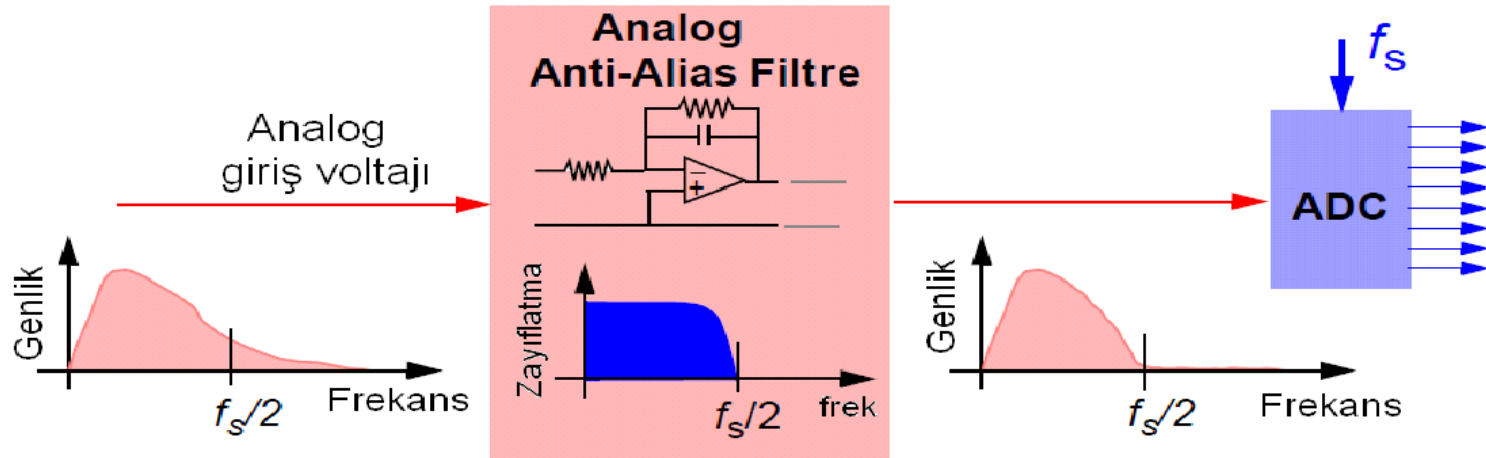
ÖRTÜŞME VAR



ÖRTÜŞME VAR

Örtüşme

ADC öncesi $f_s/2$ 'den büyük bütün frekanslar bloke edilmeli!



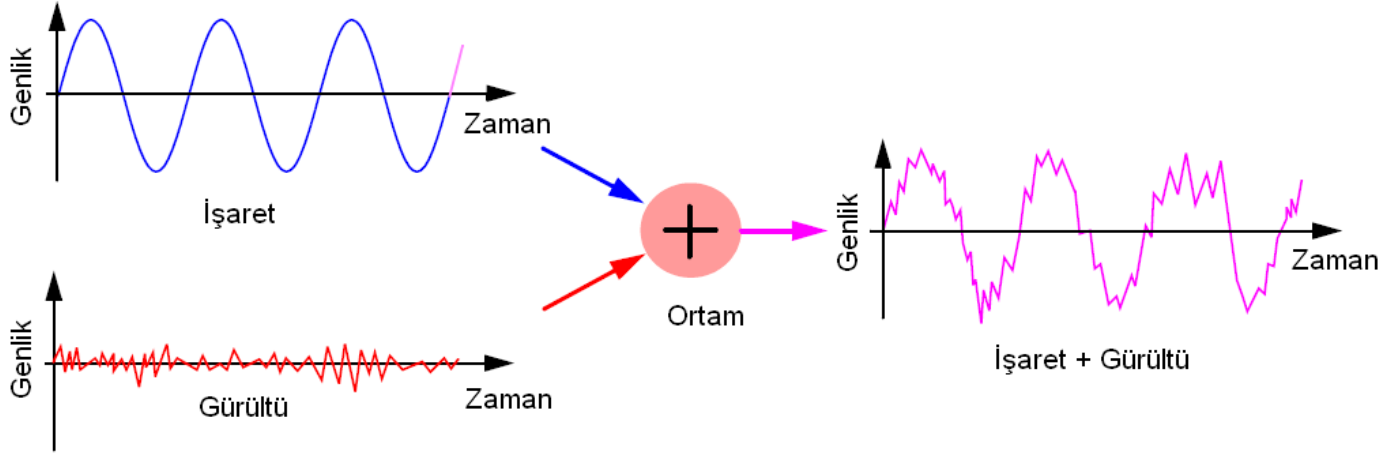
BÖLÜM 2

SAYISAL FİLTRELER

Araş. Gör. Berat Doğan 11/04/2012

İşaretler ve Gürültü

İşaretler alınırken veya bir yerden bir yere gönderilirken işaret alınma koşullarından ve ortam şartlarından kaynaklanan sebeplerden ötürü çeşitli gürültüye maruz kalırlar.

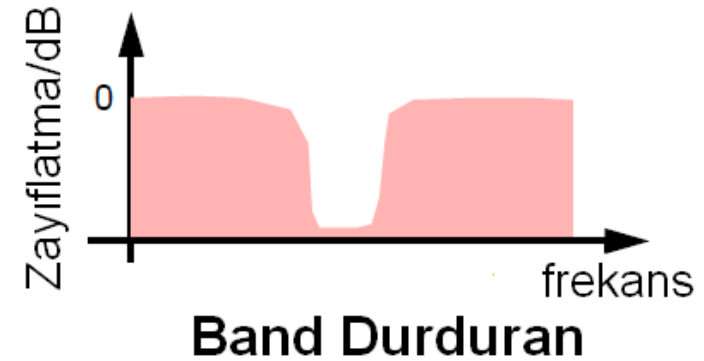
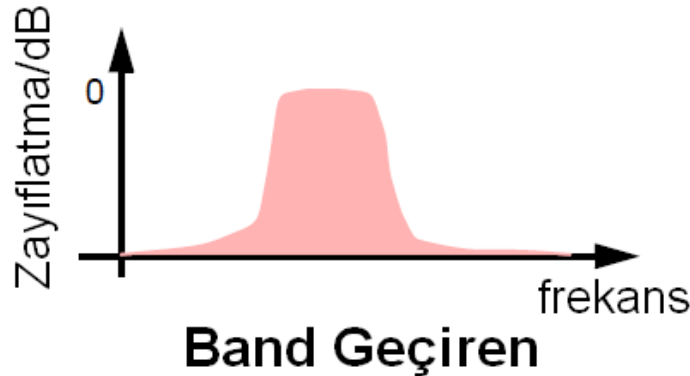
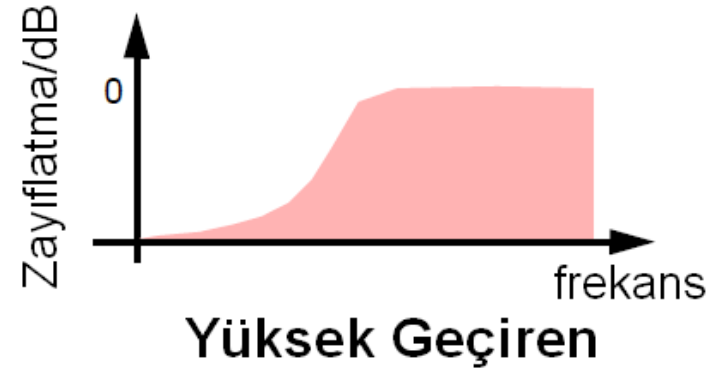
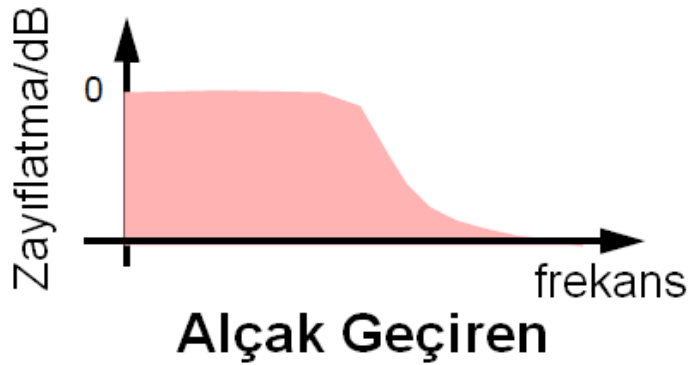


Gürültü Giderme Yöntemleri

- FIR Filtreler (Sonlu Darbe Cevaplı) : Non-rekürsif (geribeslemesiz) filtrelerdir.
- IIR Filtreler (Sonsuz Darbe Cevaplı) : Rekürsif (Geribeslemeli) filtrelerdir.
- Adaptif Filtreler : İstenen bir işarete, öğrenme algoritmaları yardımıyla kendini adapte eden filtrelerdir.
- Doğrusal olmayan filtreler: Doğrusal olmayan işlemleri gerçekleyebilen filtrelerdir (örn. median filtre).

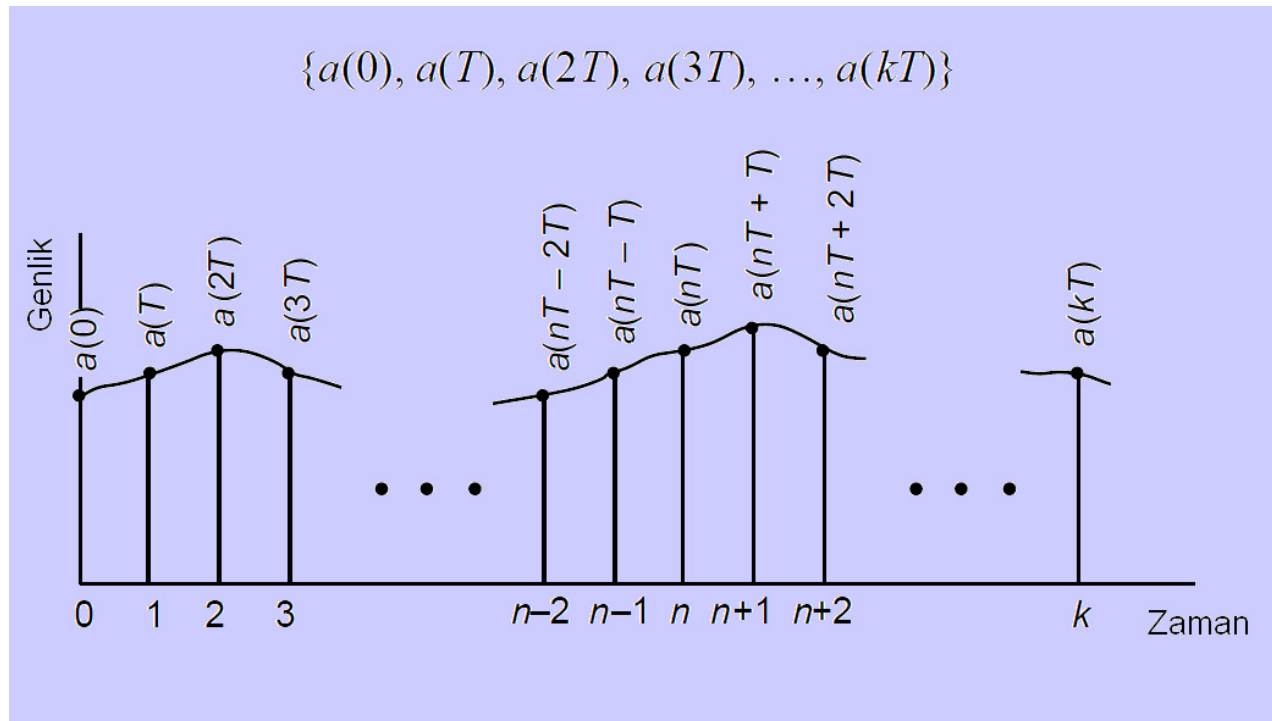
Gürültü Giderme Yöntemleri

Filtreleri dört temel sınıfta incelemek mümkündür.



z-Dönüşümü

Örnekleme sonucunda sürekli işaretler sayı dizilerine çevrilir.



z-Dönüşümü

Verilen herhangi bir dizinin z-dönüşümü,

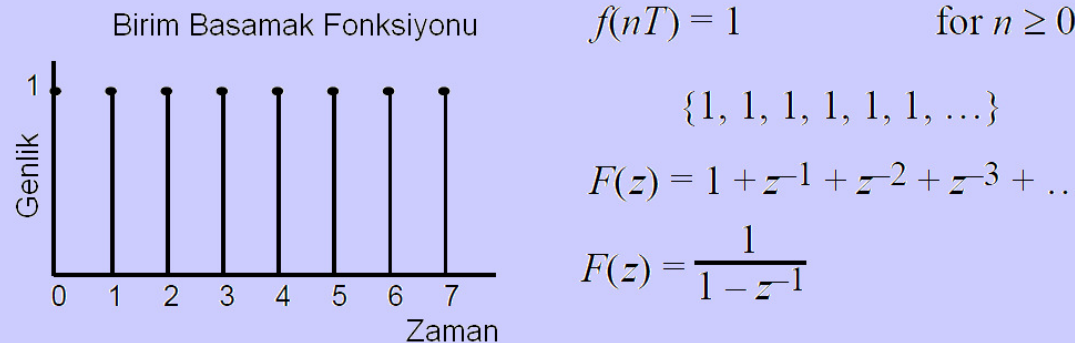
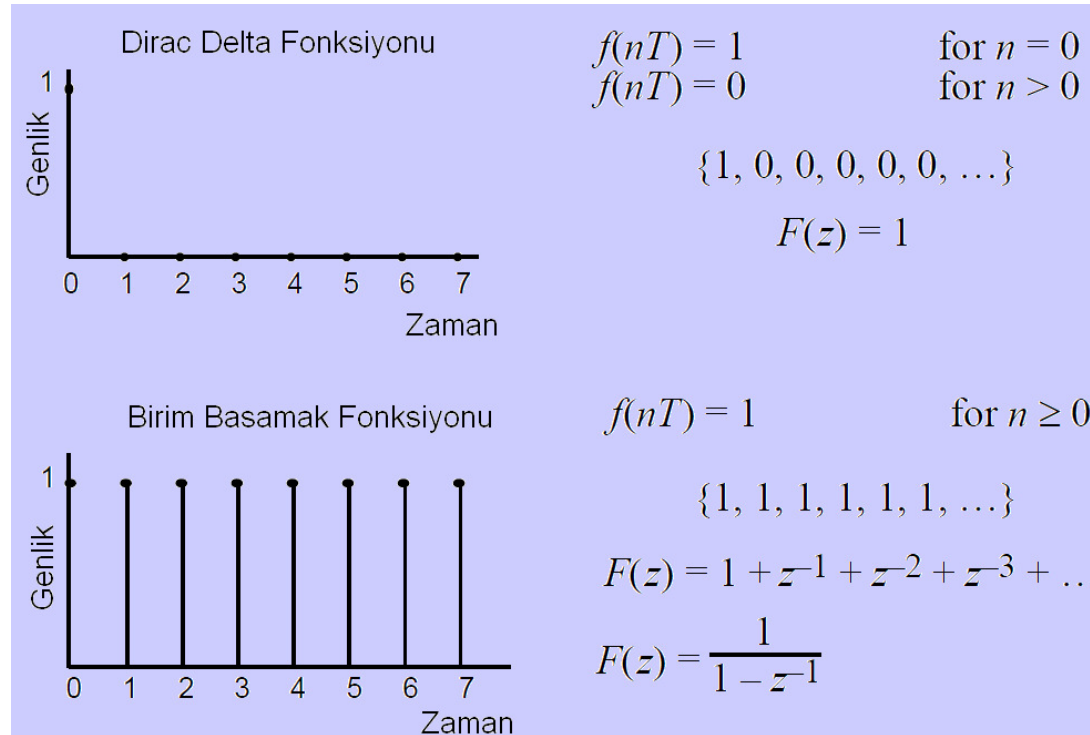
$$\{f(0), f(T), f(2T), \dots, f(kT)\}$$

$$F(z) = f(0) + f(T)z^{-1} + f(2T)z^{-2} + \dots + f(kT)z^{-k}$$

$$F(z) = \sum_{n=0}^k f(nT)z^{-n}$$

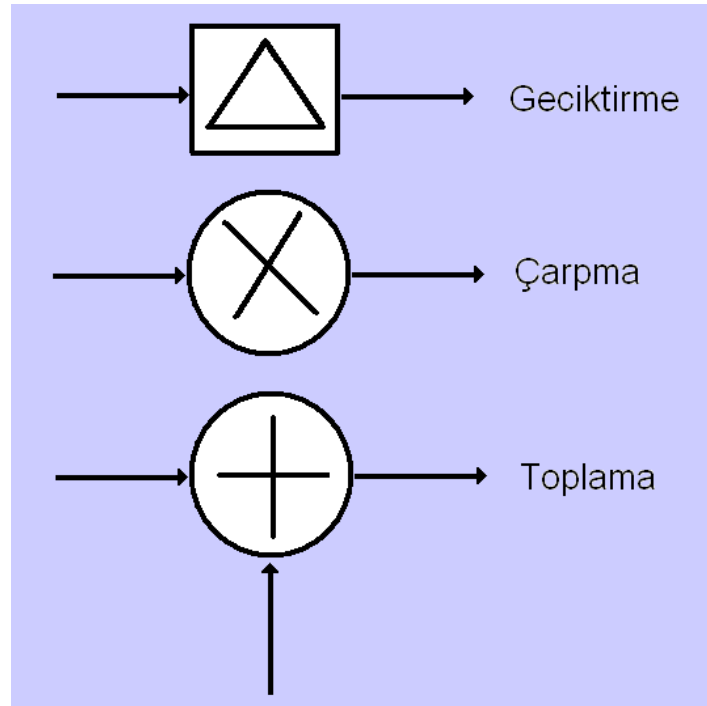
z-Dönüşümü

Dirac Delta fonksiyonu ve Birim Basamak fonksiyonunun z-dönüşümü,



z-Dönüşümü

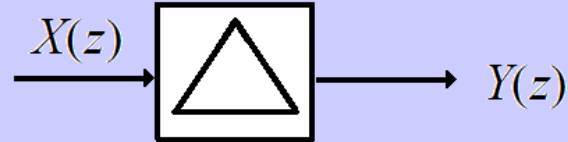
Herhangi bir sayısal filtreyi gerçekleyebilmek için sadece üç operatör gereklidir.



z-Dönüşümü

Geciktirme operatörünün transfer fonksiyonu,

$$X(z) = x(0) + x(T)z^{-1} + x(2T)z^{-2} + \dots + x(nT)z^{-n}$$



$$\{0, x(0), x(T), x(2T), \dots, x(nT)\}$$

$$Y(z) = 0 + x(0)z^{-1} + x(T)z^{-2} + \dots + x(nT - T)z^{-n}$$

$$Y(z) = X(z) z^{-1} \quad H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = z^{-1}$$

z-Düzlemi Sıfır-Kutup Eğrisi

z-dönüşümünün matematiksel ifadesi,

$$z = e^{sT}$$

kompleks frekans

$$s = \sigma + j\omega$$

$$z = e^{\sigma T} e^{j\omega T}$$

z'nin genliği

$$|z| = e^{\sigma T}$$

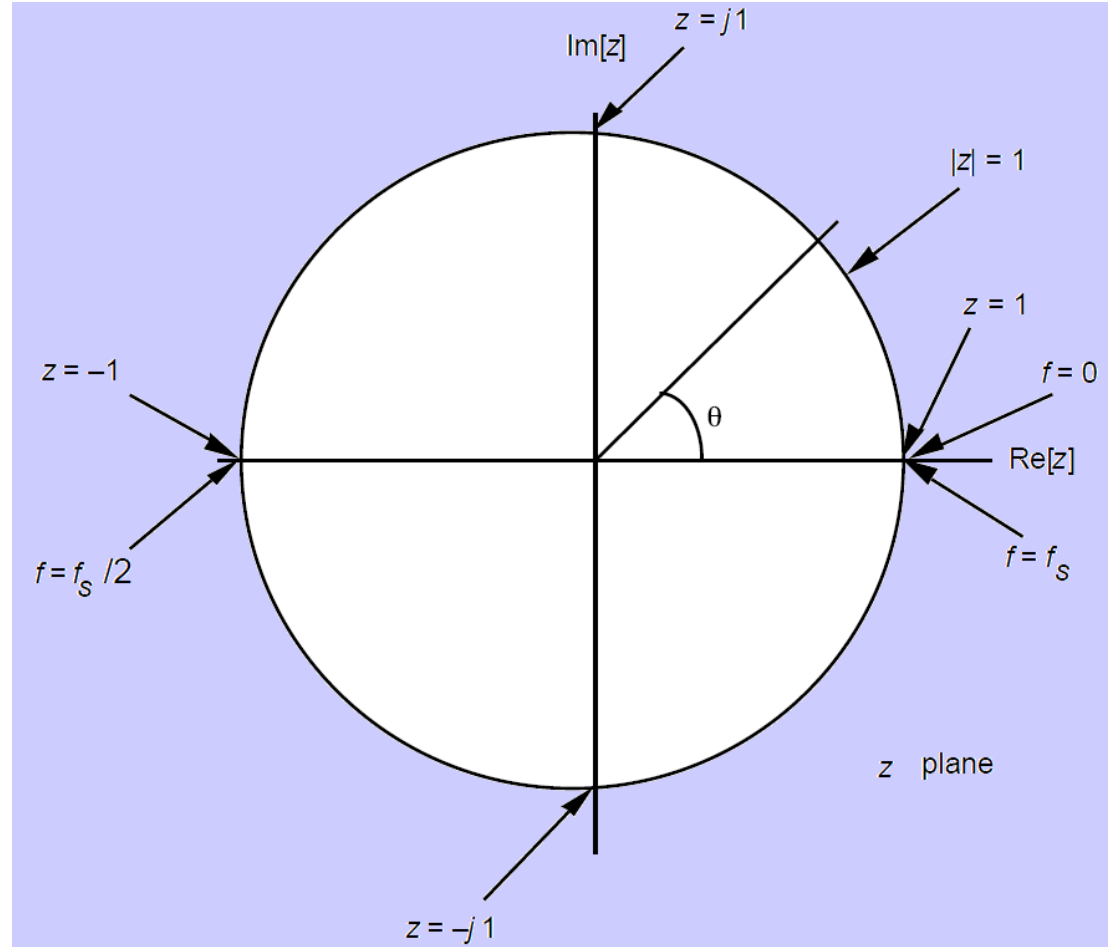
faz açısı

$$\angle z = \omega T$$

$\sigma = 0$ yani *z'nin genliği 1 alırsa*

$$z = e^{j\omega T} = \cos\omega T + j\sin\omega T$$

z-Düzlemi Sıfır-Kutup Eğrisi



Araş. Gör. Berat Doğan 11/04/2012

z-Düzlemi Sıfır-Kutup Eğrisi

Sayısal bir filtrenin kararlı olabilmesi için,

Filtrenin transfer fonksiyonunun tüm kutupları birim çember üzerinde veya içinde olmalıdır.

Şayet kutuplar birim çember üzerinde ise, tek olmalıdır.

Sıfırların filtrenin kararlılığına etkisi yoktur. Birim çember üzerinde herhangi bir yerde bulunabilirler.

z-Düzlemi Sıfır-Kutup Eğrisi

Herhangi bir ωT açısı birim çember üzerinde bir noktayı temsil eder.

$$\omega T = 2\pi \frac{f}{f_s}$$

Şayet $f = f_s$ ise $\omega T = 2\pi$ 'dir. Yani örnekleme frekansının açısal yerleşimi 2π noktasıdır.

$f = 0$ ise $\omega T = 0$ olur. Yani DC 0° 'de yerleşiktir.

Bir diğer frekans $f = f_s/2$ ise sayısal bir filtrenin işareti bozmadan işleyebileceği maksimum frekansı temsil eder. Bu nokta z düzleminde $\omega T = \pi$ 'ye karşılık gelir.

z-Düzlemi Sıfır-Kutup Eğrisi

Transfer fonksiyonu aşağıdaki gibi olan filtreyi ele alalım.

$$H(z) = \frac{1}{3} (1 + z^{-1} + z^{-2})$$

Filtrenin sıfır ve kutuplarını bulabilmek için transfer fonksiyonunu z^2/z^2 ile çarpalım.

$$H(z) = \frac{1}{3} (1 + z^{-1} + z^{-2}) \times \frac{z^2}{z^2} = \frac{1}{3} \frac{(z^2 + z + 1)}{z^2}$$

z-Düzlemi Sıfır-Kutup Eğrisi

Bu durumda filtrenin sıfırları aşağıdaki denklemin çözümü ile elde edilir.

$$z^2 + z + 1 = 0$$

Bu denklem çözülürse, denklemin sıfırları

$$z = -0.5 \pm j0.866$$

olarak bulunur.

Yani filtrenin sıfırları,

$$\omega T = \pm 2\pi/3 (\pm 120^\circ)'te$$

yerleşiktir.

Filtrenin kutupları ise,

$$z^2 = 0, \quad z = 0$$

z düzleminin orijininde yerleşiktir.

z-Düzlemi Sıfır-Kutup Eğrisi

Filtrenin 60 Hz'lik bir işareti bastırması için

$$\omega T = 2\pi \frac{f}{f_s} = 2\pi/3$$

f_s , örnekleme frekansı 180 Hz olmalıdır.

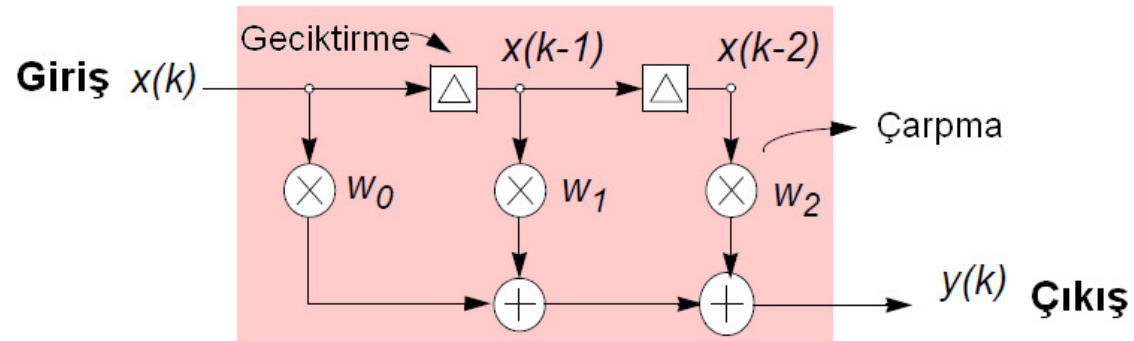
Filtrenin kutupları birim çember üzerindeki her noktaya eşit uzaklıkta oldukları için, filtrenin genlik cevabını bütün frekanslarda eşit şekilde etkileyeceklerdir.

FIR Filtreler

FIR (Sonlu Darbe Cevaplı) filtreler birim darbe cevapları sonlu sayıda terim içeren filtrelerdir.

Filtre çıkışı, sadece şimdiki giriş ve geçmiş çıkış değerlerine bağlıdır. Filtre çıkışından girişine geri besleme yoktur.

FIR Filtreler



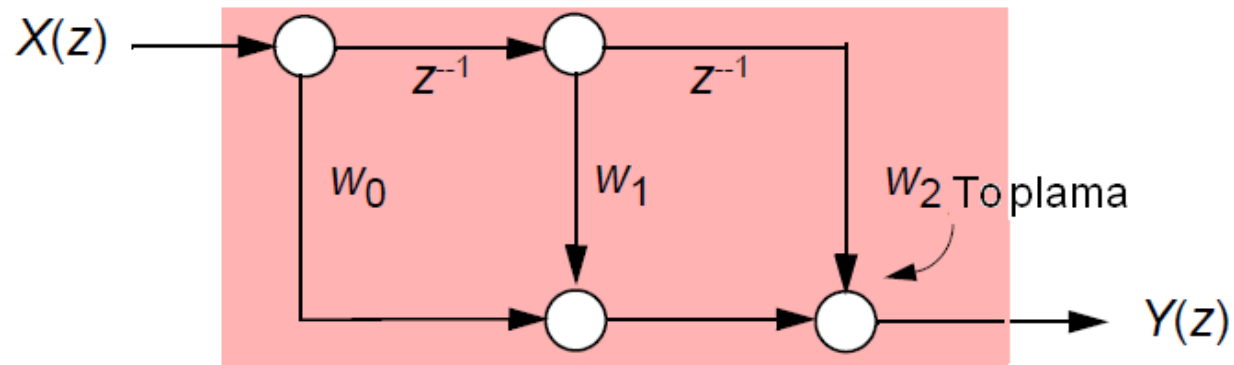
$$y(k) = \sum_{n=0}^{N-1} w_n x(k-n)$$

3 tap için,

$$y(k) = x(k)w_0 + x(k-1)w_1 + x(k-2)w_2$$

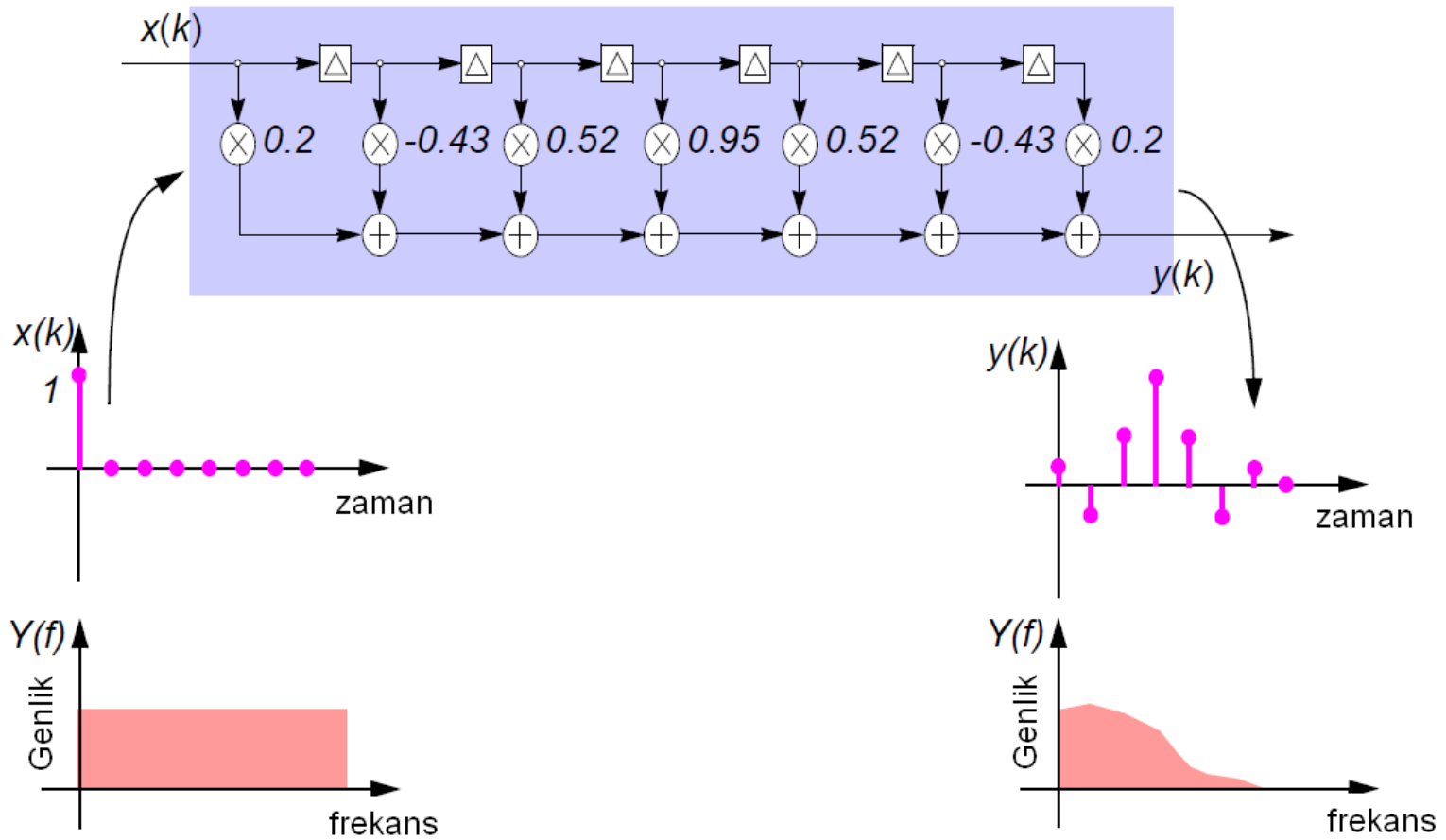
FIR Filtreler

$$Y(z) = \sum_{n=0}^{N-1} w_n X(z) z^{-n}$$

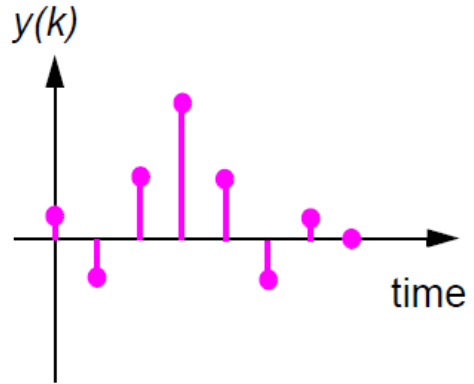


$$\Rightarrow \frac{Y(z)}{X(z)} = H(z) = w_0 + z^{-1} w_1 + z^{-2} w_2$$

FIR Filtreler

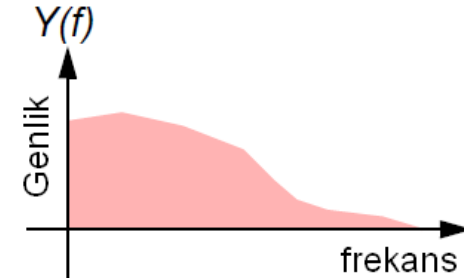


Frekans ve Faz Cevabı

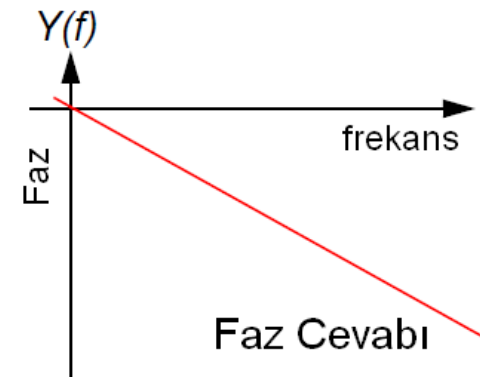


Filtrenin Impuls Cevabı

DFT
 $IDFT$

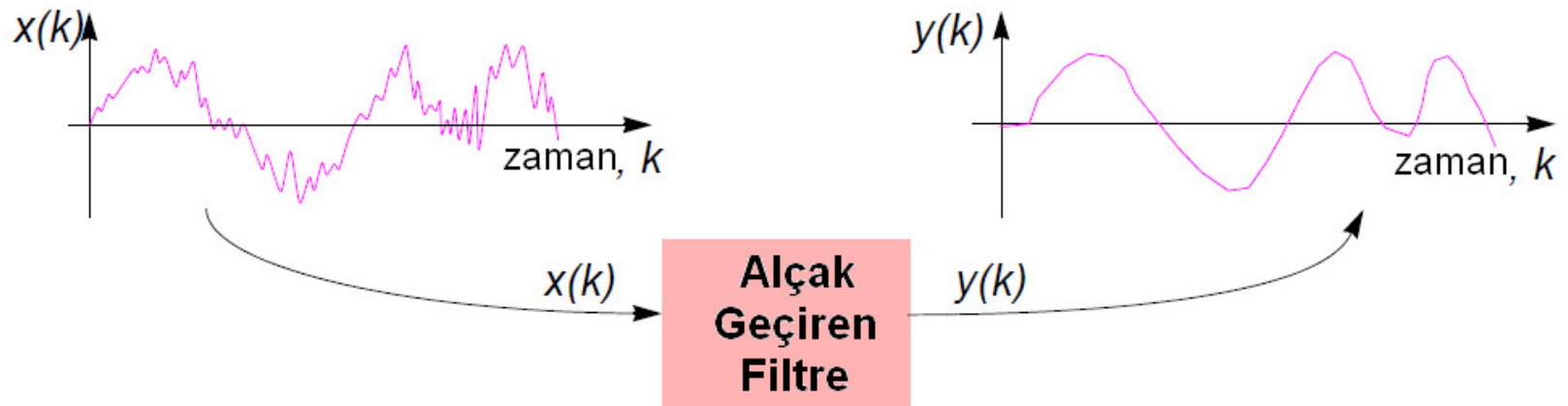
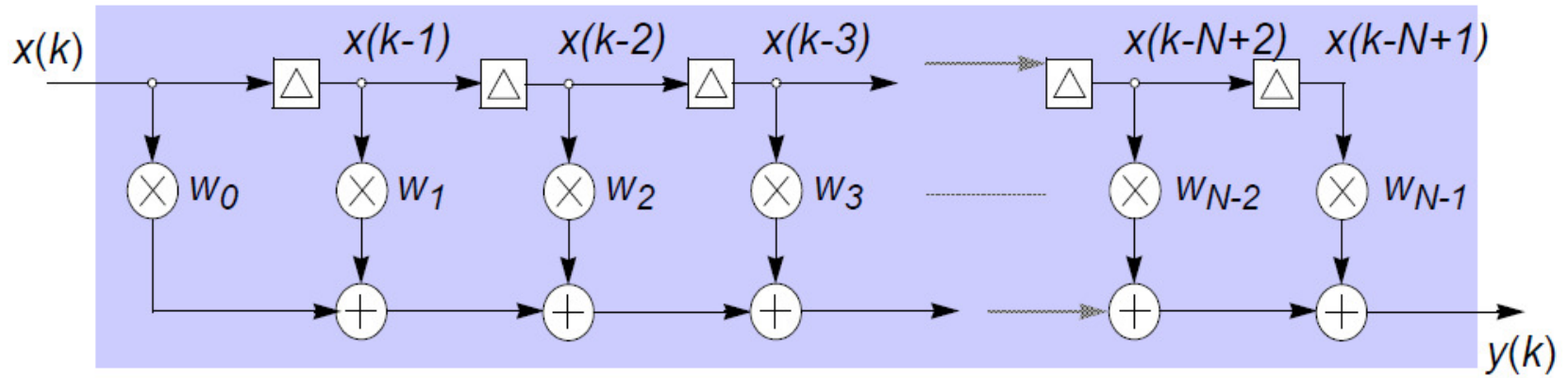


Filtrenin (Genlik)
Frekans Cevabı

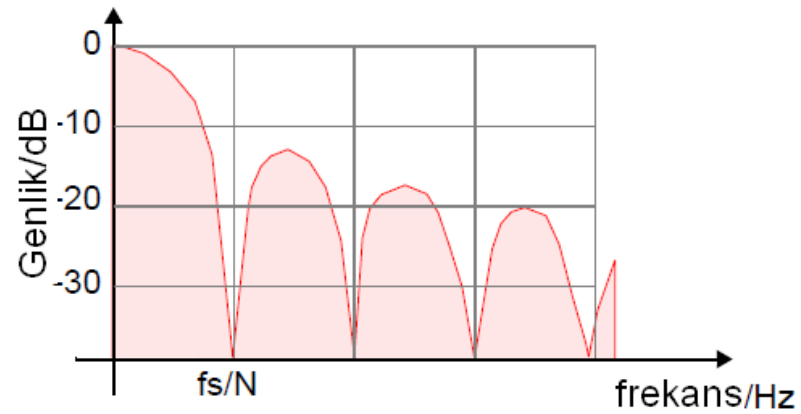
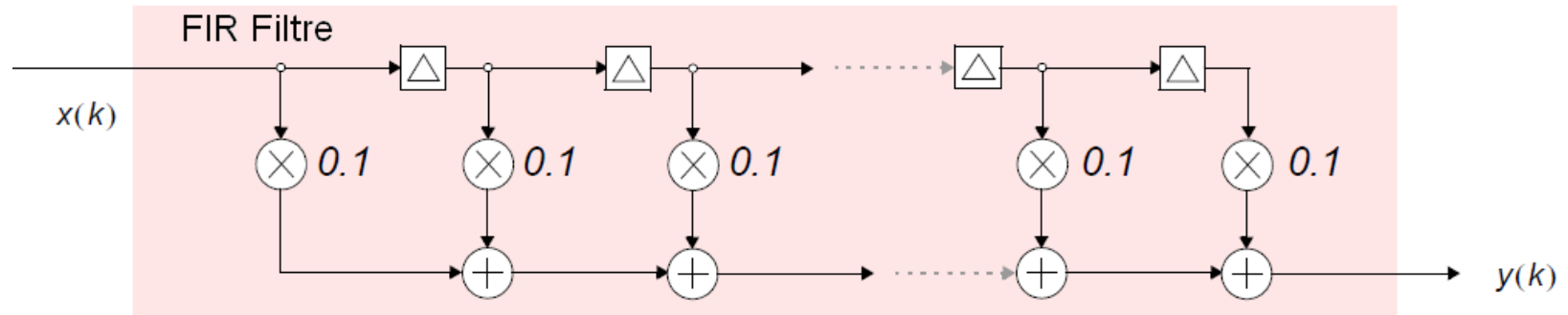


Faz Cevabı

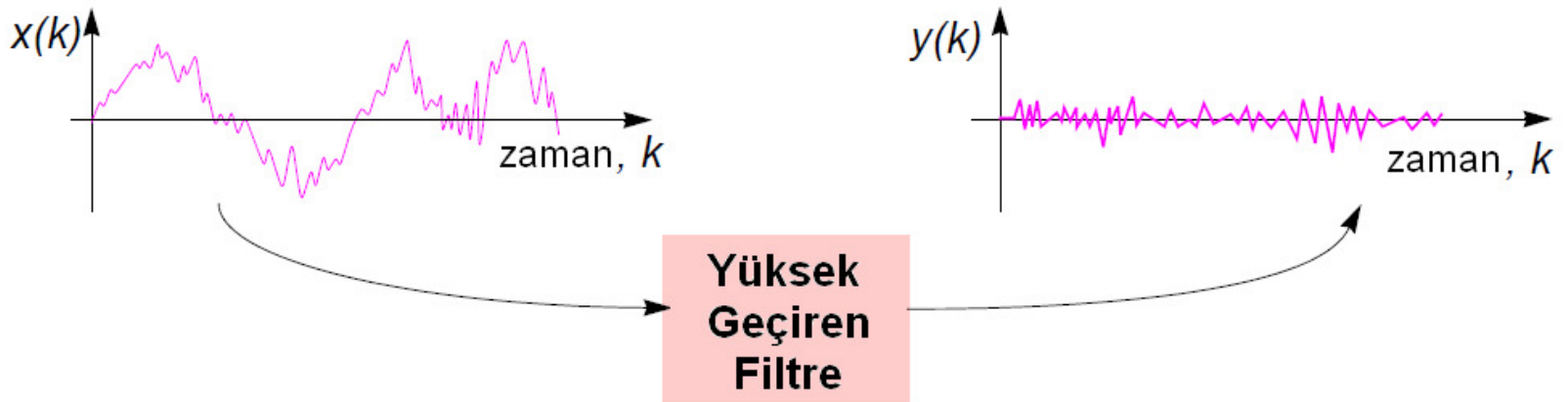
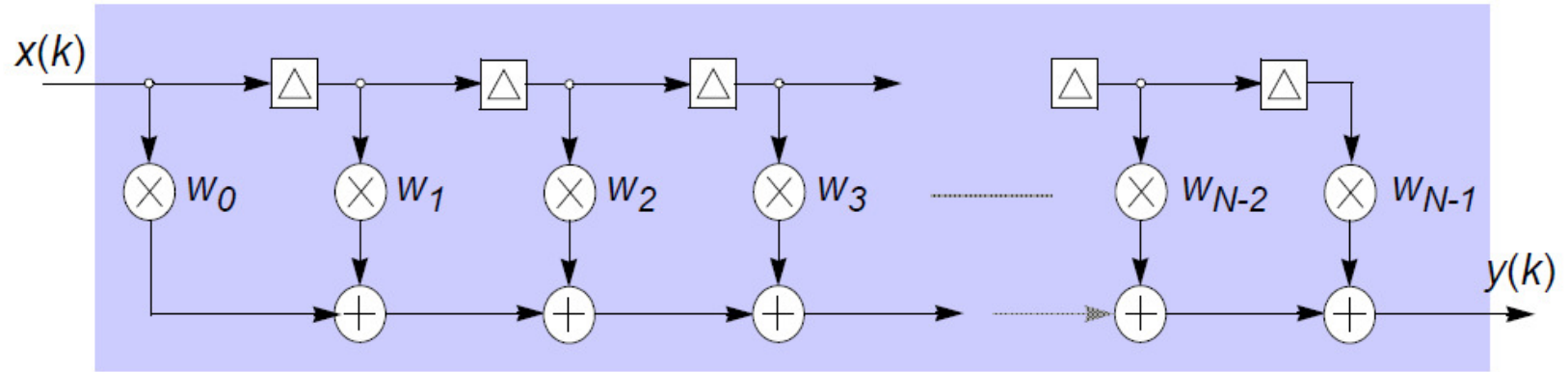
Alçak Geçiren Filtre



Alçak Geçiren Filtre

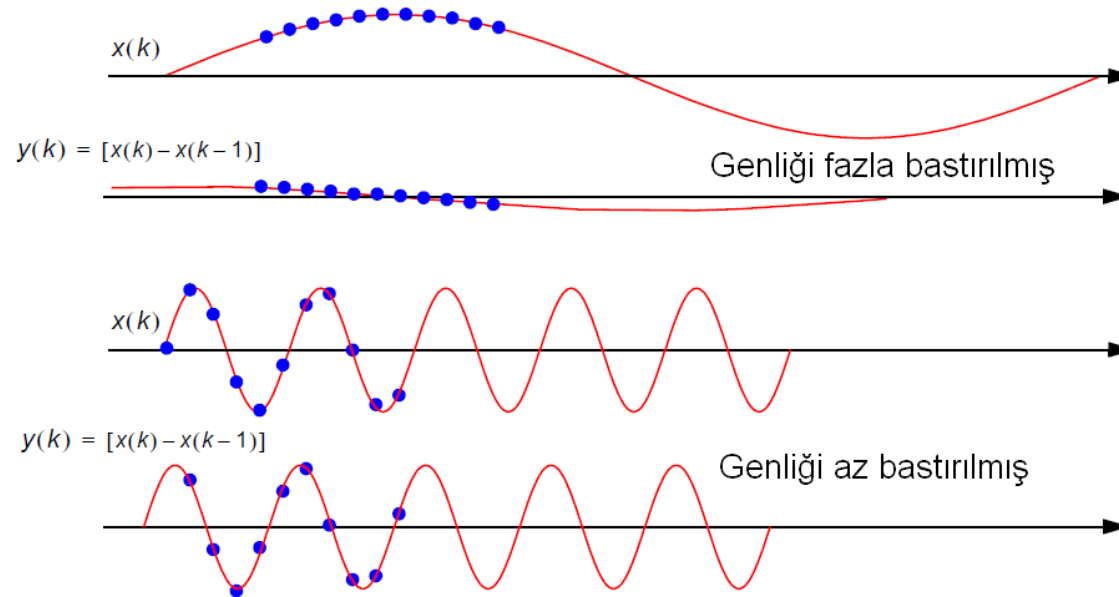
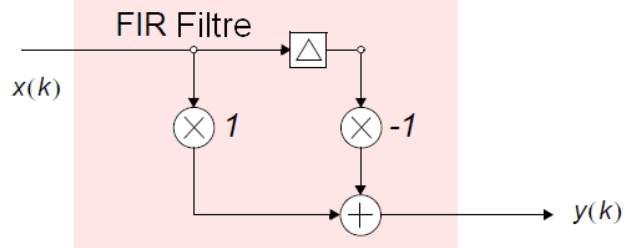


Yüksek Geçiren Filtre



Yüksek Geçiren Filtre

$$y(k) = [x(k) - x(k-1)]$$



Fourier Serileri Yöntemi ile FIR Filtre Tasarımı

Alçak geçiren filtre

$$C_n = \int_0^{v_1} Hd(v) \cos n\pi v dv = \frac{\sin n\pi v_1}{n\pi}$$

Yüksek geçiren filtre

$$C_n = \int_{v_1}^1 Hd(v) \cos n\pi v dv = -\frac{\sin n\pi v_1}{n\pi}$$

Band geçiren filtre

$$C_n = \int_{v_1}^{v_2} Hd(v) \cos n\pi v dv = \frac{\sin n\pi v_2 - \sin n\pi v_1}{n\pi}$$

Band durduran filtre

$$\begin{aligned} C_n &= \int_0^{v_1} Hd(v) \cos n\pi v dv + \int_{v_2}^1 Hd(v) \cos n\pi v dv \\ &= \frac{\sin n\pi v_1 - \sin n\pi v_2}{n\pi} \end{aligned}$$

Fourier Serileri Yöntemi ile FIR Filtre Tasarımı

v_1 ve v_2 normalize kesim frekansları,

$$v_1 = f_c / f_N$$

f_c , kesim frekansı, f_N Nyquist frekansı

$$f_N = f_s / 2$$

Fourier Serileri Yöntemi ile FIR Filtre Tasarımı

Filtre katsayıları h_n ,

$$h_0 = C_5 = 0$$

$$h_{10} = C_5 = 0$$

$$h_1 = C_4 = 0.0468$$

$$h_9 = C_4 = 0.0468$$

$$h_2 = C_3 = 0.1009$$

$$h_8 = C_3 = 0.1009$$

$$h_3 = C_2 = 0.1514$$

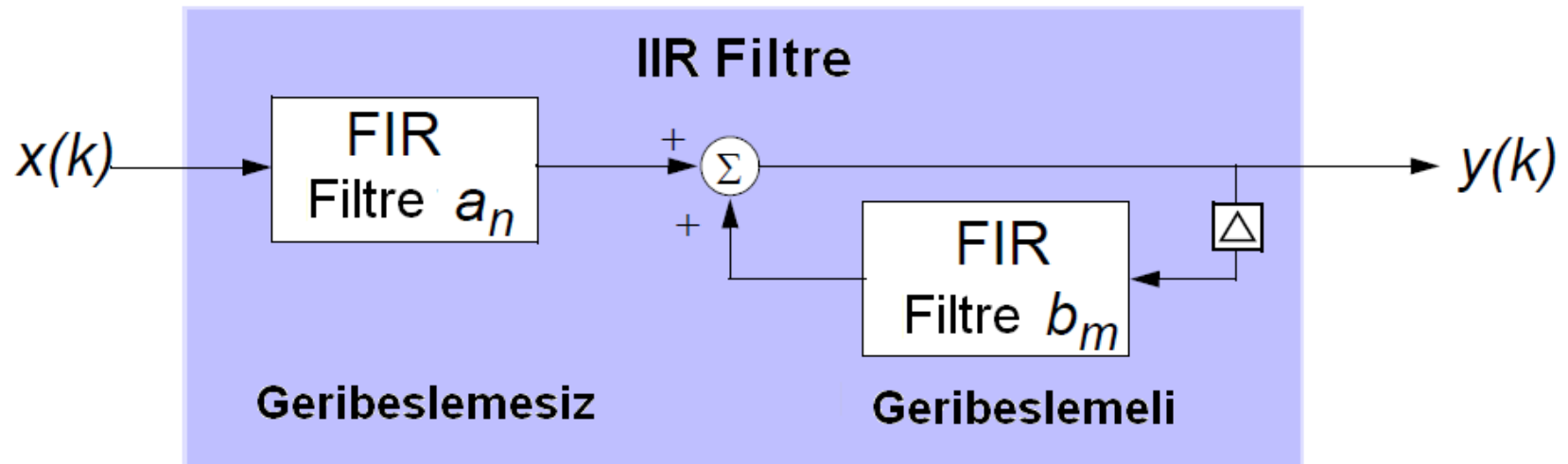
$$h_7 = C_2 = 0.1514$$

$$h_4 = C_1 = 0.1872$$

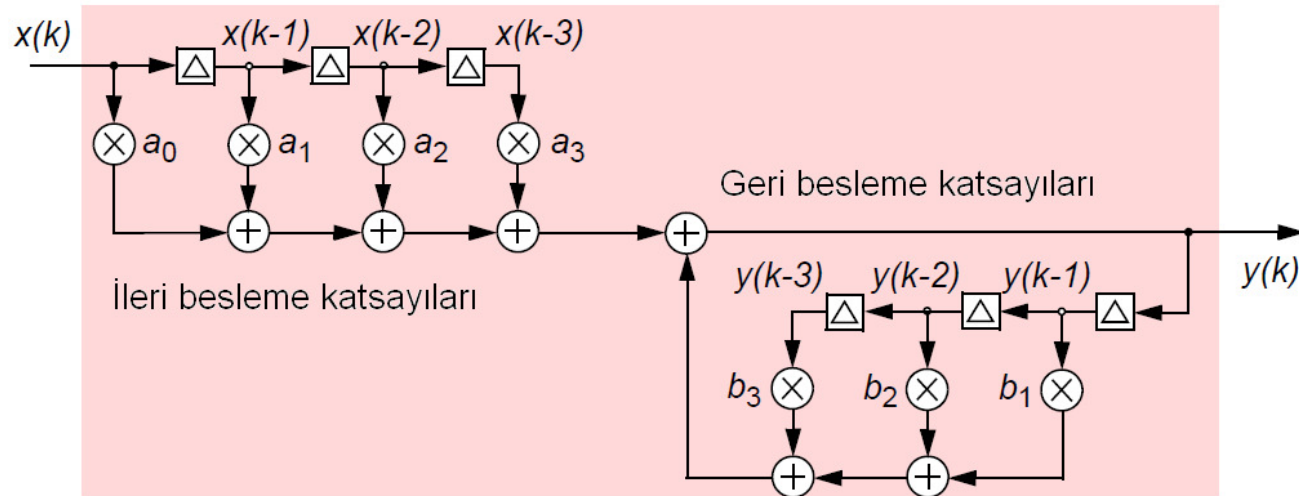
$$h_6 = C_1 = 0.1872$$

$$h_5 = C_0 = 0.2$$

IIR Filtreler



IIR Filtreler



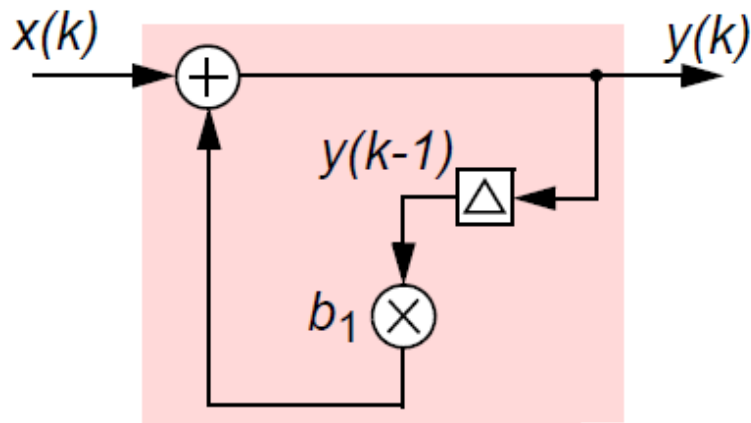
$$\begin{aligned} y(k) &= a_0x(k) + a_1x(k-1) + a_2x(k-2) + a_3x(k-3) + \\ &\quad + b_1y(k-1) + b_2y(k-2) + b_3y(k-3) \\ &= \sum_{n=0}^3 a_nx(k-n) + \sum_{m=1}^3 b_my(k-m) \end{aligned}$$

IIR Filtreler

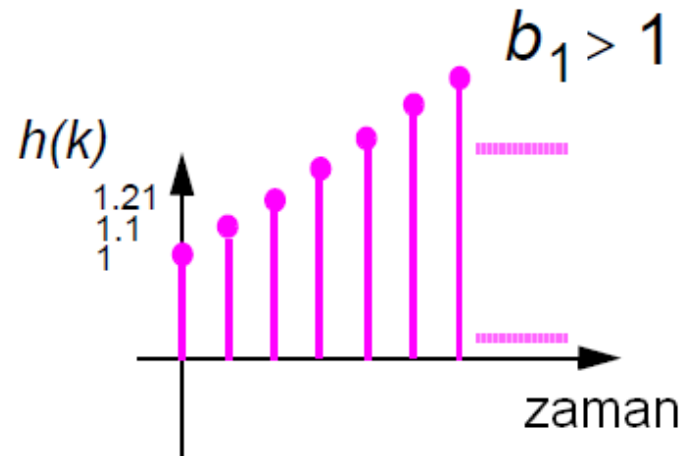
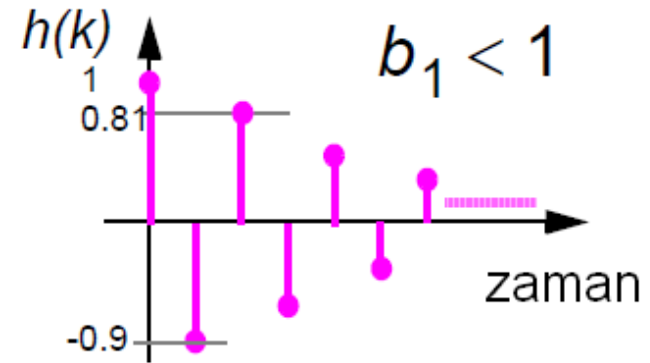
$$Y(z) = a_0X(z) + a_1X(z)z^{-1} + a_2X(z)z^{-2} + a_3X(z)z^{-3} + \dots \\ + b_1Y(z)z^{-1} + b_2Y(z)z^{-2} + b_3Y(z)z^{-3}$$

$$\frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{a_0 + a_1z^{-1} + a_2z^{-2} + a_3z^{-3}}{1 - b_1z^{-1} - b_2z^{-2} - b_3z^{-3}}$$

IIR Filtrelerin Kararlılığı



$$y(k) = x(k) + b_1 y(k-1)$$

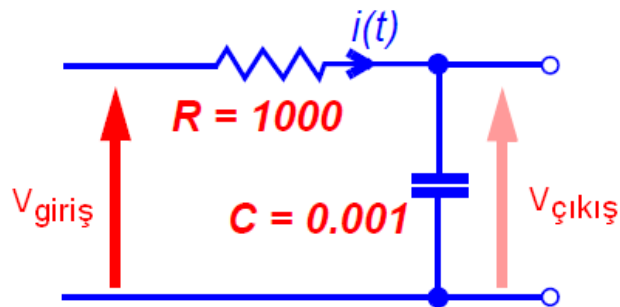


Bilinear Dönüşüm

Bilinear dönüşüm kararlı bir analog filtrenin kararlı bir sayısal prototipini gerçeklemeyi garanti eder.

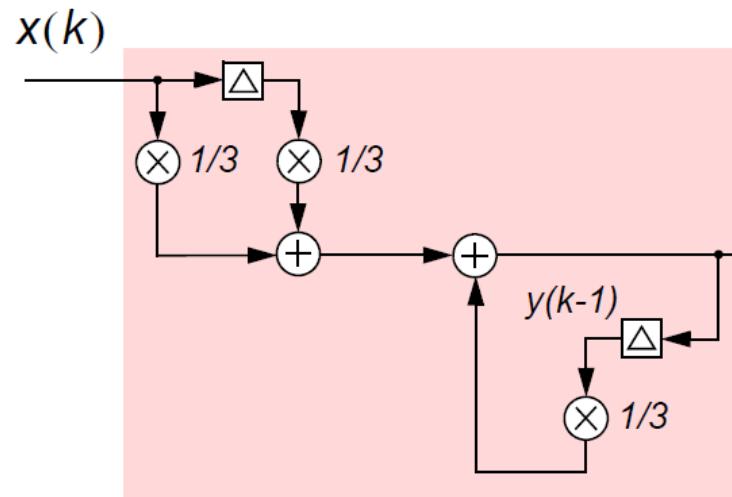
$$s = \frac{2}{T_s} \left[\frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}} \right]$$

Bilineer Dönüşüm



Birinci dereceden Butterworth alçak geçiren filtre

$$H(s) = \frac{V_{\text{out}}(s)}{V_{\text{in}}(s)} = \frac{1}{1 + sRC} = \frac{1}{s + 1}$$



$$y(k) = \frac{1}{3}x(k) + \frac{1}{3}x(k-1) + \frac{1}{3}y(k-1)$$

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = H(s) \Big|_{s \leftarrow \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}}} = \frac{1/3 + 1/3z^{-1}}{1 - 1/3z^{-1}}$$

Bilineer Dönüşüm

Aşağıdaki tablo analog alçak geçiren filtreden diğer analog filtre tiplerine geçmek için kullanılır.

Alçak geçiren süzgeçten	Dönüşüm	Süzgeç derecesi
Alçak geçirene	$s \rightarrow s/\Omega_1$	N
Yüksek geçirene	$s \rightarrow \Omega_u/s$	N
Bant geçirene	$s \rightarrow (s^2 + \Omega_u\Omega_1)/(s(\Omega_u - \Omega_1))$	2N
Bant durdurana	$s \rightarrow (s(\Omega_u - \Omega_1)/(s^2 + \Omega_u\Omega_1))$	2N

Bilineer Dönüşüm

İkinci dereceden alçak geçiren filtrenin transfer fonksiyonu,

$$H(s) = \frac{1}{s^2 + \sqrt{2}s + 1}$$

İkinci dereceden yüksek geçiren filtre için $s \rightarrow \Omega_u/s$,

$$H(s) = \frac{1}{\left(\frac{\Omega_u}{s}\right)^2 + 1.414\left(\frac{\Omega_u}{s}\right) + 1} = \frac{s^2}{\Omega_u^2 + 1.414\Omega_u s + s^2}$$

Bilinear Dönüşüm

Bilinear dönüşüm ile $H(z)$ hesaplanırsa,

$$s \rightarrow \frac{2}{T} \frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}}$$

$$H(z) = \frac{\left(\frac{2}{T} \frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}} \right)^2}{\Omega_u^2 + \sqrt{2}\Omega_u \left(\frac{2}{T} \frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}} \right) + \left(\frac{2}{T} \frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}} \right)^2}$$

$$\begin{aligned} H(z) &= \frac{4(1 - z^{-1})^2}{T^2\Omega_u^2(1 + z^{-1})^2 + 2\sqrt{2}T\Omega_u(1 - z^{-1})(1 + z^{-1}) + 4(1 - z^{-1})^2} \\ &= \frac{4 - 8z^{-1} + 4z^{-2}}{(T^2\Omega_u^2 + 2\sqrt{2}T\Omega_u + 4) + (2T^2\Omega_u^2 - 8)z^{-1} + (T^2\Omega_u^2 - 2\sqrt{2}T\Omega_u + 4)z^{-2}} \end{aligned}$$

Bilineer Dönüşüm

$$H(z) = \frac{\frac{4}{(T^2\Omega_u^2 + 2T\sqrt{2}\Omega_u + 4)} + \frac{-8}{(T^2\Omega_u^2 + 2\sqrt{2}T\Omega_u + 4)}z^{-1} + \frac{4}{(T^2\Omega_u^2 + 2\sqrt{2}T\Omega_u + 4)}z^{-2}}{1 + \frac{(2T^2\Omega_u^2 - 8)}{(T^2\Omega_u^2 + 2\sqrt{2}T\Omega_u + 4)}z^{-1} + \frac{(T^2\Omega_u^2 - 2\sqrt{2}T\Omega_u + 4)}{(T^2\Omega_u^2 + 2\sqrt{2}T\Omega_u + 4)}z^{-2}}$$

$$a_0 = \frac{4}{(T^2\Omega_u^2 + 2\sqrt{2}T\Omega_u + 4)}$$

$$a_1 = \frac{-8}{(T^2\Omega_u^2 + 2\sqrt{2}T\Omega_u + 4)}$$

$$a_2 = \frac{4}{(T^2\Omega_u^2 + 2\sqrt{2}T\Omega_u + 4)}$$

$$b_1 = \frac{(2T^2\Omega_u^2 - 8)}{(T^2\Omega_u^2 + 2\sqrt{2}T\Omega_u + 4)}$$

$$b_2 = \frac{(T^2\Omega_u^2 - 2\sqrt{2}T\Omega_u + 4)}{(T^2\Omega_u^2 + 2\sqrt{2}T\Omega_u + 4)}$$

$$H(z) = \frac{a_0 + a_1z^{-1} + a_2z^{-2}}{1 + b_1z^{-1} + b_2z^{-2}}$$

Bilineer Dönüşüm

Sayısal üst kesim frekansı 50 Hz, örnekleme frekansı 400 Hz olan filtrenin analog üst kesim frekansı,

$$\Omega_u = \frac{2}{T} \tan\left(\frac{\omega_D T}{2}\right) = \frac{2}{0.0025} \tan\left(\frac{2\pi 50 \cdot 0.0025}{2}\right) = 331.370 \text{ Rad / sn}$$

olarak bulunur. Böylece filtrenin katsayıları aşağıdaki gibi olur.

$$a_0=0.569 \quad b_1=-0.944$$

$$a_1=-1.138 \quad b_2=0.333$$

$$a_2=0.569$$

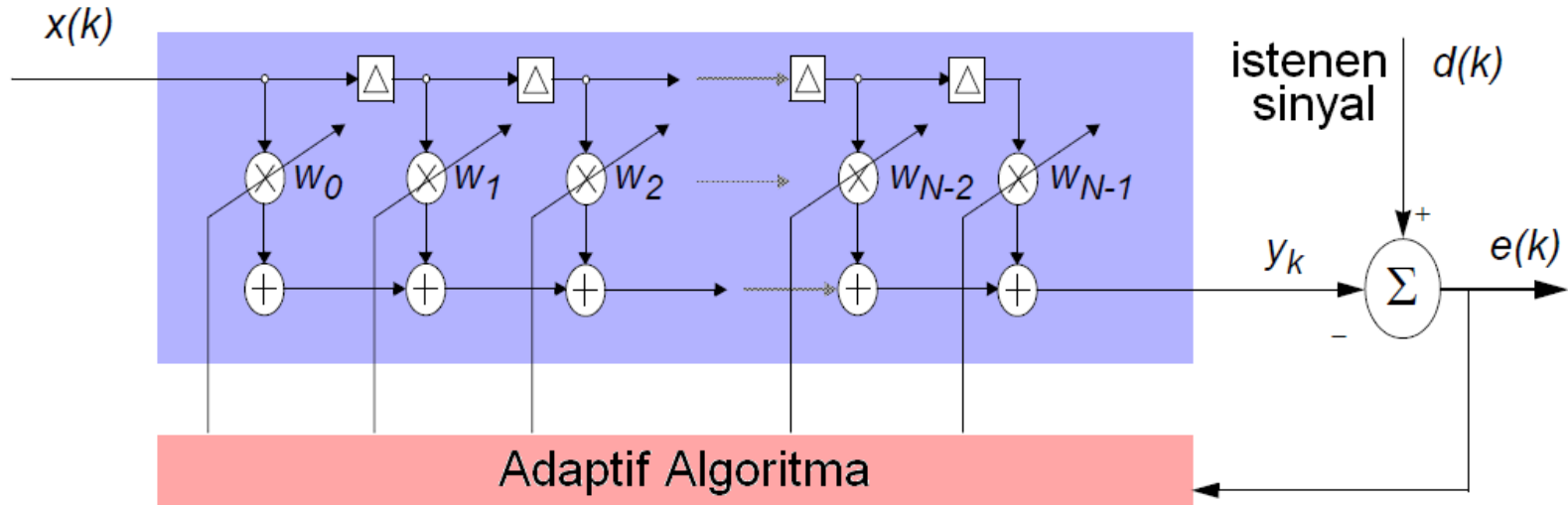
Bilineer Dönüşüm

Tasarlanan filtrenin transfer fonksiyonu,

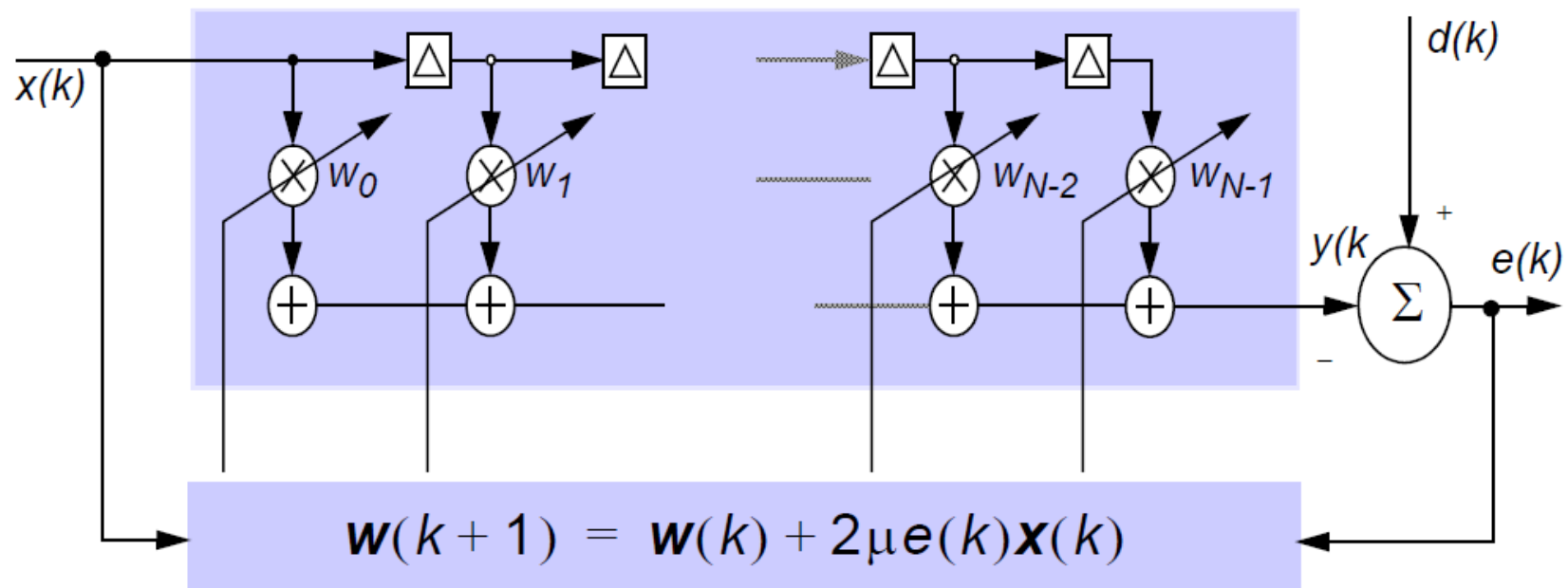
$$H(z) = \frac{0.569 - 1.138z^{-1} + 0.569z^{-2}}{1 - 0.944z^{-1} + 0.333z^{-2}} = \frac{Y(z)}{X(z)}$$

!!! Bilineer dönüşümle sayısal IIR filtre tasarımı yaparken, band geçiren ve band durduran filtre için **birinci dereceden analog alçak geçiren filtrenin transfer fonksiyonu** kullanılır.

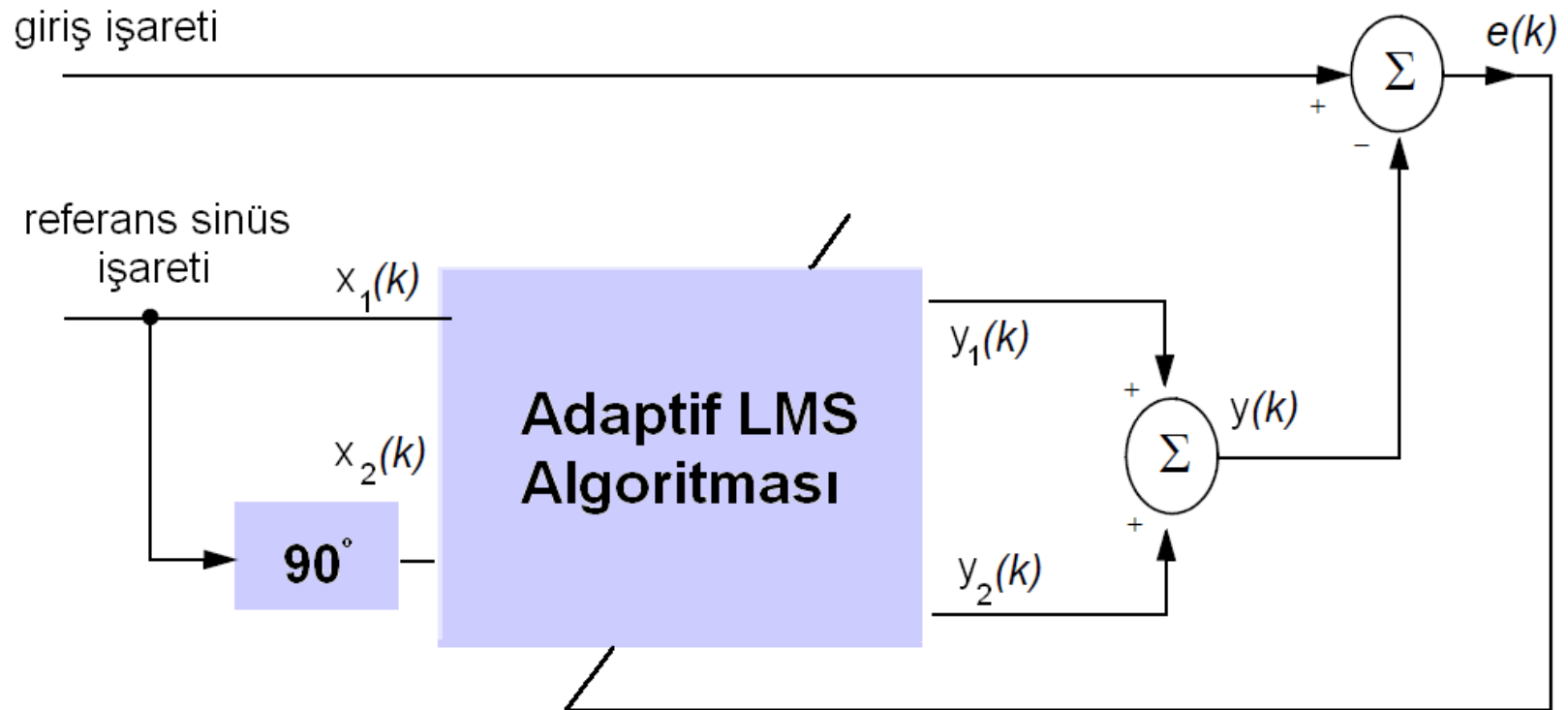
Adaptif Filtreler



Adaptif LMS Algoritması



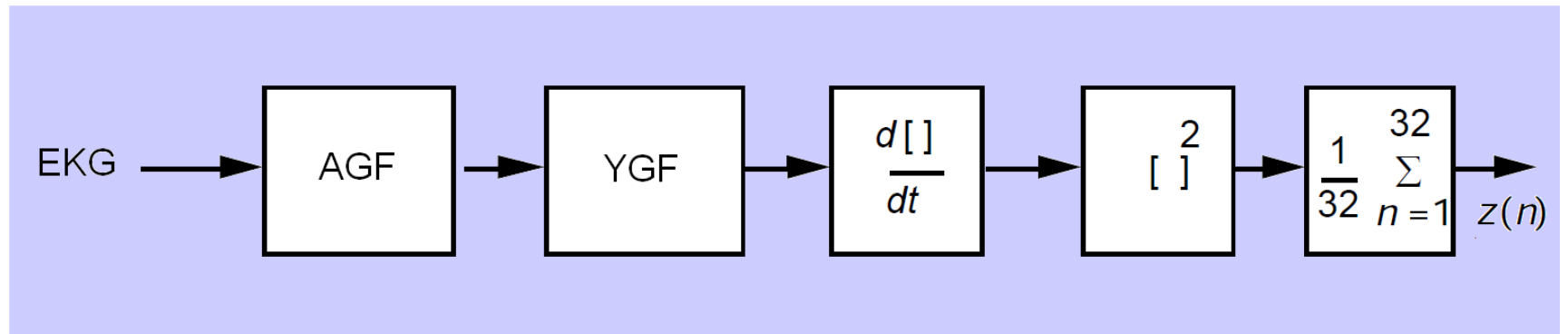
Adaptif Güç Hattı Filtresi



BÖLÜM 3

PAN-TOMPKİNS ALGORİTMASI

Pan-Tompkins Algoritması



Pan-Tompkins Algoritması (AGF)

Alçak geçiren filtrenin transfer fonksiyonu,

$$H(z) = \frac{(1 - z^{-6})^2}{(1 - z^{-1})^2}$$

Fark denklemi,

$$y(nT) = 2y(nT - T) - y(nT - 2T) + x(nT) - 2x(nT - 6T) + x(nT - 12T)$$

Filtrenin kesim frekansı 11 Hz, 200 Hz örnekleme frekansı için gecikme 25 ms, 0.3 f/f_s 'te 35 dB zayıflatma (60 Hz)

Pan-Tompkins Algoritması (YGF)

Yüksek geçiren filtre, bir tüm geçiren filtreden transfer fonksiyonu aşağıdaki gibi verilen bir alçak geçiren filtrenin gecikme ile çıkarılmasıyla elde edilir.

$$H_{lp}(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{1 - z^{-32}}{1 - z^{-1}}$$

Fark denklemi,

$$y(nT) = y(nT - T) + x(nT) - x(nT - 32T)$$

Yüksek geçiren filtrenin transfer fonksiyonu ve fark denklemi,

$$H_{hp}(z) = \frac{P(z)}{X(z)} = z^{-16} - \frac{H_{lp}(z)}{32}$$

$$p(nT) = x(nT - 16T) - \frac{1}{32} [y(nT - T) + x(nT) - x(nT - 32T)]$$

Pan-Tompkins Algoritması (Türev Alıcı)

Türev alıcının transfer fonksiyonu,

$$H(z) = 0.1 (2 + z^{-1} - z^{-3} - 2z^{-4})$$

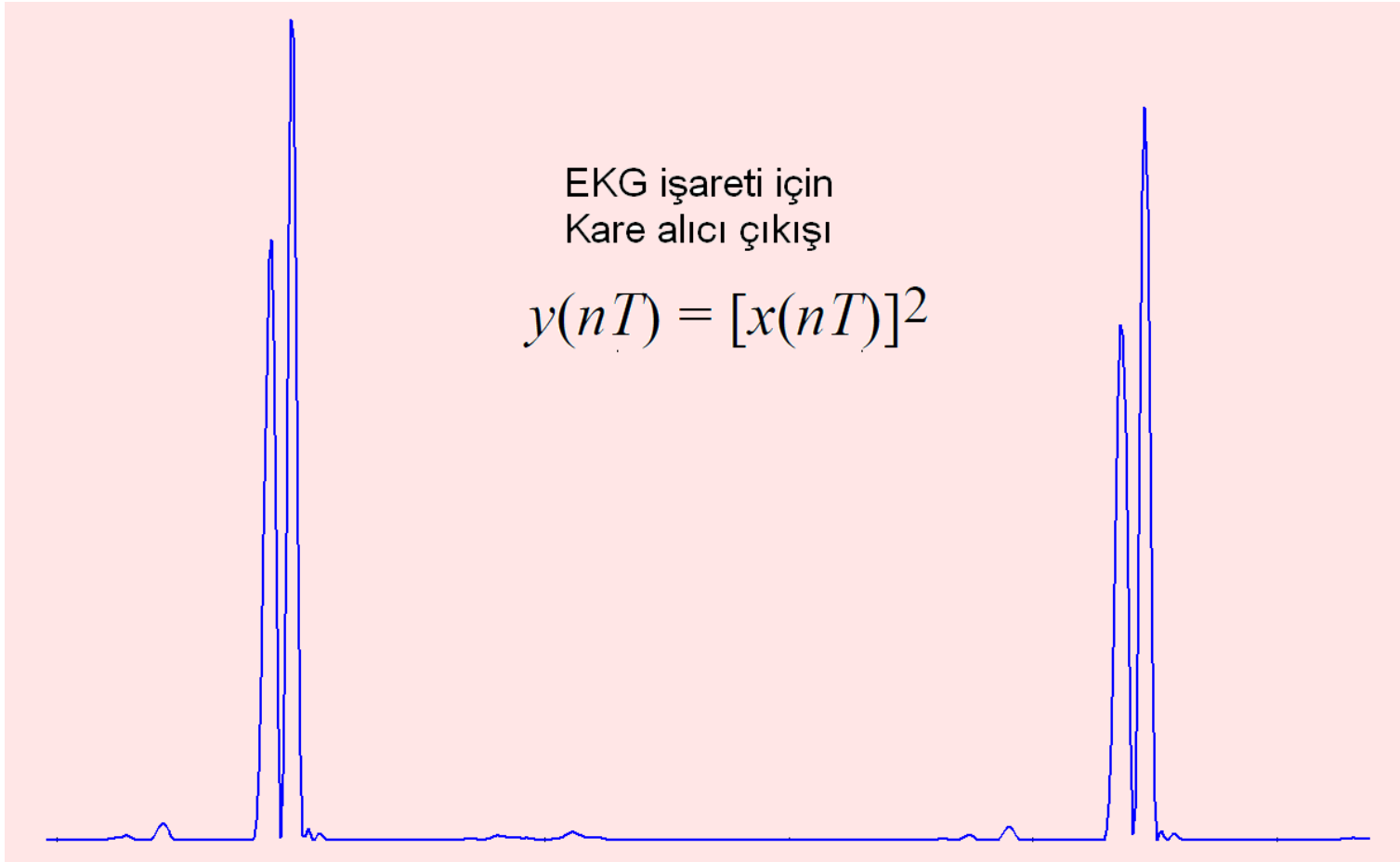
Fark denklemi,

$$y(nT) = \frac{2x(nT) + x(nT - T) - x(nT - 3T) - 2x(nT - 4T)}{8}$$

Pan-Tompkins Algoritması (Türev Alıcı)



Pan-Tompkins Algoritması (Kare alıcı)



Pan-Tompkins Algoritması (Kayan Pencere İntegratör)

Kayan pencere integratörün fark denklemi,

$$y(nT) = \frac{1}{N} [x(nT - (N - 1)T) + x(nT - (N - 2)T) + \dots + x(nT)]$$

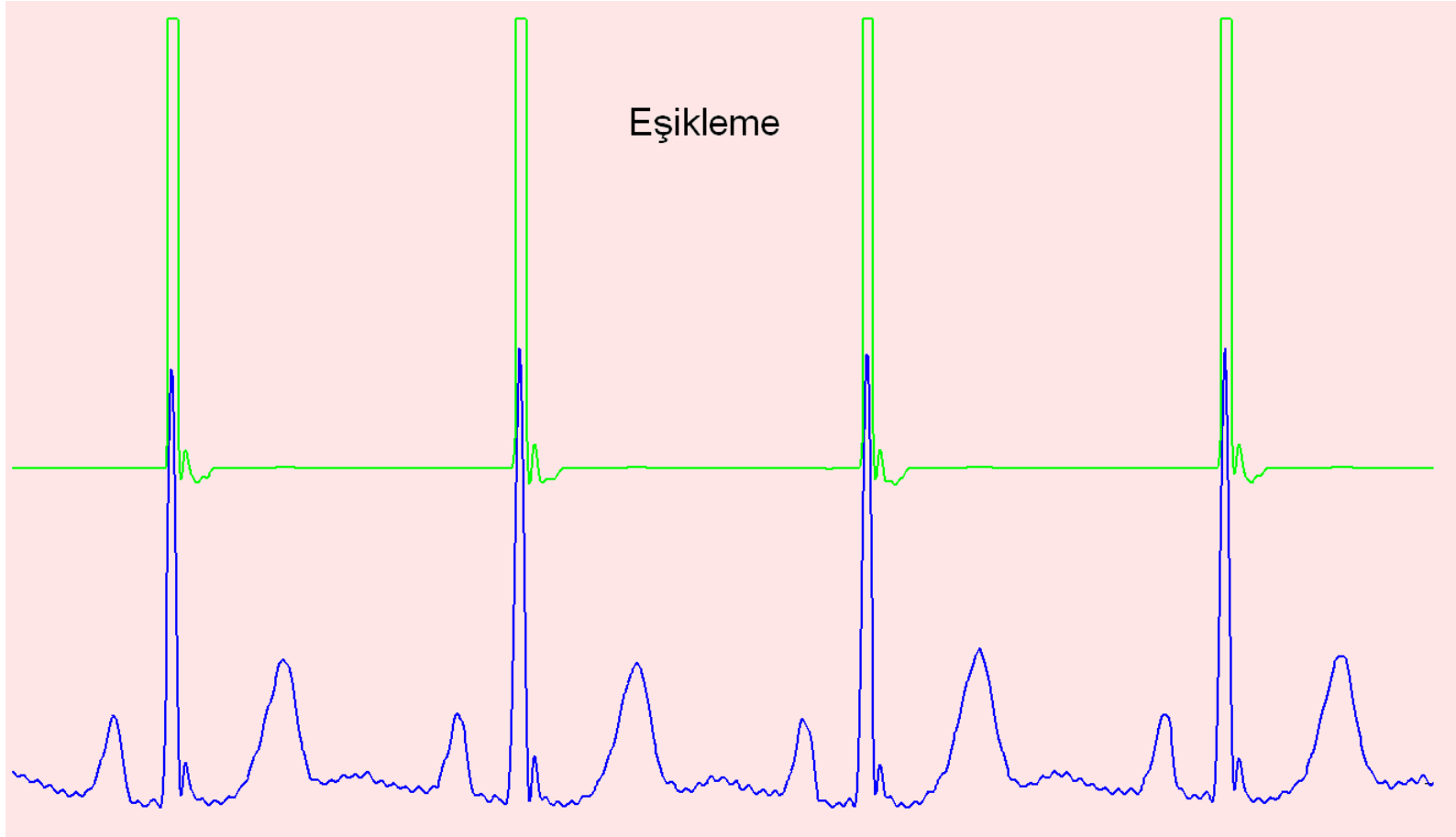
N pencere boyutudur ve olabilecek maksimum QRS genişliği göz önünde bulundurularak deneysel olarak bulunur. Pan ve Tompkins 200 Hz örnekleme frekansı için 30 örnek uzunluğunda bir pencere kullanmışlardır.

Pan-Tompkins Algoritması (Kayan Pencere İntegratör)



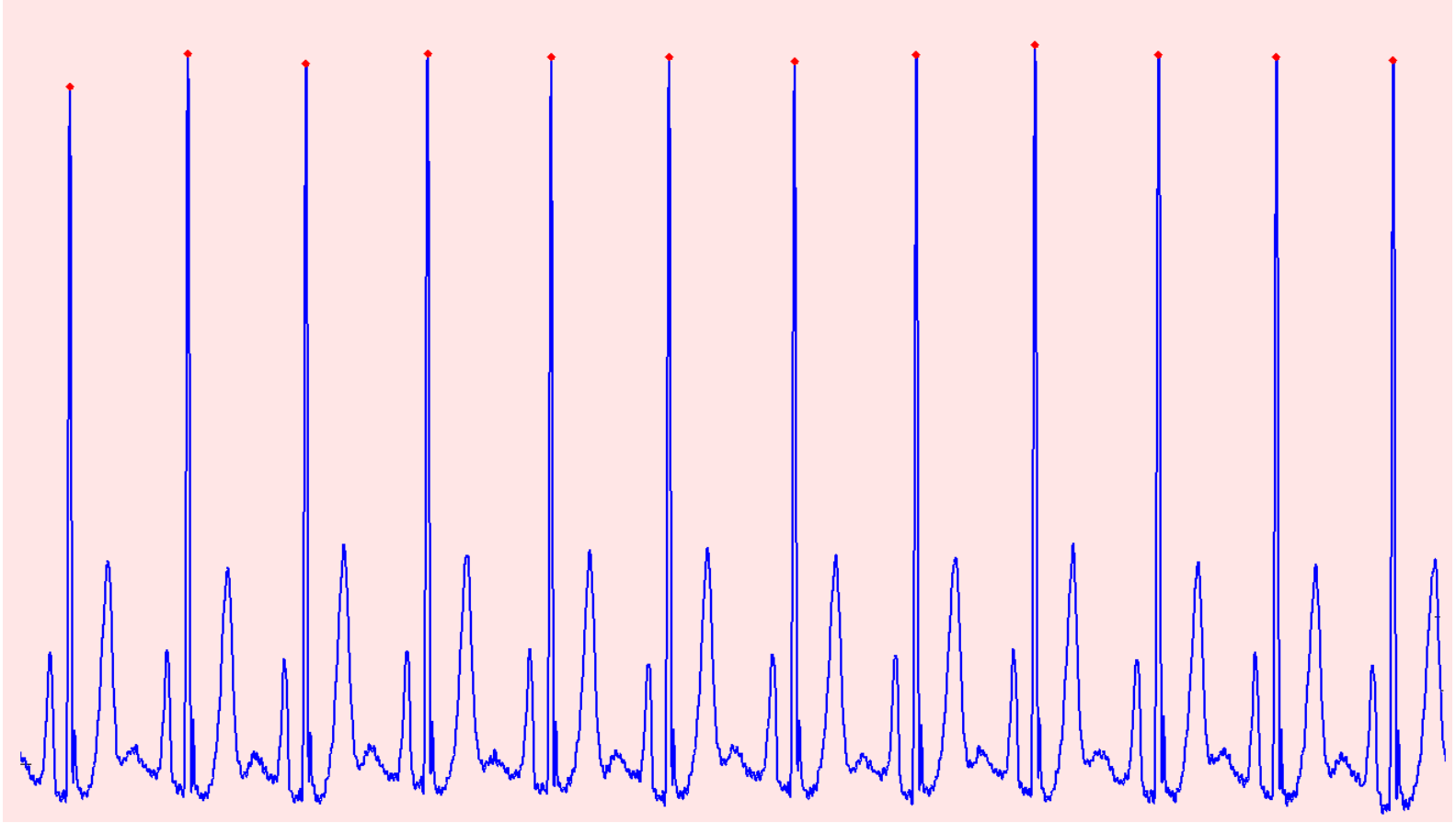
Araş. Gör. Berat Doğan 11/04/2012

Eşikleme



Araş. Gör. Berat Doğan 11/04/2012

Sonuç



Araş. Gör. Berat Doğan 11/04/2012

ÖDEV 😞

Araş. Gör. Berat Doğan 11/04/2012

ÖDEV 1

Fourier serileri yöntemiyle, üst kesim frekansı 72 Hz, alt kesim frekansı 44 Hz olan 23 tap FIR band durduran filtreyi tasarlayınız. Tasarladığınız filtrenin frekans cevabını çizdiriniz. Derste size verilecek EKG kaydını tasarladığınız filtre ile süzünüz ve 60 Hz şebeke gürültüsünün bastırıldığını işaretin filtreleme öncesinde ve sonrasında frekans spektrumunu çizerek gösteriniz. (Size verilecek EKG işareti 360 Hz ile örneklenmiştir.)

ÖDEV 2

Bilineer transform yöntemiyle üst kesim frekansı 61 Hz, alt kesim frekansı 59 Hz olan IIR band durduran filtreyi tasarlayınız. Tasarladığınız filtrenin frekans cevabını çizdiriniz. Derste size verilecek EKG kaydını tasarladığınız filtre ile süzünüz ve 60 Hz şebeke gürültüsünün bastırıldığını işaretin filtreleme öncesinde ve sonrasında frekans spektrumunu çizerek gösteriniz. (Size verilecek EKG işareti 360 Hz ile örneklenmiştir.)

ÖDEV 3

Pan-Tompkins algoritması yardımıyla derste verilecek EKG kaydının R tepelerinin yerini tespit ederek işaret üstünde çizdiriniz ve bir dosyaya yazdırınız. Size verilecek EKG kaydını filtrelemek için Pan-Tompkins algoritmasının ilk iki basamağı olan AGF ve YGF işlemleri yerine, işareti derste anlatılan adaptif güç hattı filtresini gerçekleyerek süzünüz. Daha sonra türev alıcıdan itibaren Pan-Tompkins algoritmasını kullanabilirsiniz.