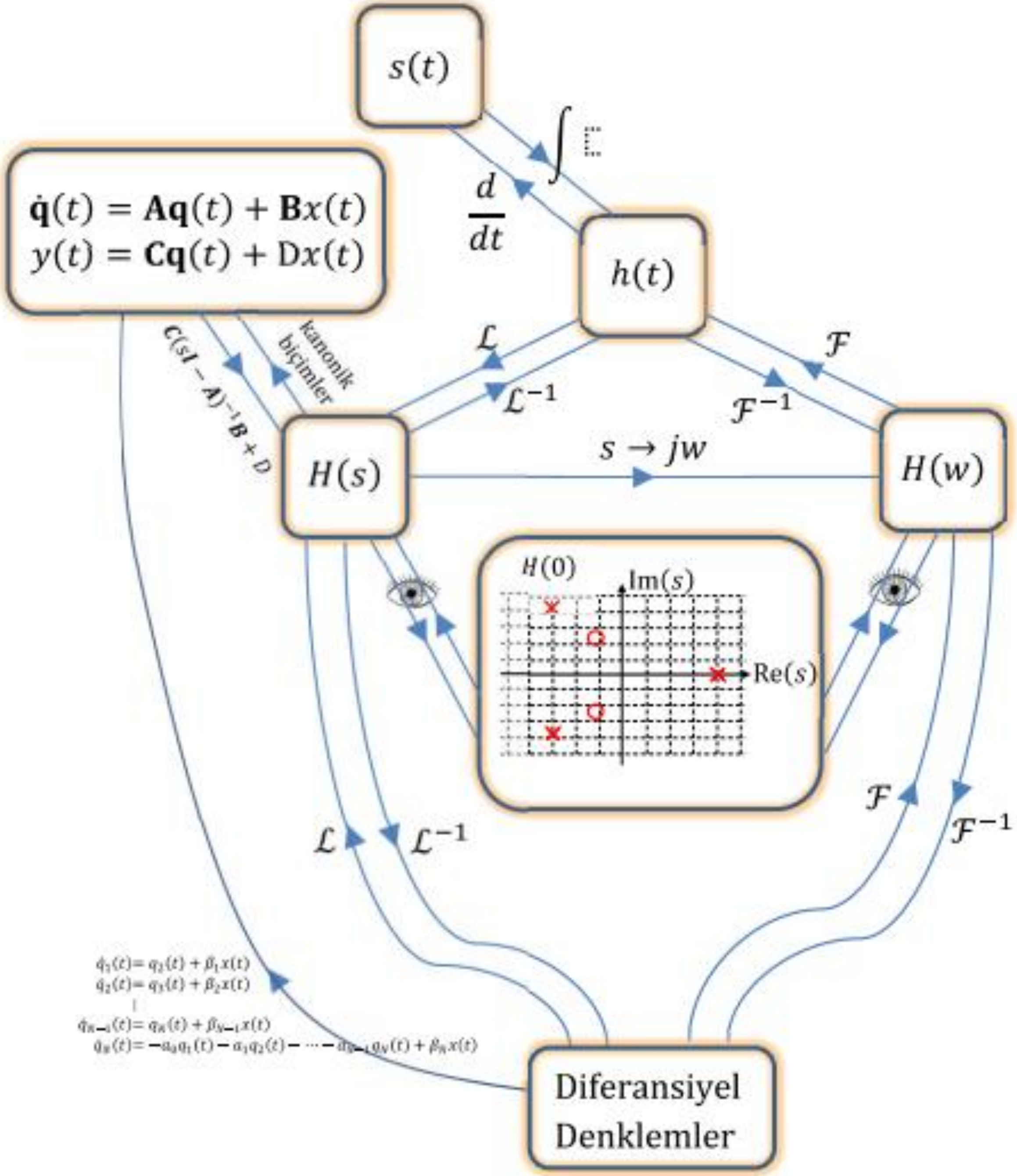
İşaret İşleme
Giriş-H2CD1

Dr. Meriç Çetin

versiyon27921

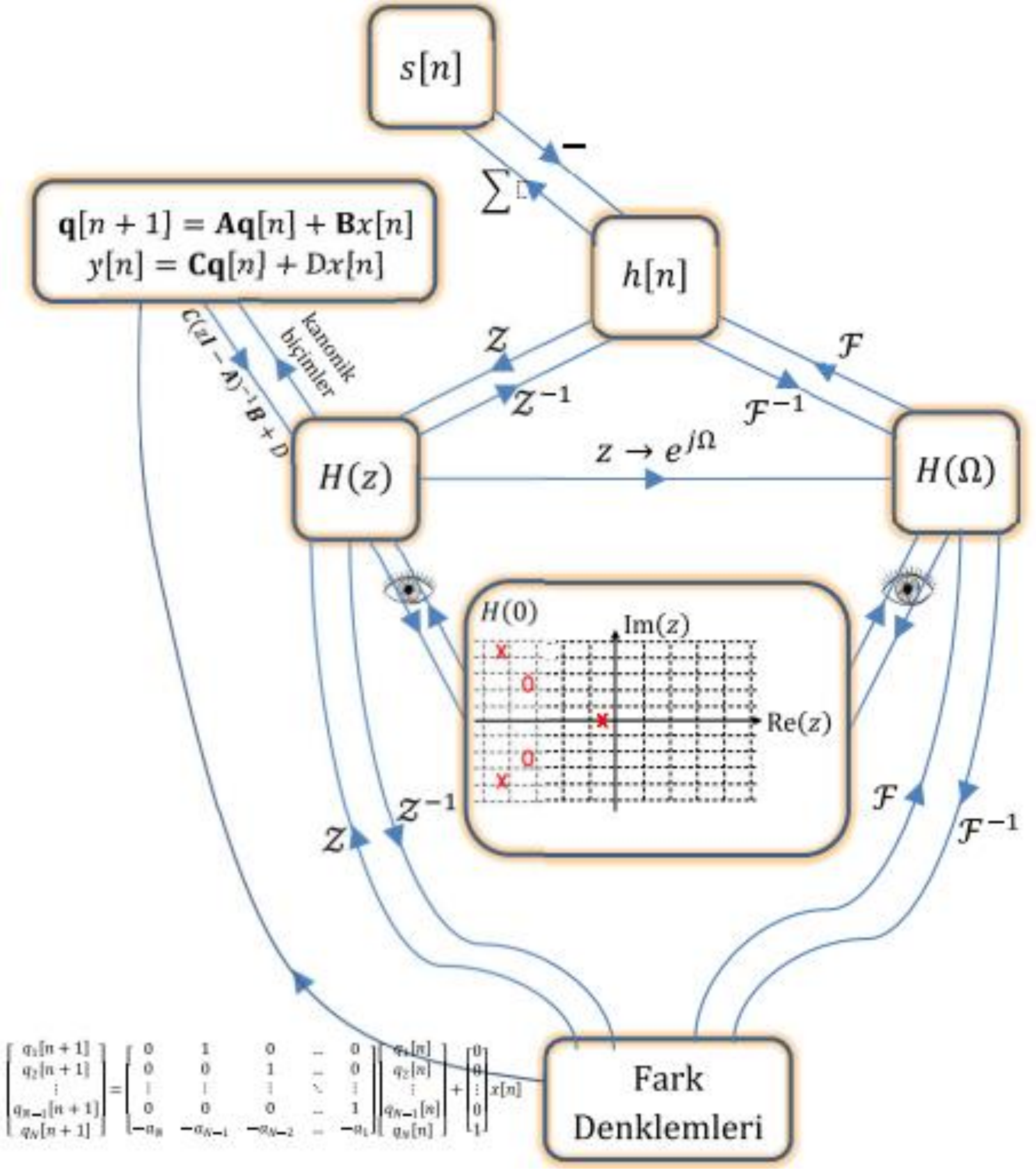


Sinyaller ve Sistemler

Ders Notları

Prof. Dr. Serdar İplikçi
Pamukkale Üniversitesi

Ayrık-zamanlı sistemlerde giriş-çıkış ilişkileri



Sinyaller ve Sistemler

Ders Notları

Prof. Dr. Serdar İplikçi
Pamukkale Üniversitesi

- **Sinyal Nedir?**

•Sinyal Nedir?

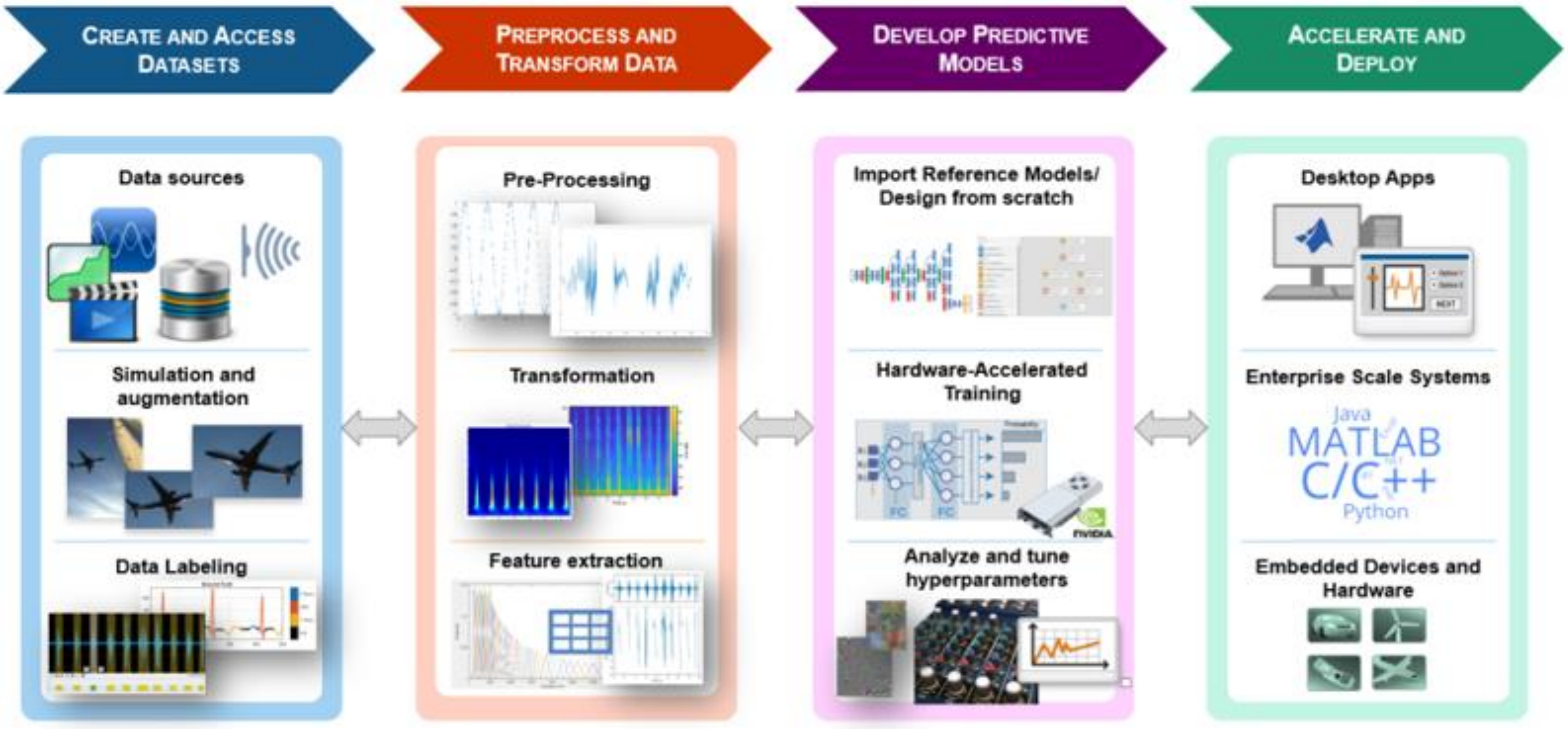
- Sinyal, bilgi aktarmanın bir yoludur.

- Teknik olarak;
- Bir **sinyal**, fiziksel bir büyüklüğü veya değişkeni temsil eden bir fonksiyon olup, bir olgunun doğasına veya davranışına ilişkin bilgiler içerir.

Sinyalleri kullandığımız alanlardan birkaçı..

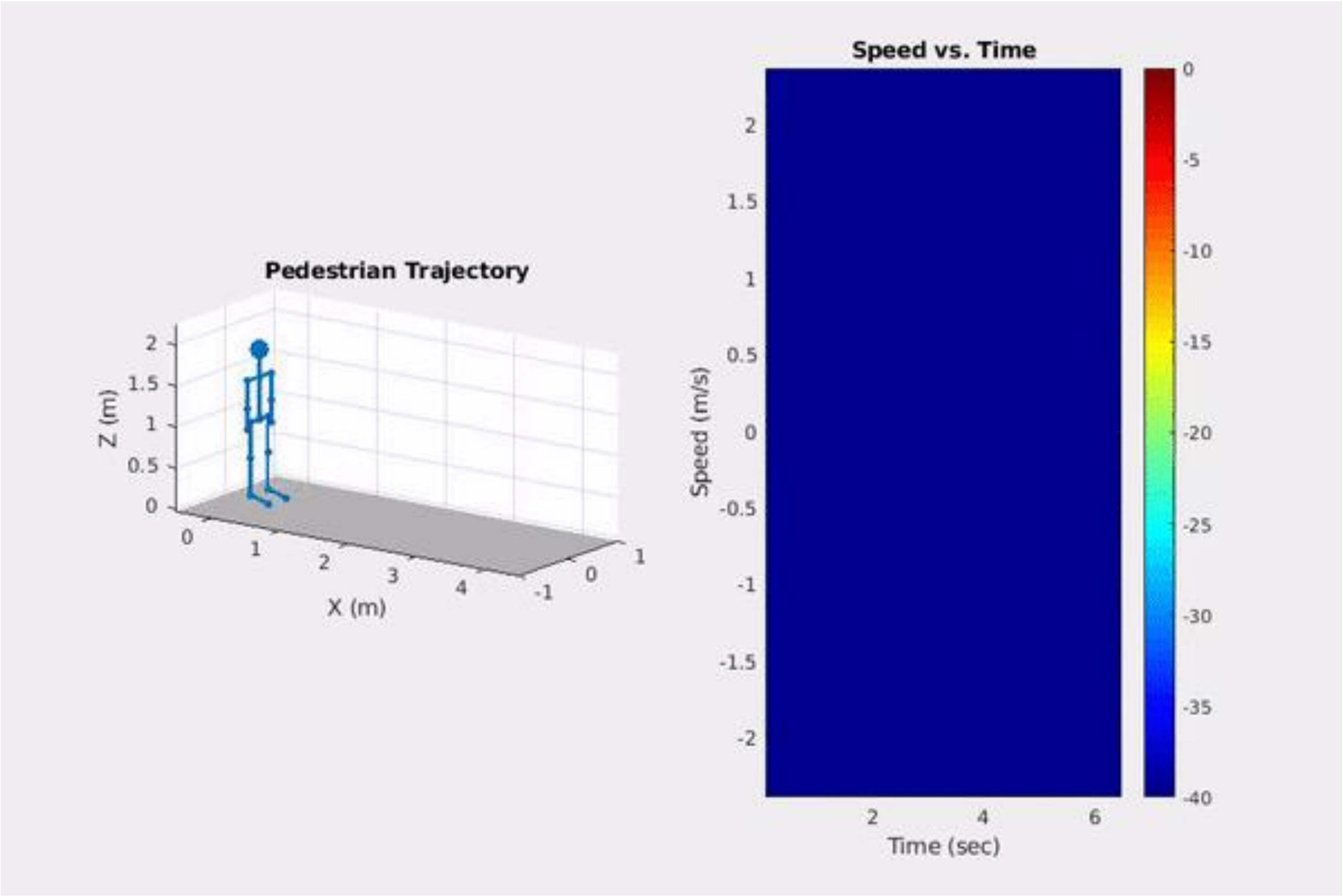
- **Filtreleme:** Konuşma sinyalleri ve diğer ses verileri, astronomik veriler, sismik veriler, görüntüler gibi sinyallerden gelen gürültünün giderilmesi.
- **Sentez ve manipülasyon:** Örn. konuşma sentezi, müzik sentezi, grafikler.
- **Analiz:** Sismik veriler, atmosfer verileri, borsa analizi.
- **Sesli iletişim:** saklama ve iletme için işleme, kodlama ve kod çözme.
- Ses, ses ve görüntü sıkıştırma için **kodlama**.
- **Aktif gürültü iptali:** Kulaklıklar, arabalarda susturucular
- **Görüntü işleme**, bilgisayarla görme
- **Bilgisayar grafikleri**
- **Endüstriyel uygulamalar:** Titreşim analizi, kimyasal analiz
- **Biomed:** MRI, Cat taramaları, görüntüleme, tahliller, EKG'ler, EMG'ler vb.
- **Radar**, Sonar
- **Sismoloji**…….

Şu an popüler olan ?



https://blogs.mathworks.com/deep-learning/2019/05/13/deep-learning-for-signal-processing-applications/

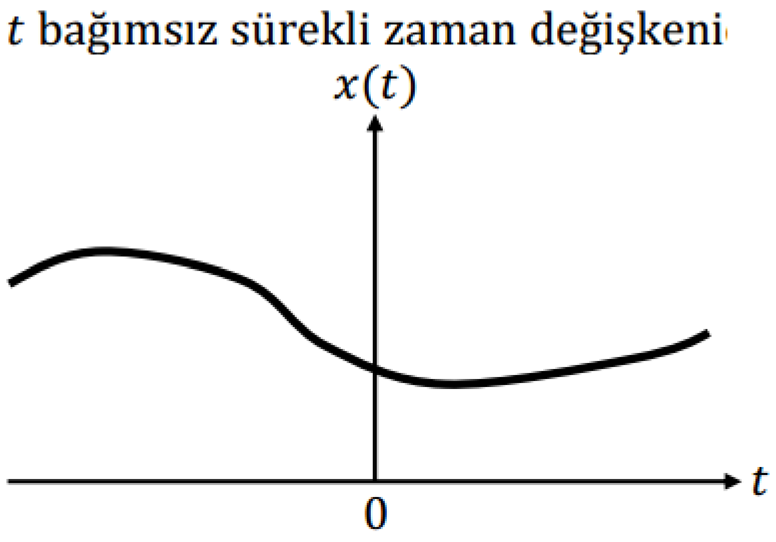
Bir örnek

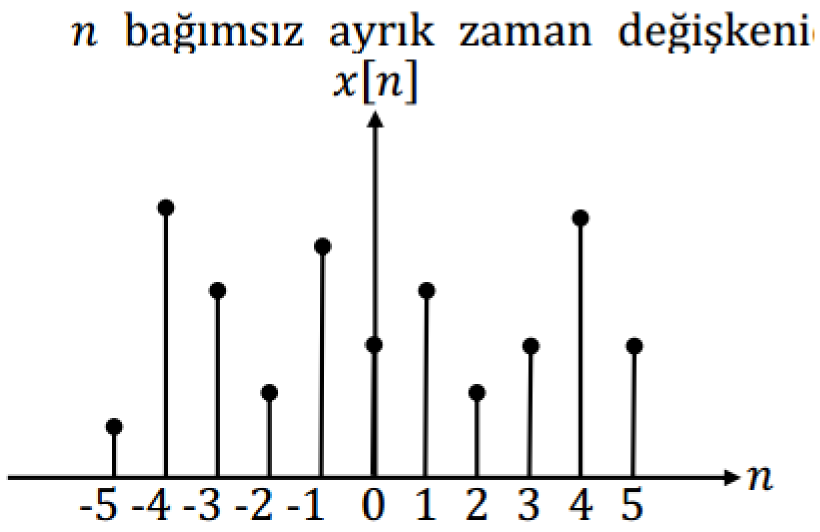


Pedestrian Trajectory
Z (m)
2
1.5
1
0.5
0
0
1
2
3
4
X (m)
-1
0
1
Speed vs. Time
Speed (m/s)
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
-2
2
4
6
Time (sec)
0
-5
-10
-15
-20
-25
-30
-35
-40

Sinyaller ve Sınıflandırılmaları

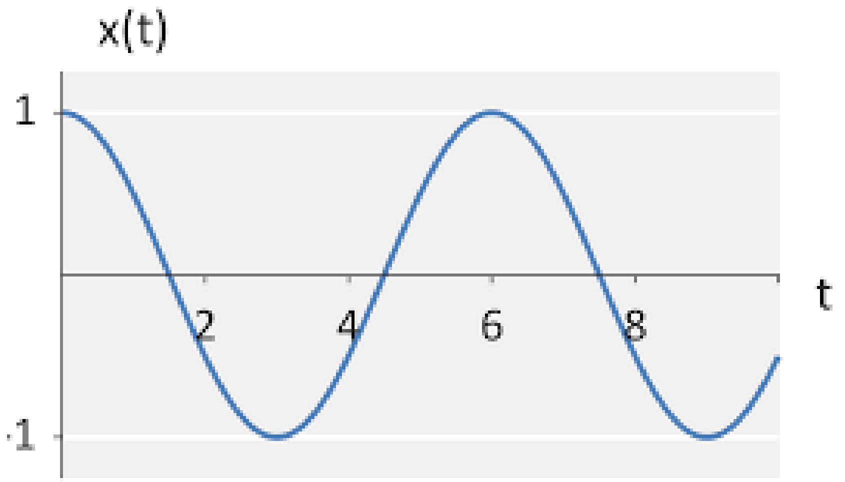
- Bir **sinyal**, fiziksel bir büyüklüğü veya değişkeni temsil eden bir fonksiyon olup, bir olgunun doğasına veya davranışına ilişkin bilgiler içerir.
- Doğada karşımıza çıkan tüm sinyallerin ortak özelliği, daha sonra x(t) veya x[n] şeklinde gösterileceği gibi genellikle bağımsız değişken olarak zamanın bir fonksiyonu olmasıdır.





- **En çok bilinen sinyal örnekleri**

- **Sürekli-Zamanlı Sinyaller**
- Zamanın her anında örneklenebilen **sonlu**, **gerçek değerli** sinyallerdir.
- Gerçek-zamanlı sinyaller asla aniden değişmez. Daha teknik olmak gerekirse, sınırlı bant genişliğine sahipler.

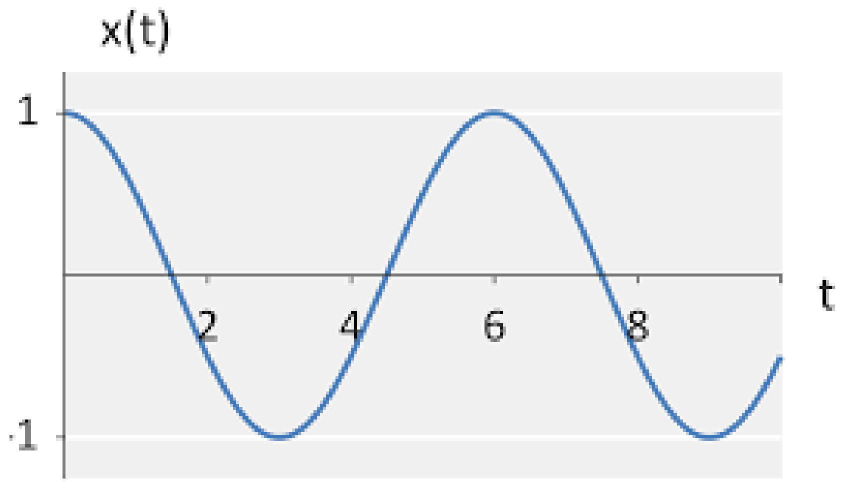


Neden gerçek değerli ?

Neden sonlu ?

• Sürekli-Zamanlı Sinyaller

• Zamanın her anında örneklenebilen **sonlu**, **gerçek değerli** sinyallerdir.

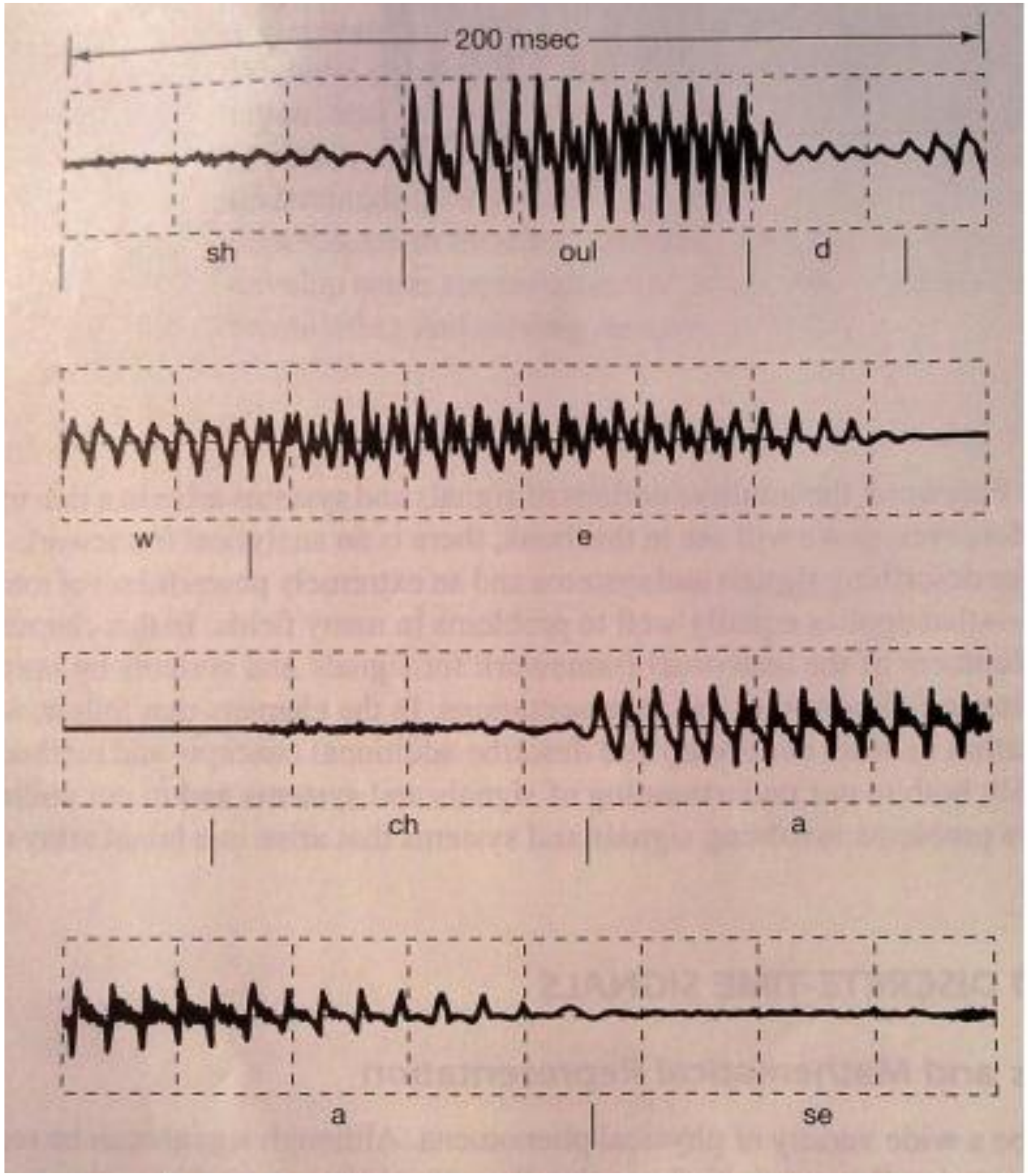


Neden gerçek değerli ?

Çünkü genellikle gerçek dünya fenomenleri gerçek değerlidir.

Neden sonlu ?

Çünkü gerçek-zamanlı sinyaller genel olarak enerjiyle sınırlandırılacaktır, sonsuz enerji kaynağımız yoktur. Özellikle uzun vadeli fenomenler (örneğin güneşten gelen radyasyon) karakterize edildiğinde, güçlerinin sınırlı olduğu bilinmektedir.



Sürekli-zamanlı bir sinyal örneği

Bir ses kaydı. İşaret, “should we chase” kelimlerini, zamana bağlı olarak akustik basınç değişimleri şeklinde temsil etmektedir. Üst satır “should”, ikinci satır “we” ve son iki satır “chase” kelimlerine karşılık gelmektedir.

- **En çok bilinen sinyal örnekleri**

- **Ayrık-Zamanlı Sinyaller**
- Zamanın belirli anlarında değeri olan sinyallerdir

Ayrık-zamanlı bir $x[n]$ sinyali şu şekillerde gösterilebilir:

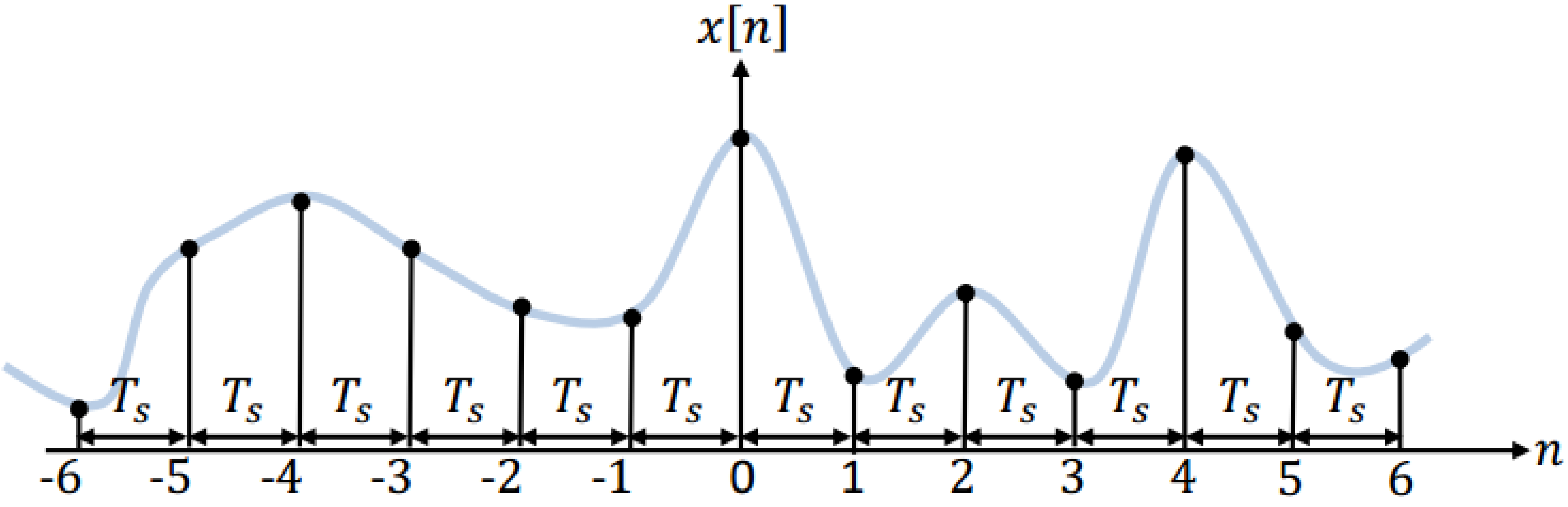
$$x[n] = x_n = \begin{cases} \left(\frac{1}{2}\right)^n & n \geq 0 \\ 0 & n < 0 \end{cases}$$

Ayrık-zamanlı bir sinyal örneği

$$\{x_n\} = \left\{\dots,0,0,0,0,0,\underset{\uparrow}{1},\frac{1}{2},\left(\frac{1}{2}\right)^2,\left(\frac{1}{2}\right)^3,\dots\right\}.$$

ok işareti $n = 0$ anını göstermektedir.

- **Sürekli ve Ayrık Zamanlı Sinyaller:**



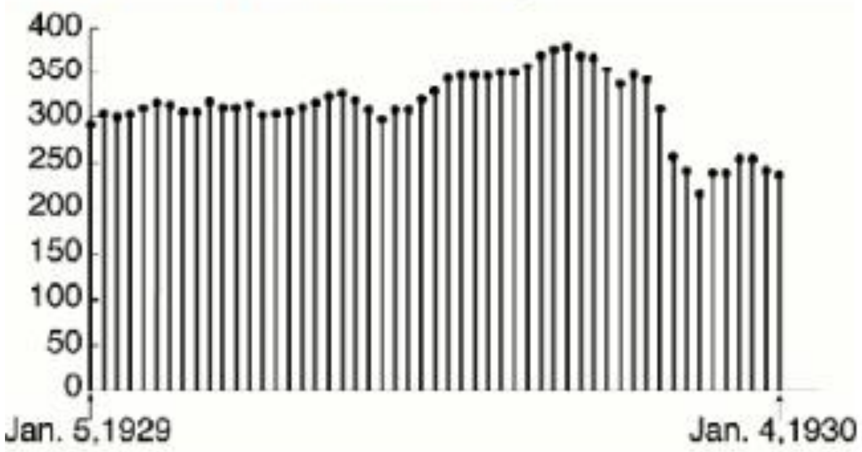
Yani, $x_n = x[n] = x(t)|_{t=nT_s} = x(nT_s)$

T_s örnekleme periyodudur.

Many human-made DT Signals

Ex.#1 Weekly Dow-Jones

industrial average

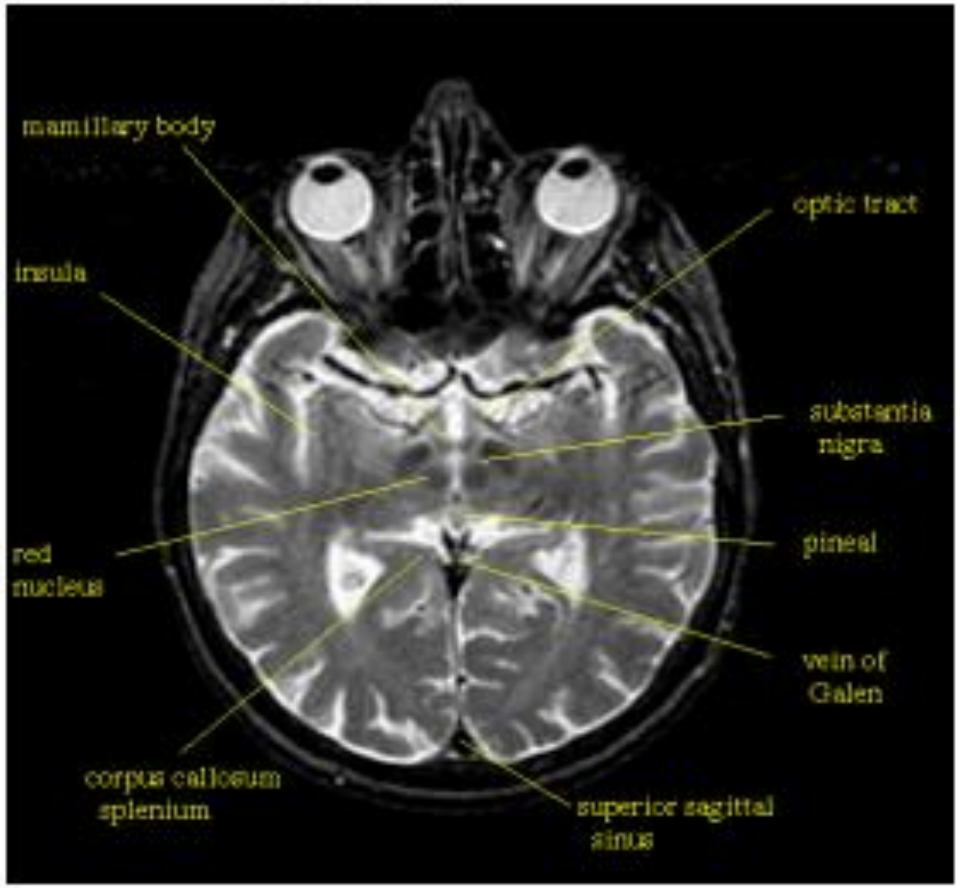


Ex.#2 digital image

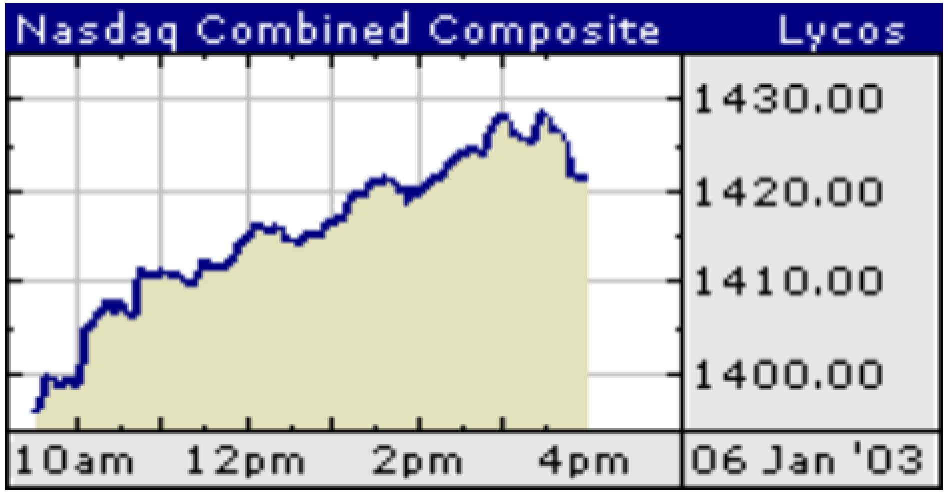
Courtesy of Jason Oppenheim.
Used with permission.

Why DT? — Can be processed by modern digital computers and digital signal processors (DSPs).

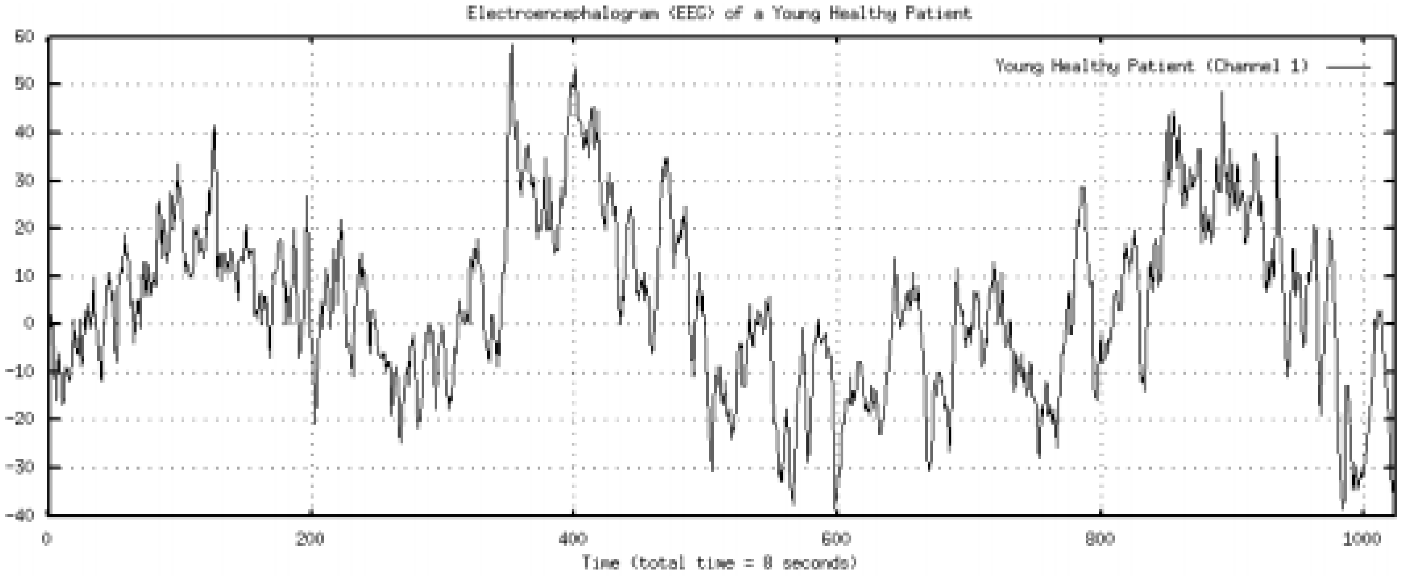
Magnetic Resonance Image (MRI) data as 2-dimensional signal



- Stock Market data as signal (time series)



- Electroencephalogram (EEG) signal (or brainwave)



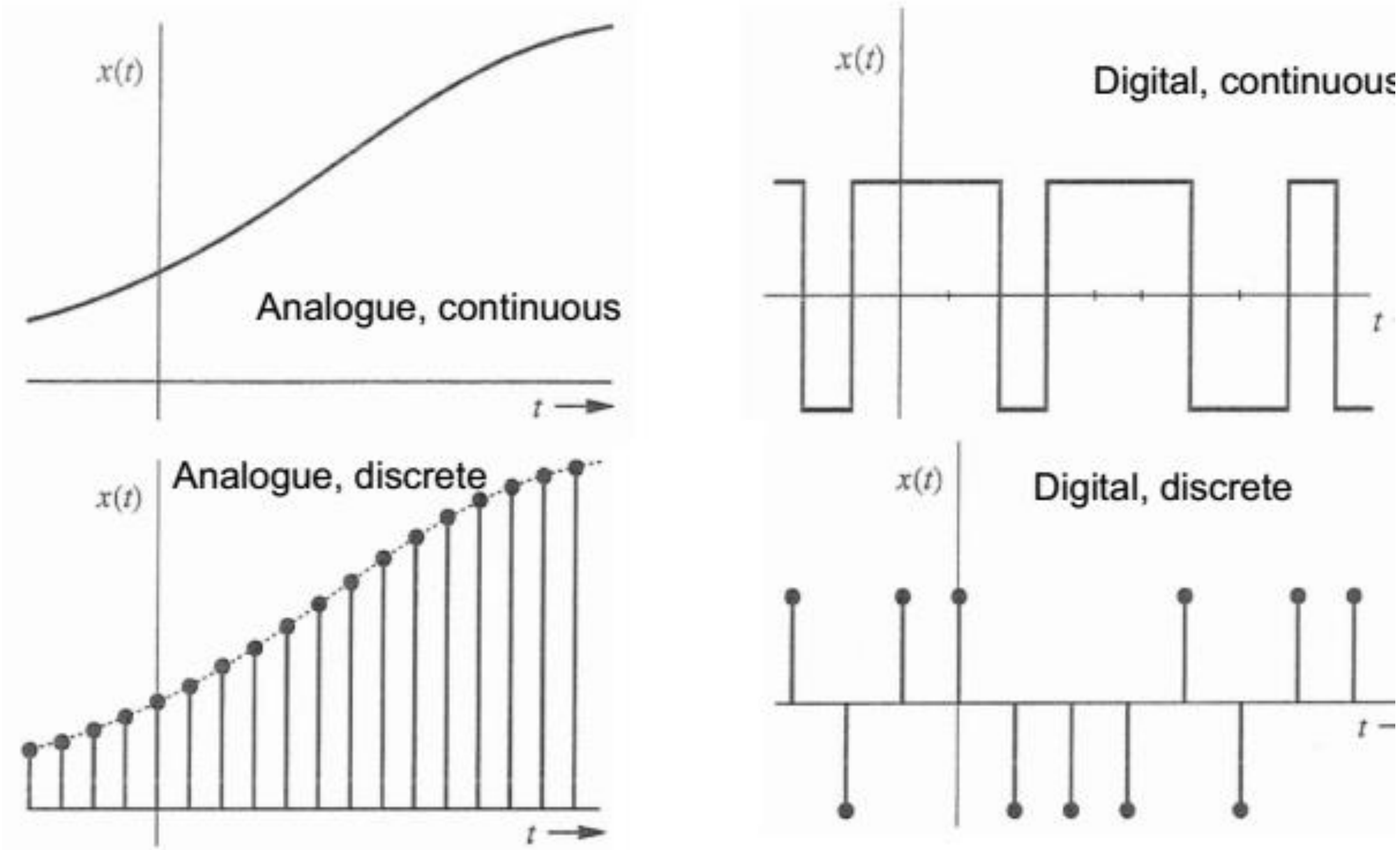
Daha genel bir bakış açısıyla sinyalleri sınıflandırmaya devam edelim…

Sinyallerin sınıflandırılması

- Analog ve Dijital Sinyaller
- Deterministik ve Rasgele Sinyaller
- Tek ve Çift Sinyaller
- Periyodik - Aperiyodik Sinyaller
- Sürekli-Zamanlı – Ayrık-Zamanlı Sinyaller
- …

• Analog ve Dijital Sinyaller:

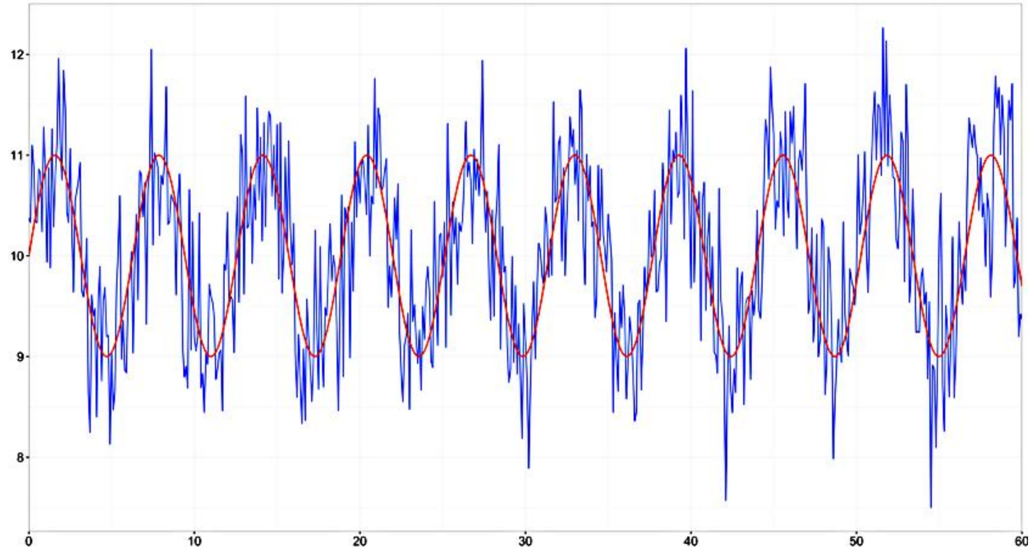
Sürekli-zamanlı sinyaller aynı zamanda analog sinyal olarak da adlandırılabilmektedir. Ancak, digital sinyaller sadece 1 ve 0'lardan oluşan ayrık-zamanlı sinyallerdir.



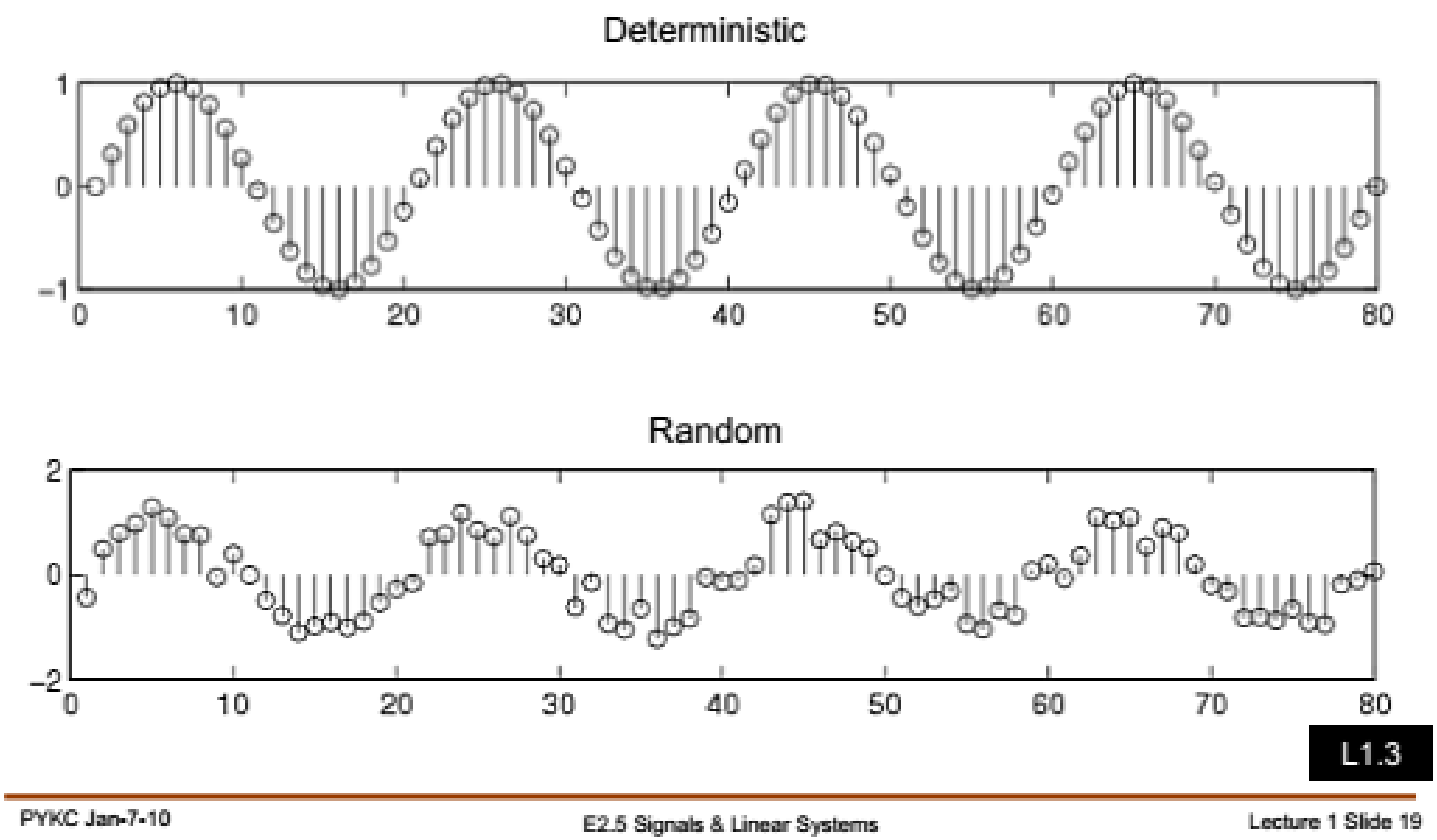
• Deterministik ve Rasgele Sinyaller:

Deterministik sinyallerin herhangi bir anda alacağı değer önceden bellidir çünkü bu sinyal bilinen bir fonksiyonla ifade edilebilmektedir. Örneğin, $x(t) = \sin 3\pi t$ veya $x[n] = \left(\frac{1}{2}\right)^n$ sinyalleri deterministiktir. Diğer taraftan rasgele sinyaller belli bir fonksiyonla ifade edilmeyip daha çok istatistiksel özelliklerle ifade edilirler. Örnek olarak gürültü sinyali rasgele bir sinyaldir.

Gürültülü sinyal



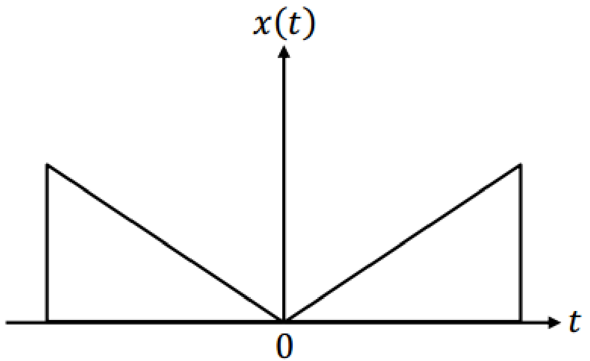
- **Deterministik ve Rasgele Sinyaller:**



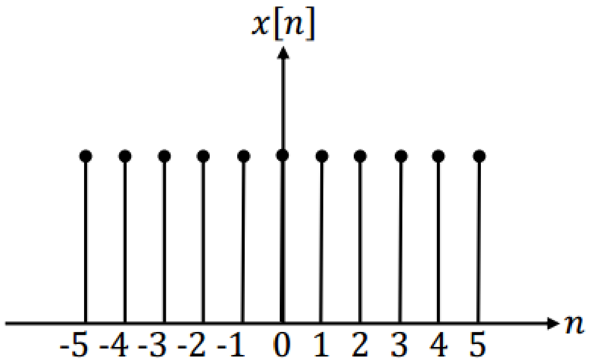
• Tek ve Çift Sinyaller:

Aşağıdaki koşulları sağlayan sinyaller çift sinyallerdir:

$$x(-t) = x(t)$$
$$x[-n] = x[n]$$



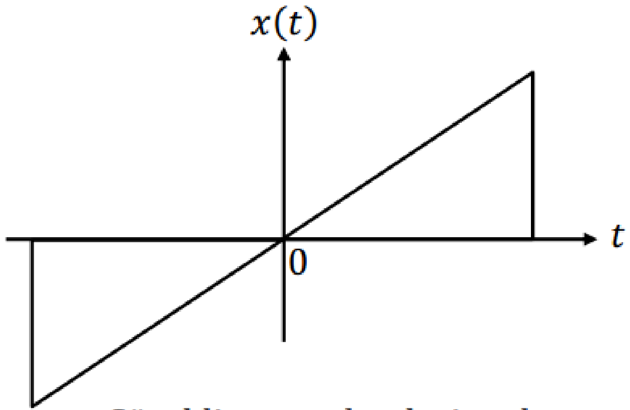
Sürekli-zamanlı çift sinyal



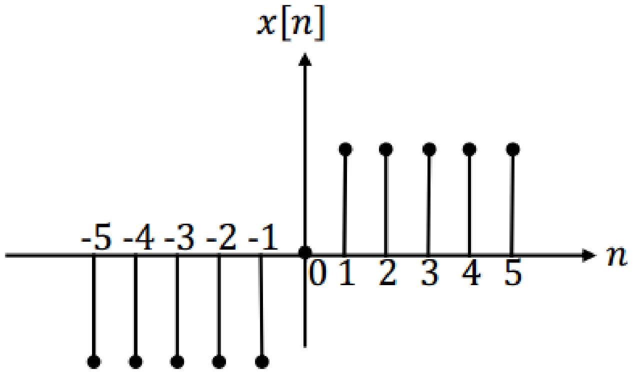
Ayrık-zamanlı çift sinyal

Aşağıdaki koşulları sağlayan sinyaller tek sinyallerdir:

$$x(-t) = -x(t)$$
$$x[-n] = -x[n]$$



Sürekli-zamanlı tek sinyal



Ayrık-zamanlı tek sinyal

Herhangi bir $x(t)$ (veya $x[n]$) sinyali, bir çift ve bir tek sinyalin toplamı şeklinde yazılabilir, yani

$$x(t) = x_ç(t) + x_t(t)$$
$$x[n] = x_ç[n] + x_t[n]$$

Burada

$x_ç(t) = \frac{1}{2}[x(t) + x(-t)]$............ $x(t)$'nin çift bileşeni

$x_t(t) = \frac{1}{2}[x(t) - x(-t)]$............ $x(t)$'nin tek bileşeni

$x_ç[n] = \frac{1}{2}(x[n] + x[-n])$........... $x[n]$'nin çift bileşeni

$x_t[n] = \frac{1}{2}(x[n] - x[-n])$........... $x[n]$'nin tek bileşeni

- **Periyodik - Aperiyodik Sinyaller:**

Sürekli-zamanlı bir $x(t)$ sinyali sıfırdan farklı pozitif bir T için

$$x(t) = x(t + T)$$

koşulunu sağlıyorsa, $x(t)$ sinyali periyodiktir ve periyodu T'dir.

★ Periyodik olmayan bir sinyal aperiyodiktir.

Ayrık-zamanlı sinyaller için de periyodiklik söz konusu olduğunda,

bir $x[n]$ sinyali sıfırdan farklı pozitif bir N tamsayısı için

$$x[n] = x[n + N]$$

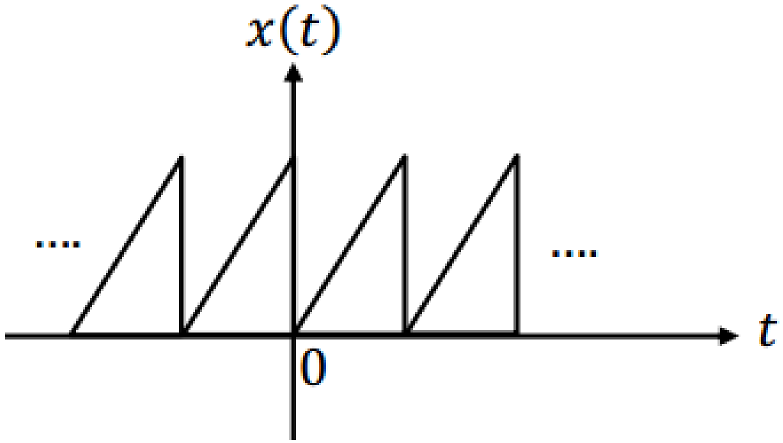
koşulunu sağlıyorsa, $x[n]$ sinyali periyodiktir ve periyodu N'dir.

Periyodik bir sinyal için periyodiklik şartını sağlayan pek çok T bulunabilir bu şartı sağlayan en küçük pozitif değere bu sinyalin *temel periyodu* denir

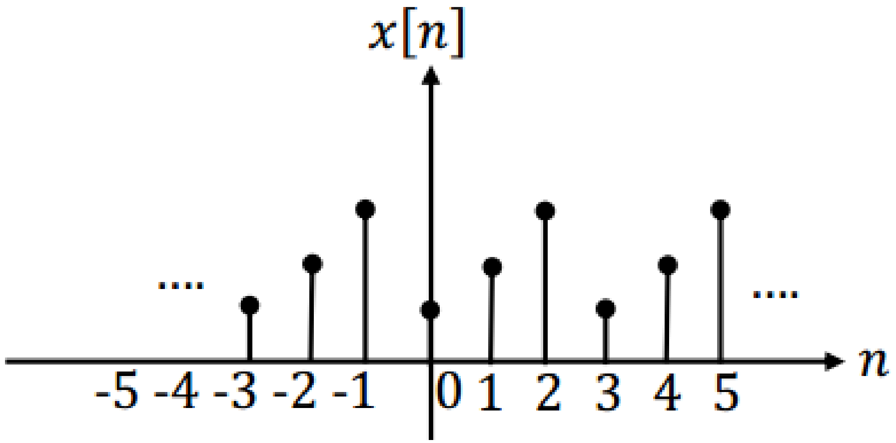
T_0 ile gösterilir.

Periyodiklik şartını sağlayan pek çok N bulunabilir
bu şartı sağlayan en küçük pozitif tamsayıya bu sinyalin *temel periyodu* denir

N_0 ile gösterilir.



Sürekli-zamanlı periyodik sinyal



Ayrık-zamanlı periyodik sinyal

- Bir sinyalin "sonlu" olduğunu iddia etmek için, "boyutunun" bir miktar karakterizasyonuna ihtiyaç vardır.
- Sinyalin sonlu olduğunu iddia etmek, sinyalin boyutunun sınırlı olduğunu iddia etmektir
- Bir sinyalin boyutunun karakterizasyonu için birkaç yöntem bulunmaktadır.
- Sinyallerin sonlu olduğunu söylediğimizde, şu ölçümlerle tanımlanan boyutun sonlu olduğunu ima ederiz.
  - Enerji,
  - Güç,
  - Anlık güç,
  - Genlik vb…

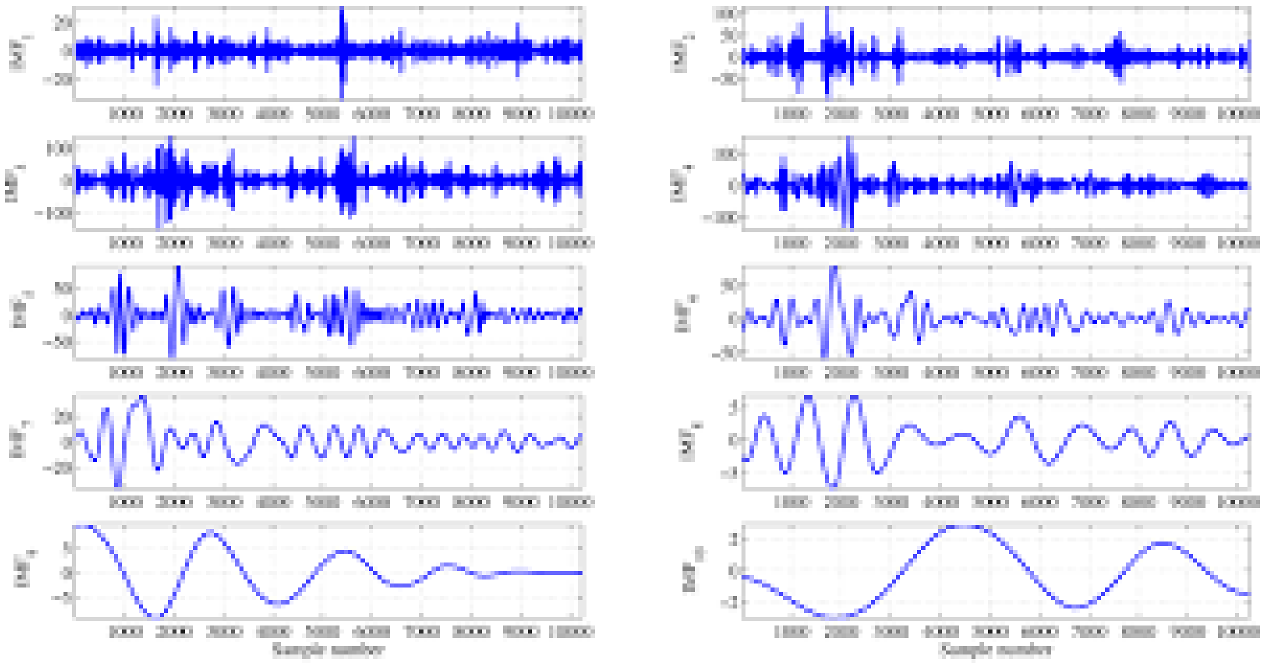
• Enerji ve Güç Sinyalleri:

Herhangi bir sürekli-zamanlı bir $x(t)$ sinyalinin normalize enerjisi

$$E = \int_{-\infty}^{\infty} |x(t)|^2 dt \qquad \text{ile,}$$

normalize ortalama gücü

$$P = \lim_{T\to\infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} |x(t)|^2 dt \qquad \text{şeklindedir.}$$



(a)

Benzer şekilde,

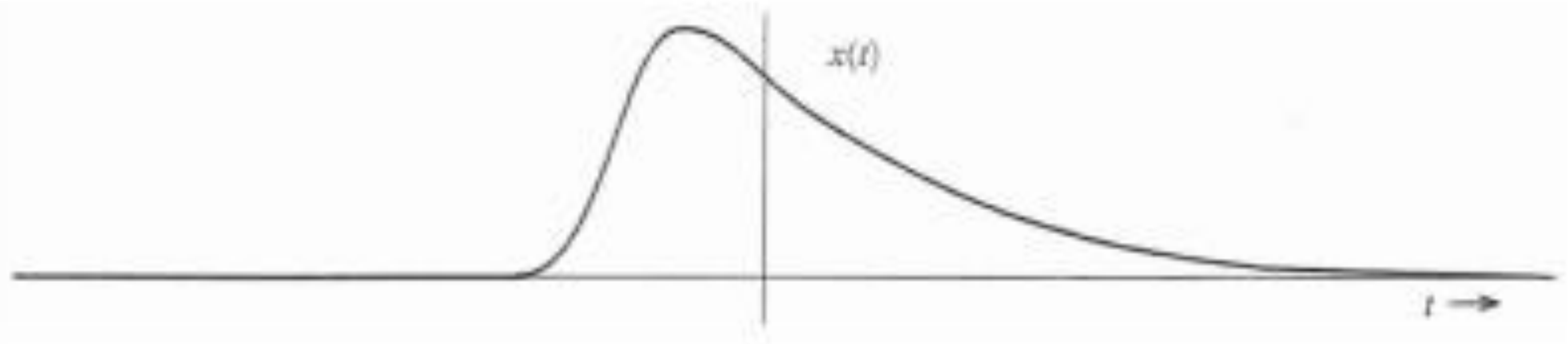
herhangi bir ayrık-zamanlı $x[n]$ sinyalinin normalize enerjisi

$$E = \sum_{n=-\infty}^{\infty} |x[n]|^2 \qquad \text{ile,}$$

normalize ortalama gücü

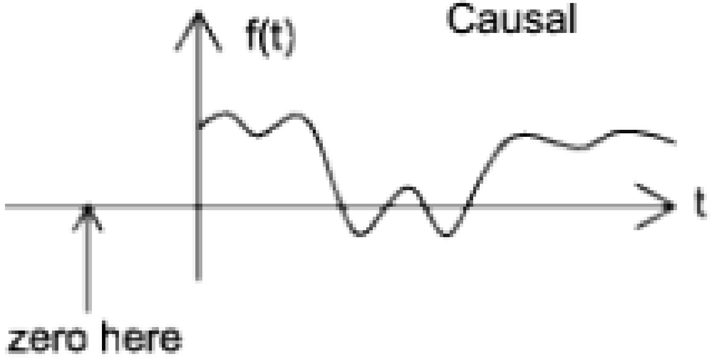
$$P = \lim_{N\to\infty} \frac{1}{2N+1} \sum_{n=-N}^{N} |x[n]|^2 \quad \text{şeklindedir.}$$

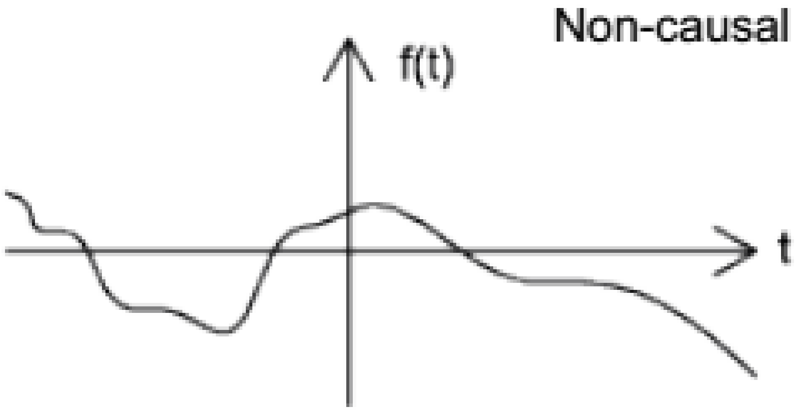
- Signal with finite energy (zero power)



- Signal with finite power (infinite energy)

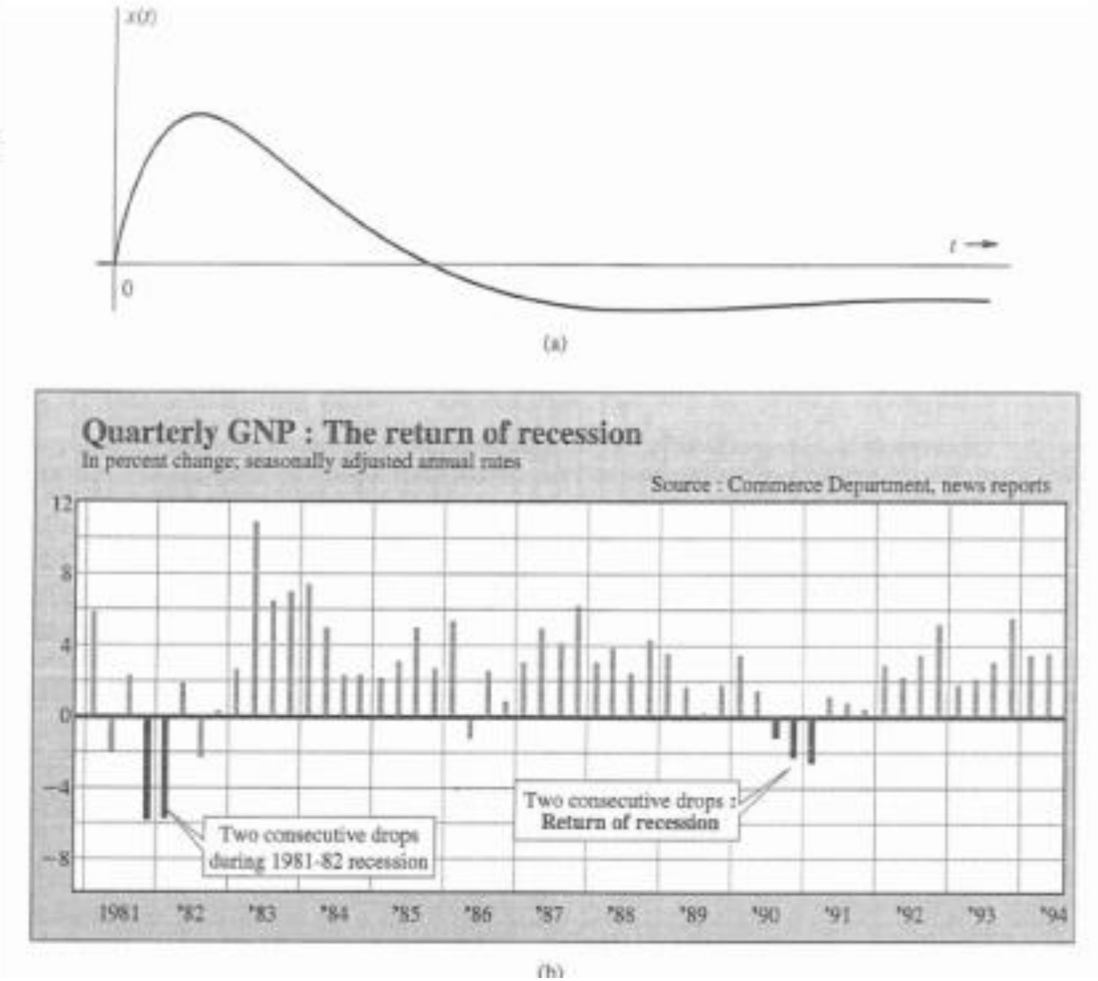
- **Nedensel ve Nedensel-olmayan sinyaller**





• Sürekli ve Ayrık Zamalı Sinyaller

- Continuous-time
- Discrete-time



Sürekli ve ayrık zamanda kullanılan bazı faydalı sinyaller

Bazı faydalı sinyaller

- **Birim basamak sinyali**
- **Birim darbe sinyali**
- **Darbe katarı**
- **Birim basamak dizisi**
- **Birim darbe dizisi**
- **Sinüzoidal sinyaller**
- **Üstel sinyaller**

Temel Sürekli-Zamanlı Sinyaller

1 Birim Basamak Sinyali

Bu sinyale farklı isimler verilebilmektedir. Bunlardan bazıları şu şekildedir:

Birim	*Basamak*	*Sinyali*
Unit	*Step*	*İşareti*
	Heaviside	*İşlevi*
		Fonksiyonu

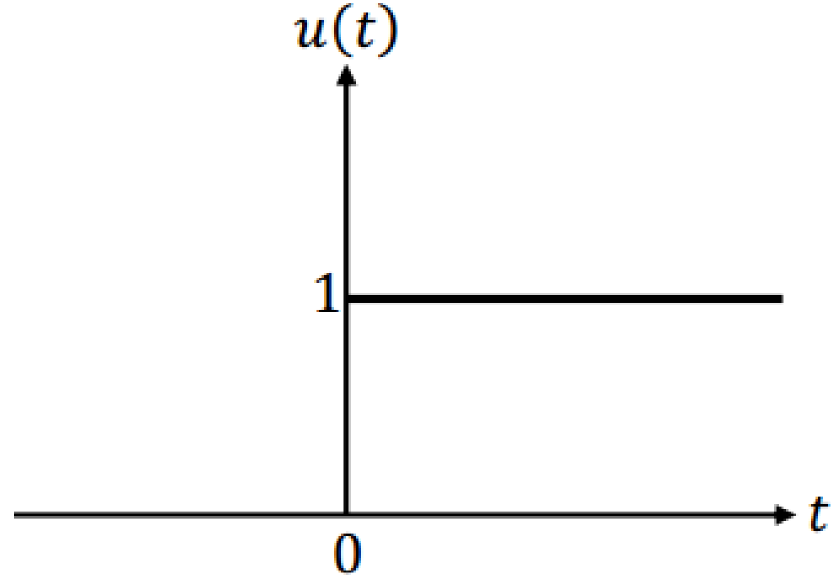
Bu sinyal $u(t)$ ile gösterilir ve şu şekilde tanımlanır:

$$u(t) = \begin{cases} 1, & t > 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases}$$

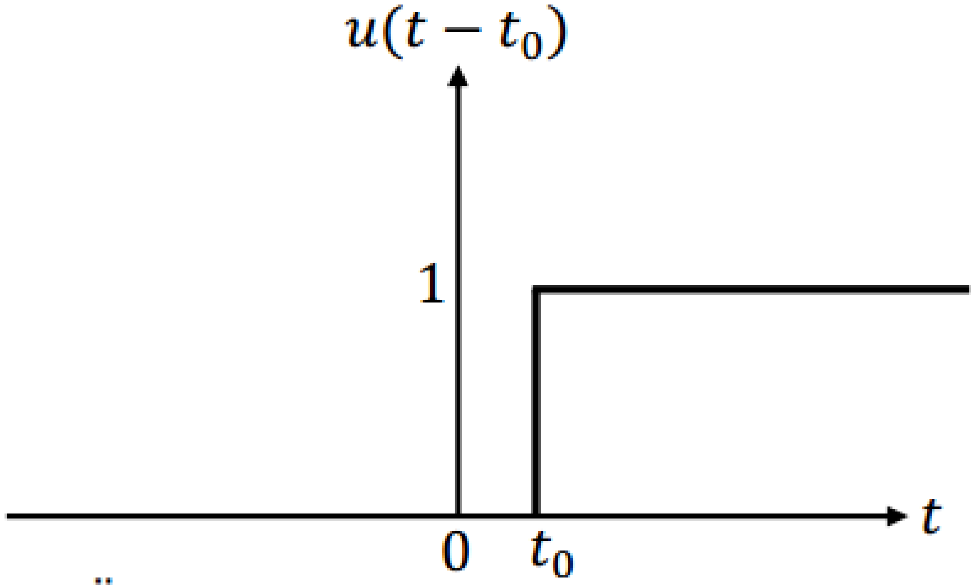
Birim basamak sinyali $t = 0$'da tanımsızdır. Birim basamak sinyalinin zamanda t_0 kadar ötelenmiş hali olan $u(t - t_0)$ şu şekilde tanımlanır:

$$u(t - t_0) = \begin{cases} 1, & t > t_0 \\ 0, & t < t_0 \end{cases}$$

Birim basamak sinyali ve zamanda t_0 kadar ötelenmiş hali

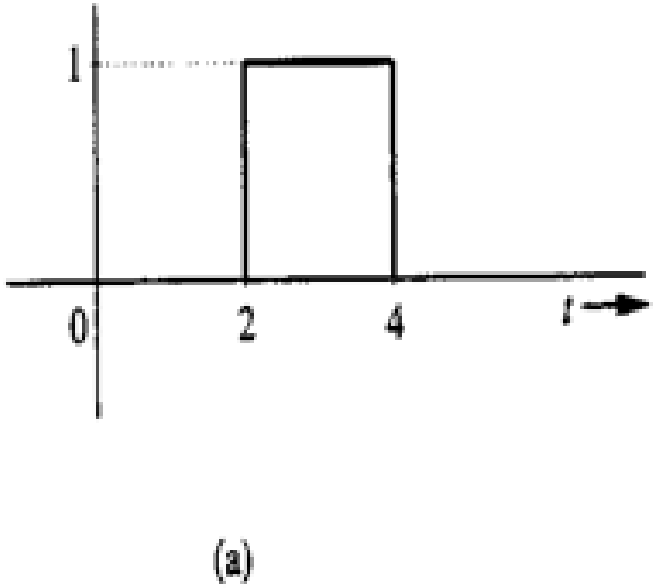


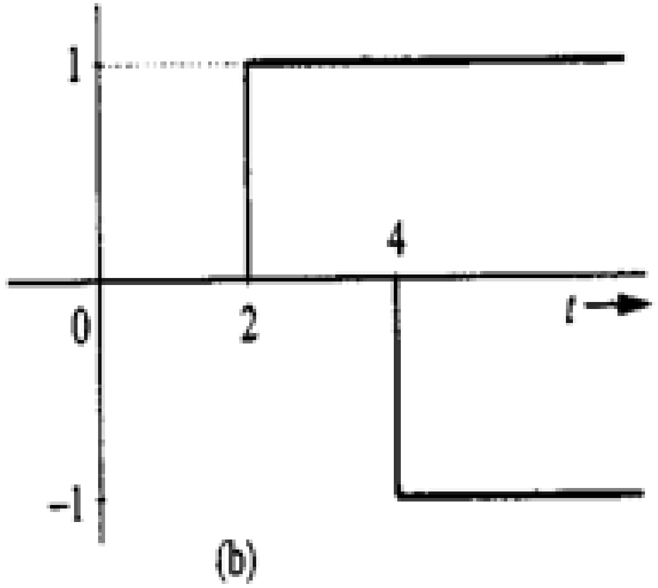
Birim basamak sinyali



Ötelenmiş birim basamak sinyali

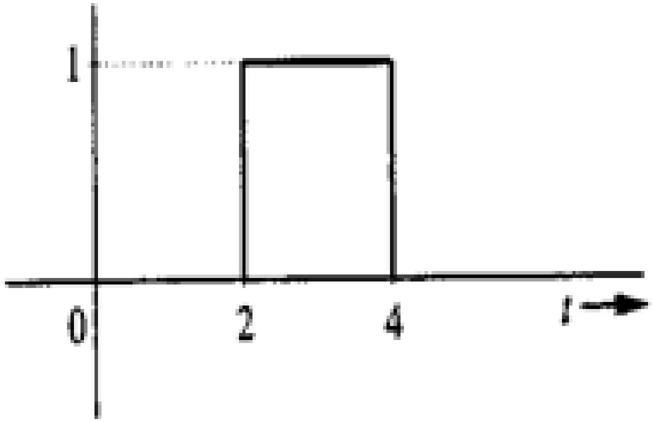
Representation of a rectangular pulse by step functions



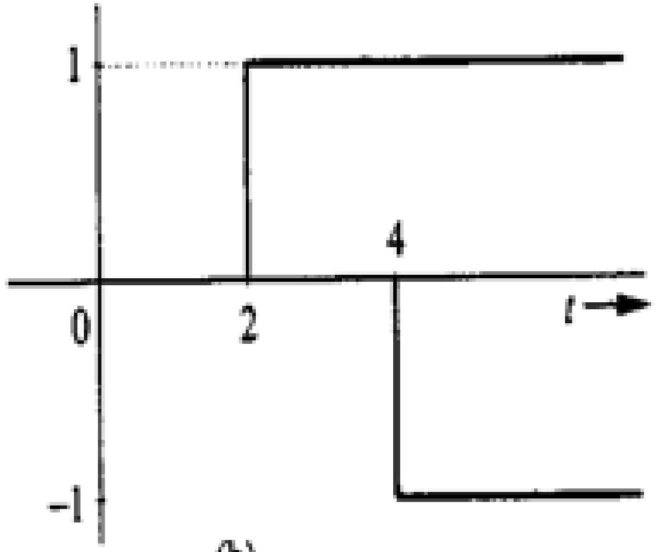


f(t) = ?

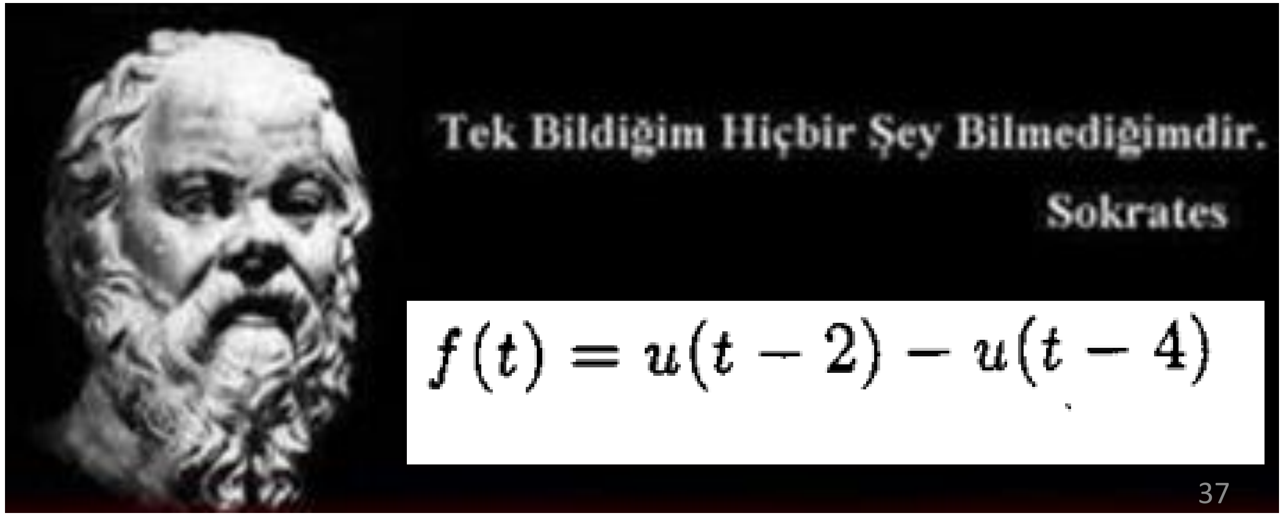
Representation of a rectangular pulse by step functions

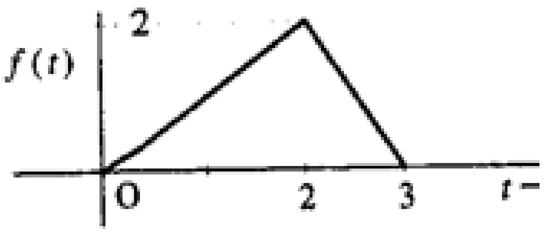


(a)



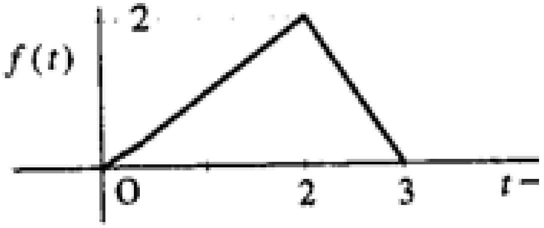
(b)



Example: 

represent f(t) using step functions?

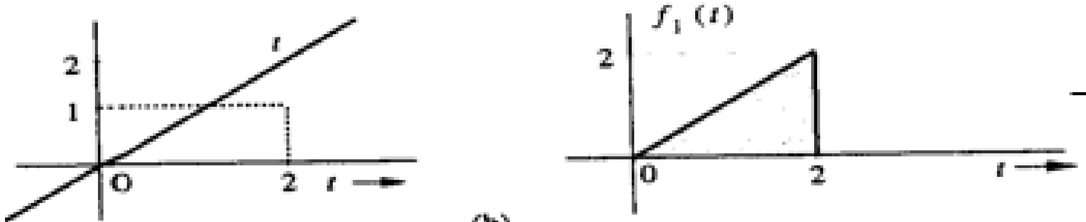
Solution: f(t) is composed of two functions
$$f(t)=\begin{cases} f_1(t)=t & 0\le t\le 2 \\ f_2(t)=-2(t-3) & 2\le t\le 3 \end{cases}$$

Example: 

represent f(t) using step functions?

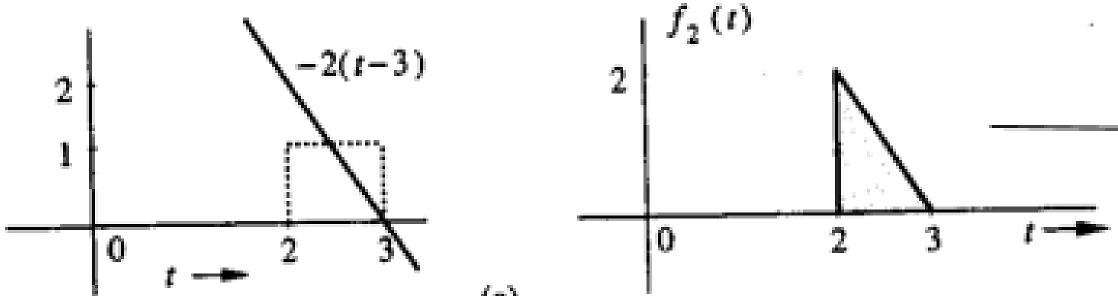
Solution: f(t) is composed of two functions

$$f(t)=\begin{cases} f_1(t)=t & 0\le t\le 2 \\ f_2(t)=-2(t-3) & 2\le t\le 3 \end{cases}$$



(b)

$$\longrightarrow \quad f_1(t) = t\,[u(t)-u(t-2)]$$



(c)

$$\longrightarrow \quad f_2(t) = -2(t-3)\,[u(t-2)-u(t-3)]$$

$$\begin{aligned} f(t) &= f_1(t)+f_2(t) \\ &= t\,[u(t)-u(t-2)] - 2(t-3)\,[u(t-2)-u(t-3)] \\ &= tu(t) - 3(t-2)u(t-2) + 2(t-3)u(t-3) \end{aligned}$$

Soru

EXERCISE E1.8

Show that the signal shown in Fig. 1.18 can be described as

$$x(t) = (t-1)u(t-1) - (t-2)u(t-2) - u(t-4)$$

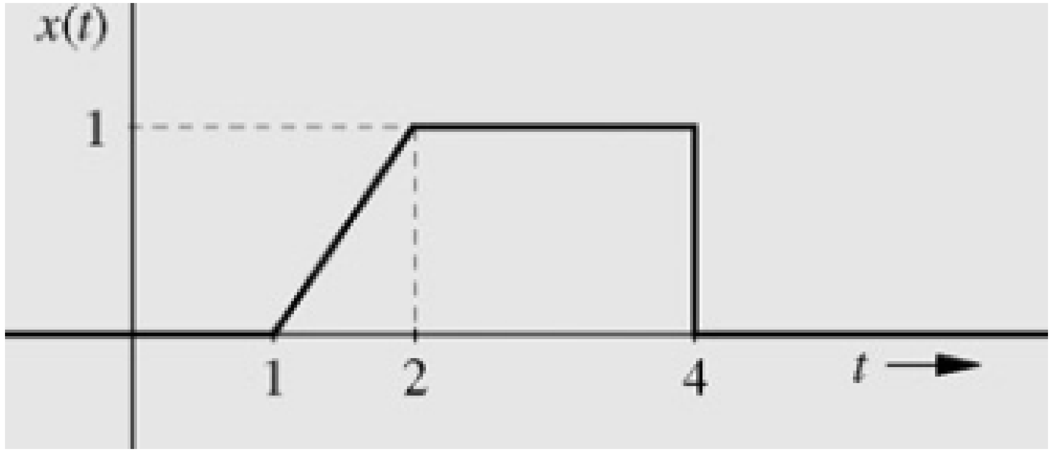


Figure 1.18

2 Birim Darbe Sinyali

Bu sinyale farklı isimler verilebilmektedir. Bunlardan bazıları şu şekildedir:

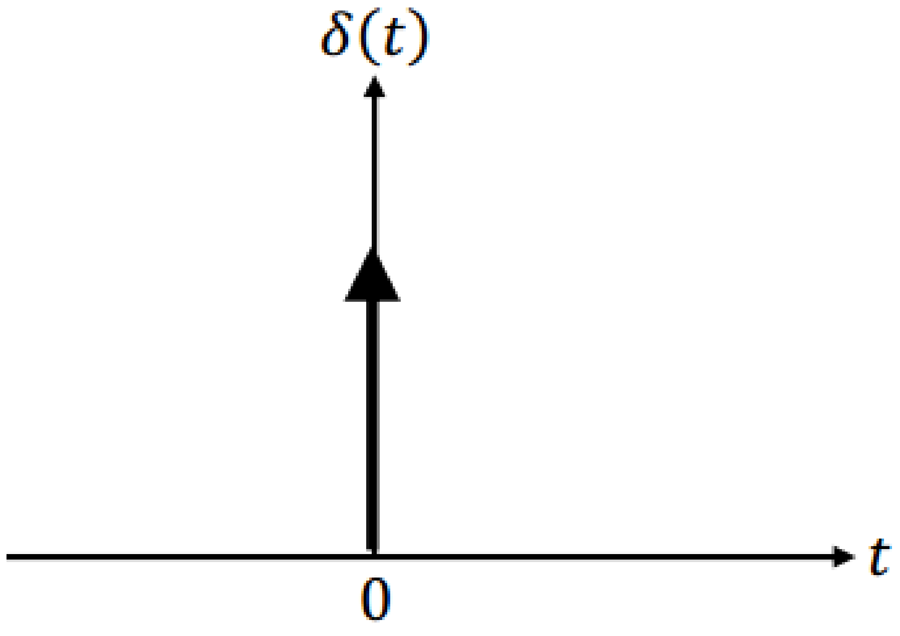
Birim	*Darbe*	*Sinyali*
Unit	*Impulse*	*İşareti*
	Dürtü	*İşlevi*
Dirac	*Delta*	*Fonksiyonu*

Bu sinyal $\delta(t)$ ile gösterilir ve şu şekilde tanımlanır:

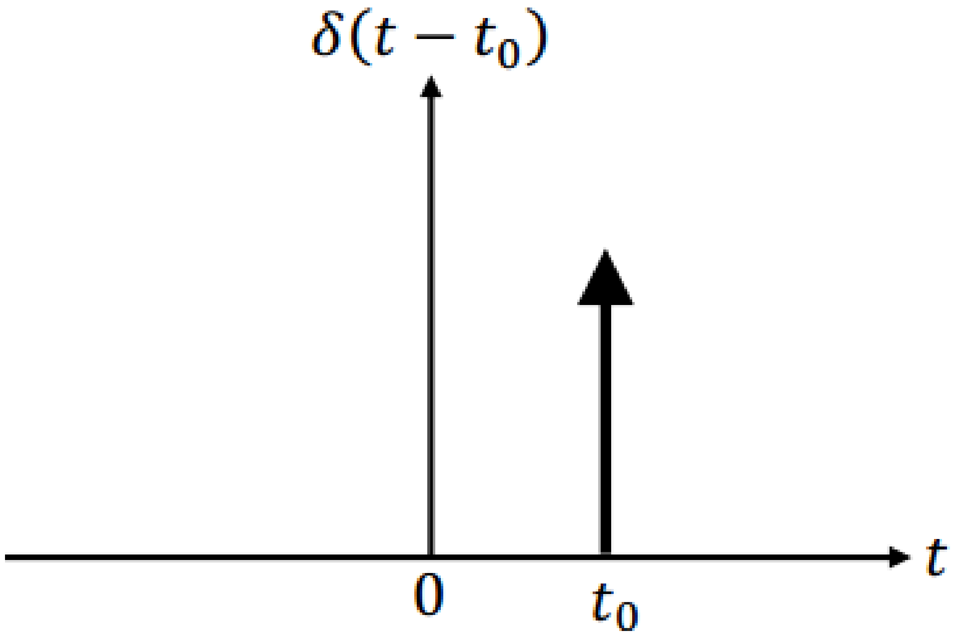
$$\delta(t) = \begin{cases} \infty, & t = 0 \\ 0, & t \neq 0 \end{cases}$$

Birim darbe sinyalinin zamanda t_0 kadar ötelenmiş hali olan $\delta(t-t_0)$

$$\delta(t-t_0)=\begin{cases}\infty, & t=t_0\\ 0, & t\neq t_0\end{cases}$$

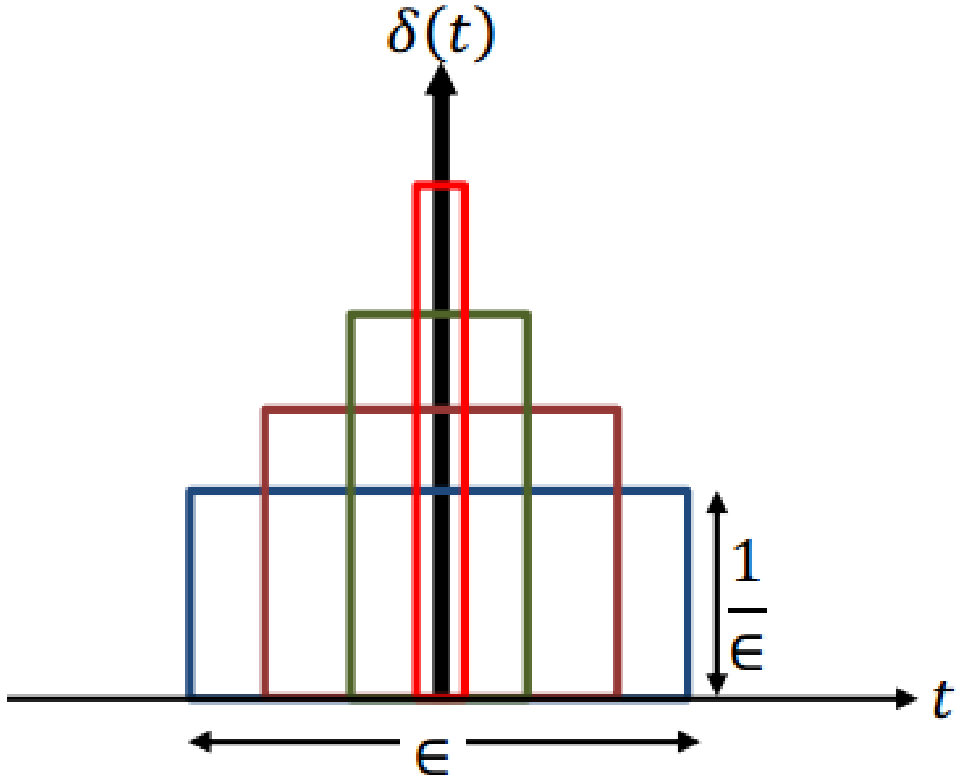


Birim darbe sinyali



Ötelenmiş birim darbe sinyali

Birim darbe sinyali, sonsuz küçük zaman aralığında birim alana sahip olan bir sinyal gibi düşünülebilir.



Birim darbe sinyali

birim darbe sinyalinin altında kalan alan birdir,

$$\int_{-\infty}^{\infty} \delta(t)dt = 1$$

ötelenmiş işaret için de $\int_{-\infty}^{\infty} \delta(t-t_0)dt = 1$

Bu sonuç kullanılarak, $x(t)$ gibi herhangi bir sinyali

şu şekilde ifade edilebilir:

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau)\delta(t-\tau)d\tau.$$

Birim darbe işareti ile birim basamak işareti arasında

türev-integral ilişkisi vardır:

$$\delta(t) = \frac{du(t)}{dt}$$

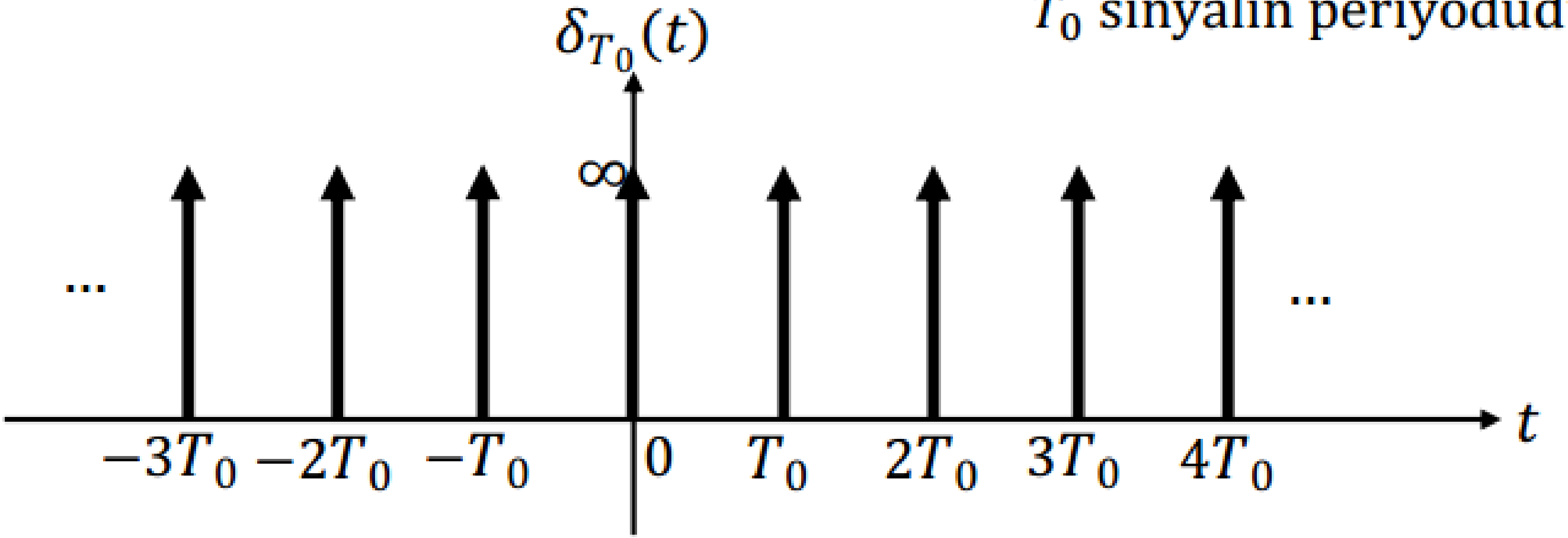
$$u(t) = \int_{-\infty}^{t} \delta(\tau)d\tau.$$

Darbe Katarı

Sinyal işleme ve haberleşme uygulamalarında çok önemli bir yere sahip olan darbe katarı sinyali T_0 zaman aralıklarıyla birbirini takip eden darbe sinyallerinden oluşan sinyal olup $\delta_{T_0}(t)$ ile gösterilir ve analitik olarak

$$\delta_{T_0}(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(t - kT_0)$$

T_0 sinyalin periyodudur.



Darbe Katarı

Temel Ayrık-Zamanlı Sinyaller

1 Birim Basamak Dizisi

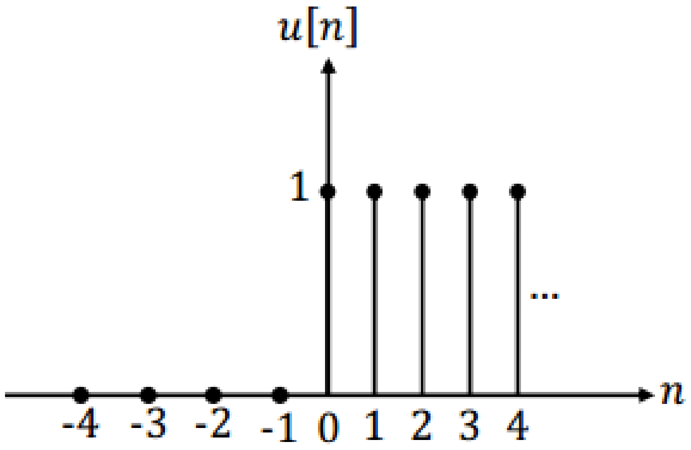
Bu sinyale farklı isimler verilebilmektedir. Bunlardan bazıları şu şekildedir:

Birim	*Basamak*	*Dizisi*
Unit	*Step*	*Sinyali*
		İşareti
		İşlevi
		Fonksiyonu

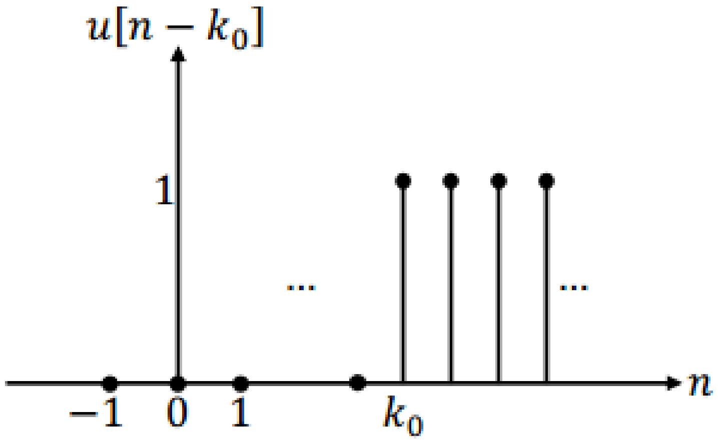
Bu sinyal $u[n]$ ile gösterilir ve şu şekilde tanımlanır:

$$u[n] = \begin{cases} 1, & n \geq 0 \\ 0, & n < 0 \end{cases}$$

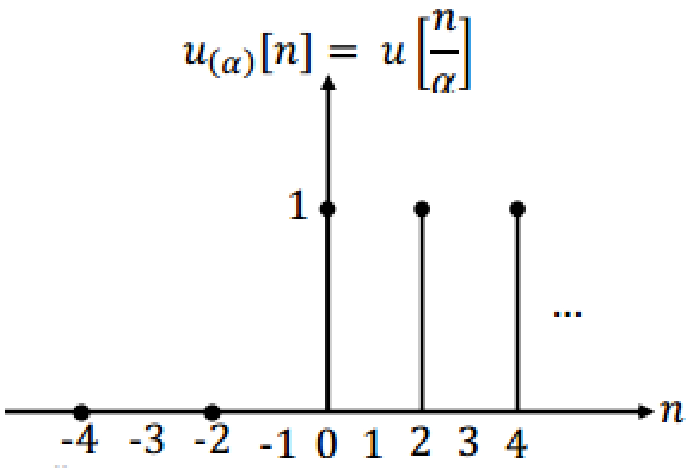
Birim basamak dizisinin zamanda k_0 kadar ötelenmiş hali $u[n-k_0] = \begin{cases} 1, & n \geq k_0 \\ 0, & n < k_0 \end{cases}$



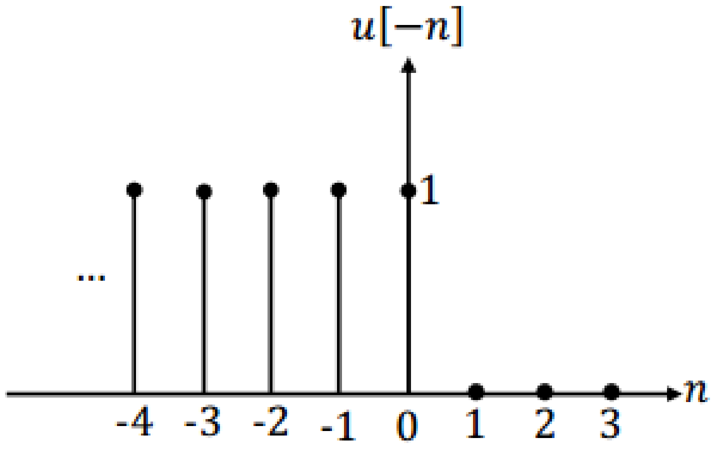
Birim basamak dizisi



Ötelenmiş birim basamak dizisi



Ölçeklenmiş birim basamak dizisi
$\alpha = 2$



Zamanda ters döndürülmüş birim basamak dizisi

2 Birim Darbe Dizisi

Bu sinyale farklı isimler verilebilmektedir. Bunlardan bazıları şu şekildedir:

Birim	*Darbe*	*Dizisi*
Unit	*Impulse*	*Sinyali*
	Dürtü	*İşareti*
Dirac	*Delta*	*İşlevi*
		Fonksiyonu

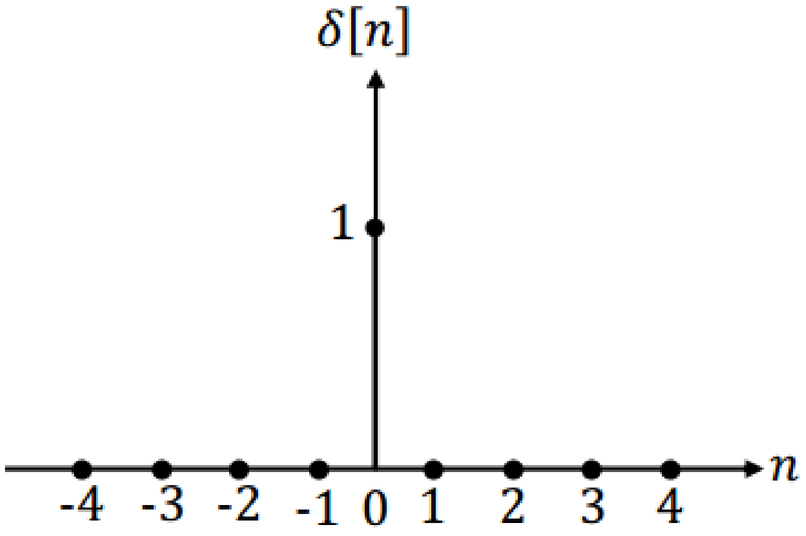
Bu sinyal $\delta[n]$ ile gösterilir ve şu şekilde tanımlanır:

$$\delta[n] = \begin{cases} 1, & n = 0 \\ 0, & n \neq 0 \end{cases}$$

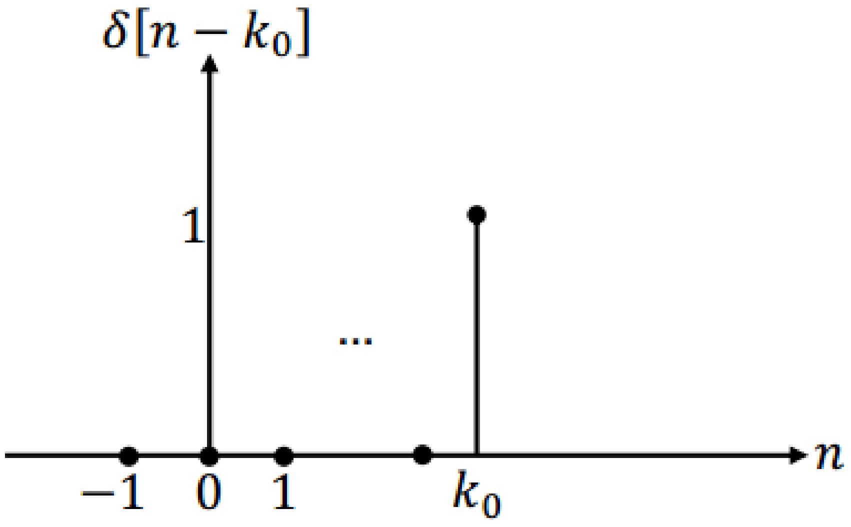
Birim darbe dizisinin zamanda k_0 kadar ötelenmiş hali $\delta[n-k_0] = \begin{cases} 1, & n = k_0 \\ 0, & n \neq k_0 \end{cases}$

Sürekli-zamanlı darbe sinyalindekine benzer şekilde, ayrık-zamanlı darbe sinyali

$$\sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta[n] = 1$$



Birim darbe dizisi



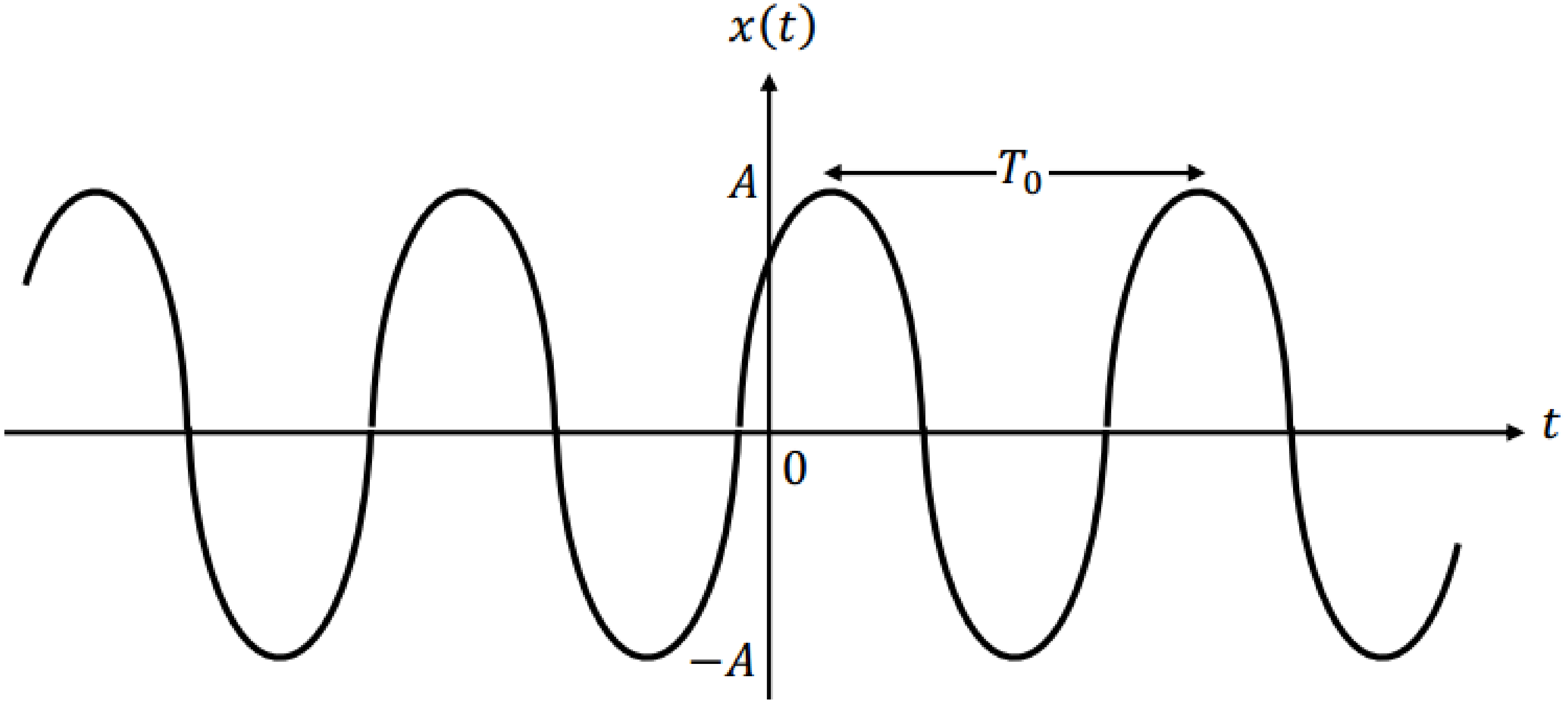
Ötelenmiş birim darbe dizisi

Sinüzoidal Sinyaller

Sürekli-zamanlı sinüzoidal sinyaller şu şekildedir: $x(t) = A\cos(\omega_0 t + \theta)$,

A genlik, ω_0 radyan cinsinden temel açısal frekans θ radyan cinsinden faz açısıdır.

sinyalin temel periyodu $T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0}$ sn, temel frekansı da $f_0 = \frac{1}{T_0}$ Hz

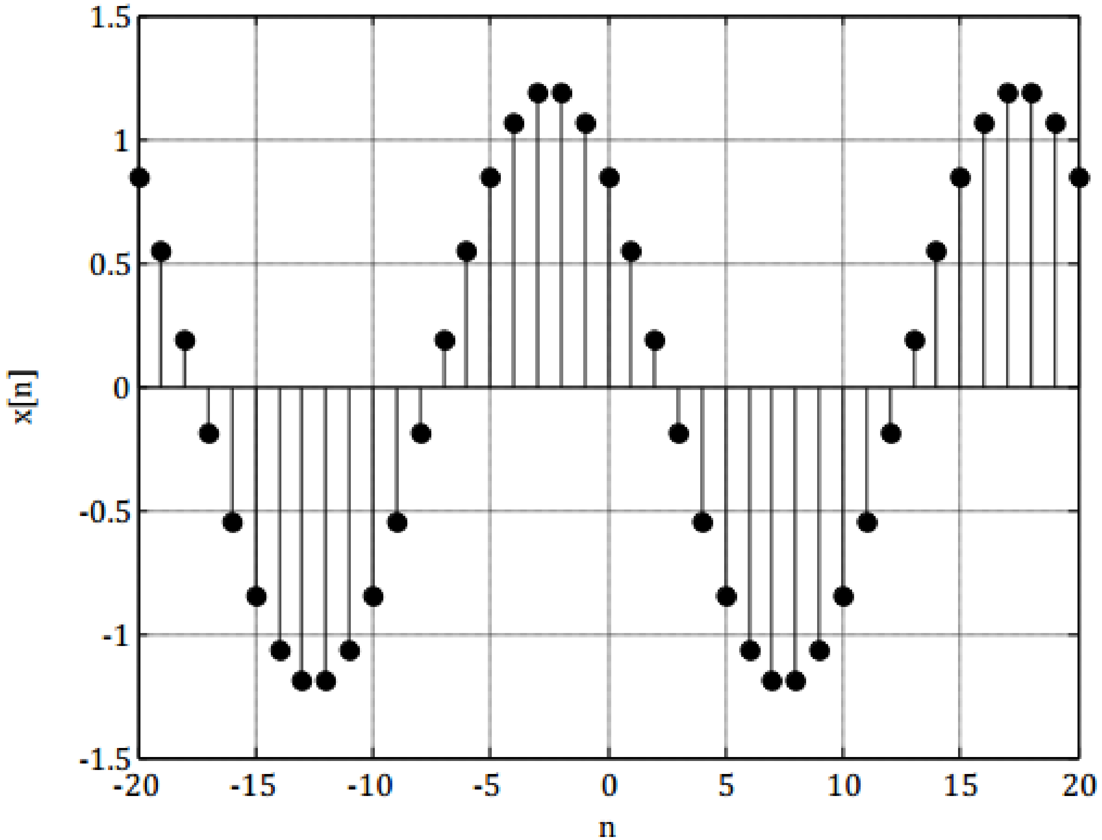


Sinüzoidal Sinyaller

Ayrık-zamanlı sinüzoidal sinyaller : $x[n] = A\cos(\Omega_0 n + \theta)$,

A genlik, Ω_0 radyan cinsinden temel açısal frekans θ radyan cinsinden faz açısıdır.

sinyalin temel periyodu $N_0 = \dfrac{2\pi}{\Omega_0}$ şeklindedir.



Ayrık-zamanlı sinüzoidal sinyal $x[n] = 1.2\cos(0.1\pi n + 0.25\pi)$

Genel Karmaşık Üstel Sinyaller

Bu sinyaller şu şekildedir: $x(t) = e^{(\sigma + j\omega_0)t}$.

Euler bağıntısı

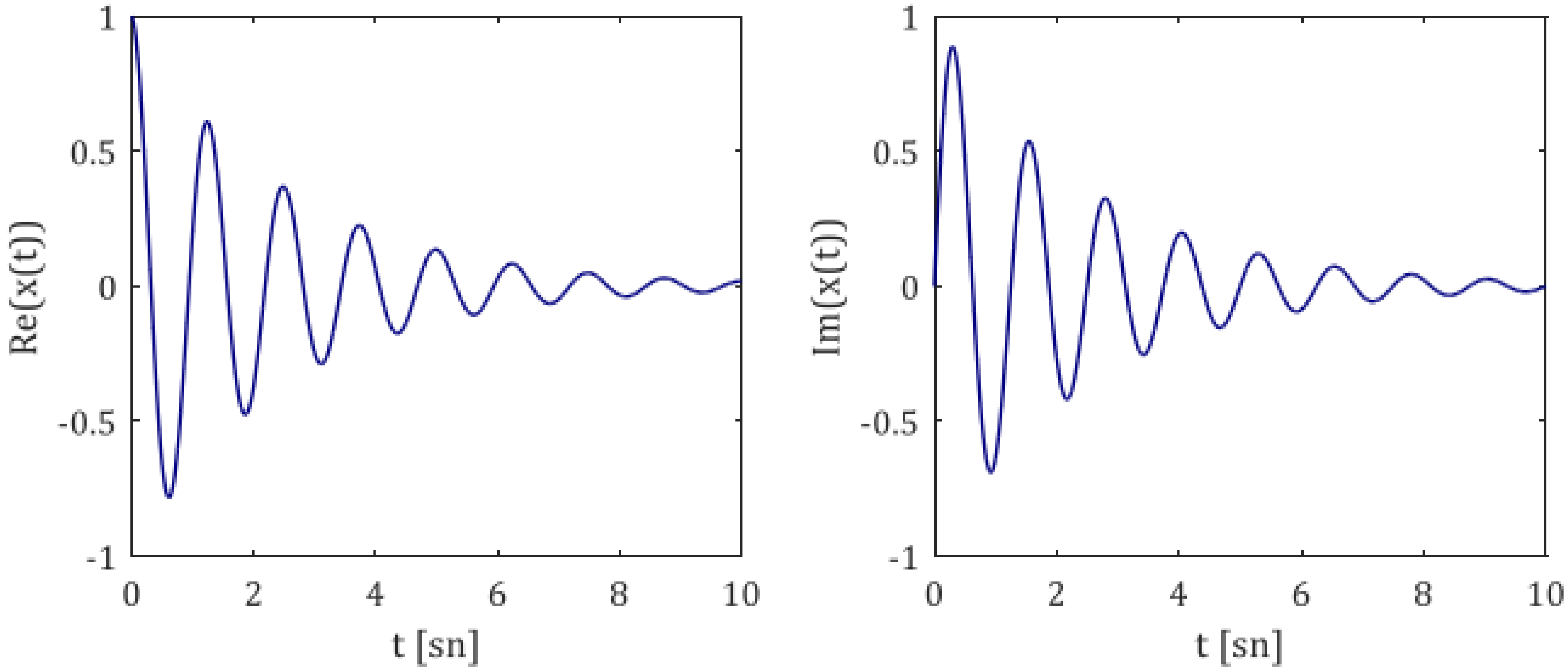
Genel Karmaşık Üstel Sinyaller

Bu sinyaller şu şekildedir: $x(t) = e^{(\sigma + j\omega_0)t}.$

Euler bağıntısı ➡ $x(t) = e^{(\sigma + j\omega_0)t} = e^{\sigma t}\cos\omega_0 t + j e^{\sigma t}\sin\omega_0 t.$

Genel Karmaşık Üstel Sinyaller

$x(t) = e^{(-0.4+j1.6\pi)t}$ sinyalinin reel ve sanal kısımlarının grafikleri



Genel Karmaşık Üstel Sinyaller

Soru

$x(t) = e^{(0.4+j1.6\pi)t}$ sinyalinin reel ve sanal kısımları

$x[n] = e^{(0.2+j2.4\pi)n}$ sinyalinin reel ve sanal kısımları

Genel Karmaşık Üstel Diziler

Bu sinyaller şu şekildedir: $x[n] = e^{(\Sigma + j\Omega_0)n}$.

Euler bağıntısı

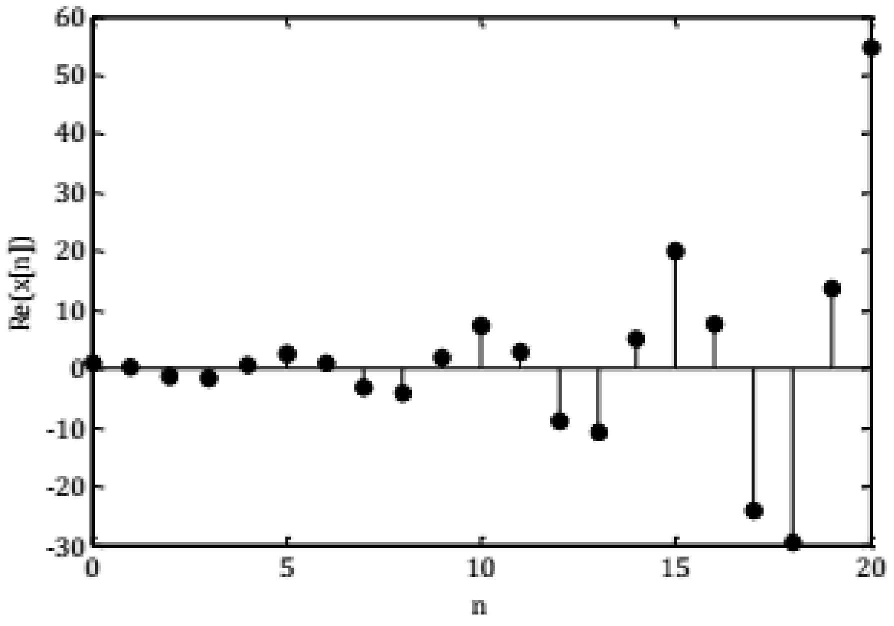
Genel Karmaşık Üstel Diziler

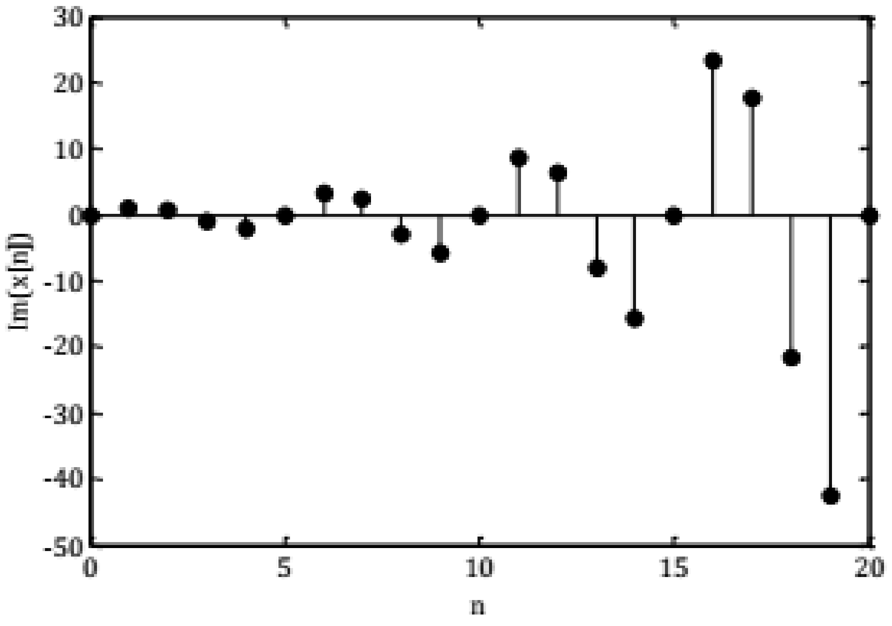
Bu sinyaller şu şekildedir: $x[n] = e^{(\Sigma + j\Omega_0)n}$.

Euler bağıntısı $\Rightarrow$ $x[n] = e^{(\Sigma + j\Omega_0)n} = e^{\Sigma n} \cos \Omega_0 n + j e^{\Sigma n} \sin \Omega_0 n.$

Genel Karmaşık Üstel Diziler

$x[n] = e^{(0.2+j2.4\pi)n}$ sinyalinin reel ve sanal kısımlarının grafikleri



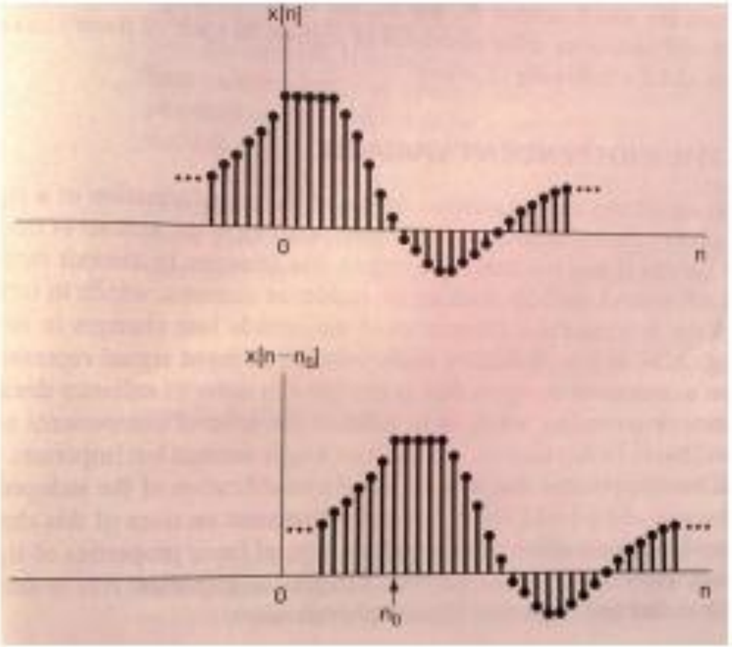


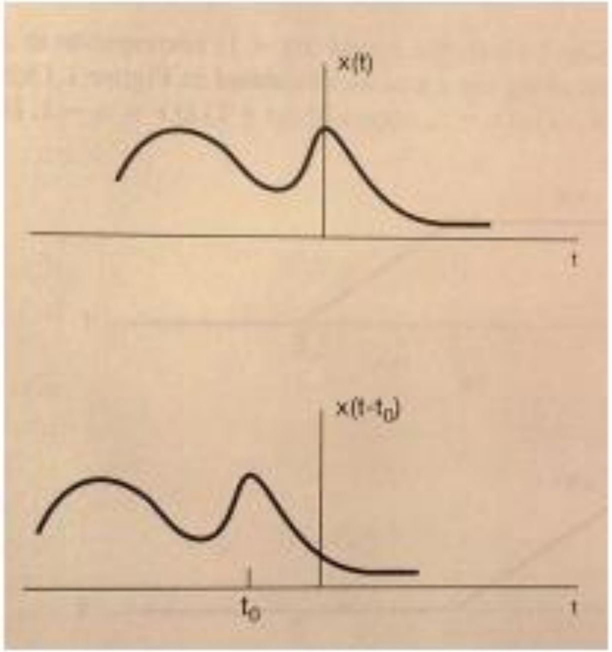
Bağımsız değişkenin dönüşümü

- İşaret ve sistem analizindeki önemli bir kavram bir işaretin dönüştürülmesidir.
- Örneğin, bir uçak kontrol sisteminde pilotun eylemlerine karşılık işaretler elektriksel ve mekanik sistemler aracılığıyla uçağın hız veya konumundaki değişikliklere dönüştürülür.
- Diğer bir örnek olarak, bir ses siteminde kaset veya CD'ye kaydedilmiş müziği temsil eden bir giriş işareti istenilen karakteristikleri iyileştirme, kaydetme gürültüsünü gidermek amacıyla değiştirilebilir.
- Aşağıda, bağımsız değişkene yapılan basit değişikliklerden oluşan dönüşümleri ele alacağız.
- Bu basit dönüşümler, işaretler ve sistemlerin temel özelliklerini tanımlamamıza imkan verecektir.

Bağımsız değişkenin dönüşümü

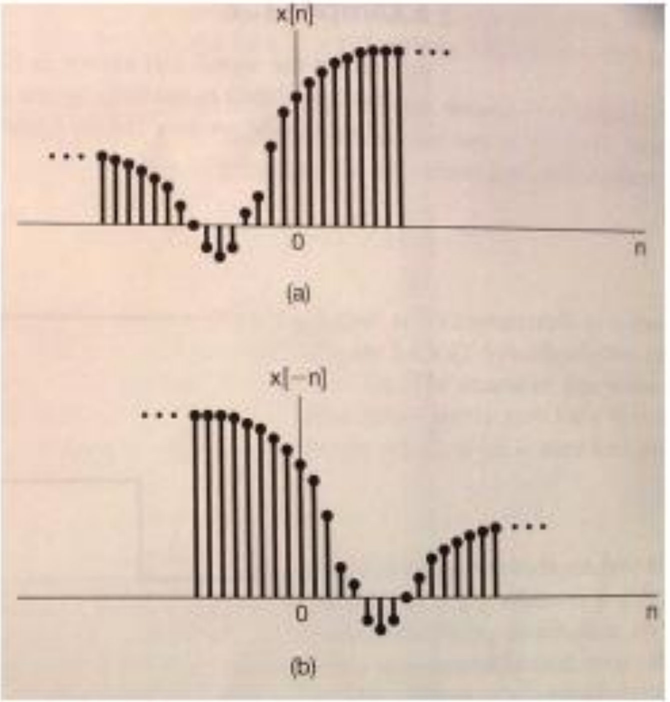
- Bağımsız değişkene yapılabilecek dönüşümlerden birisine ZAMANDA ÖTELEME denir ve sürekli durum için $x(t\text{-}t_0)$ şeklinde ifade edilir (ayrık-durumda ifade $x[n\text{-}n_0]$'dir). Orijinal ve ötelenmiş işaretlerin şekli aynıdır ancak işaretler birbirlerine göre kaymıştır.

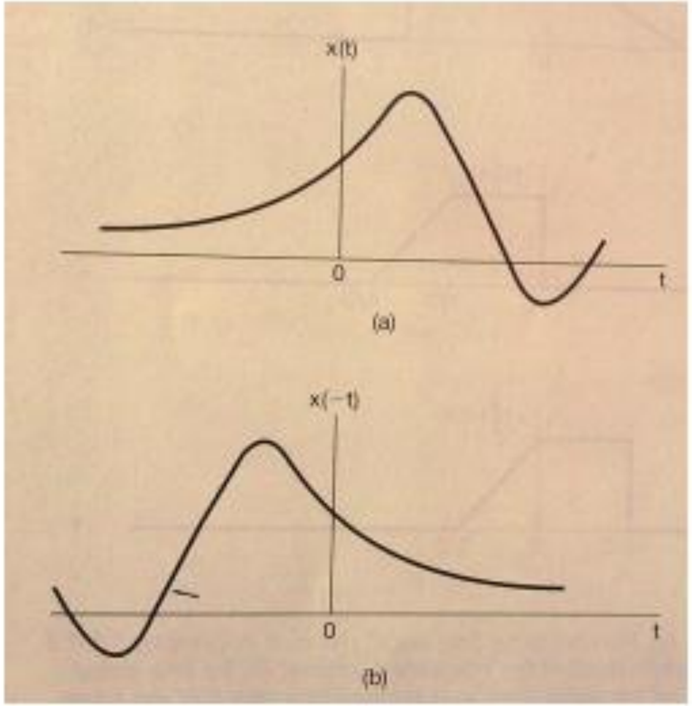




Bağımsız değişkenin dönüşümü

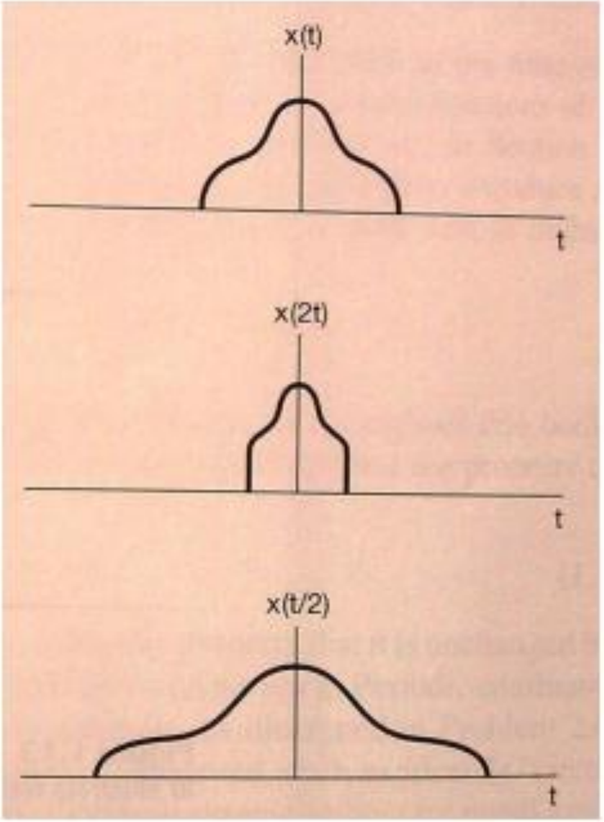
- Bağımsız değişkene yapılabilecek ikinci bir dönüşüme ZAMANI TERSİNE ÇEVİRME denir ve sürekli durumda matematiksel olarak $x(-t)$ şeklinde ifade edilir. Orijinal işaretin dikey eksen ($t = 0$) etrafında döndürülmesiyle zaman tersine çevrilmiş işaret elde edilir.





Bağımsız değişkenin dönüşümü

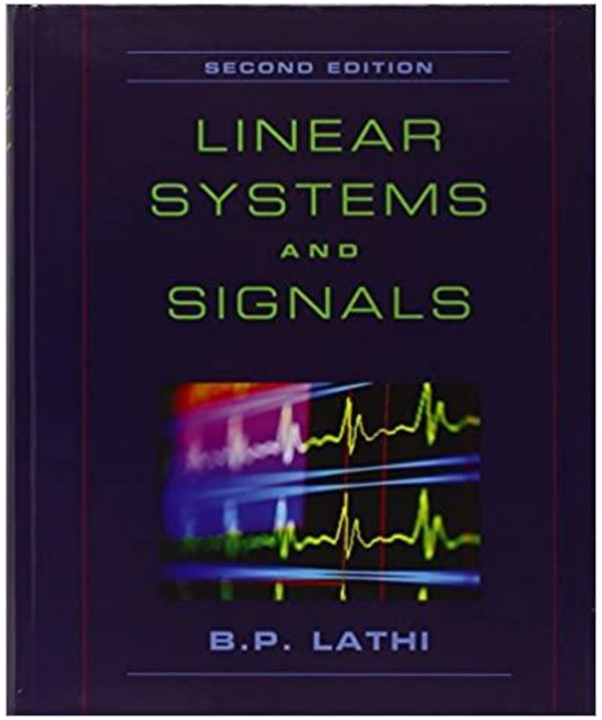
- Bağımsız değişkene yapılabilecek üçüncü dönüşüme ÖLÇEKLEME denir ve sürekli durumda $x(\alpha t)$ biçiminde temsil edilir. α'ya ölçekleme katsayısı denir. α'nın 1'den büyük olması durumunda orijinal işaretin şeklini bozmadan işareti α kadar daraltarak öçeklenmiş işareti elde ederiz. Aksi durumda, orijinal işaret α'nın tersi kadar genişletilir.



Bu ders notu için faydalanılan kaynaklar

E 2.5
Signals & Linear Systems

Peter Cheung
Department of Electrical & Electronic Engineering
Imperial College London



EEEN343 Sinyaller ve Sistemler

Ders Notları

Prof. Dr. Serdar İplikçi
Pamukkale Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği

Dinleyin

- https://www.youtube.com/watch?v=2_Pl25nFhr4
- https://www.youtube.com/watch?v=josvb9JUGzk

Takip edin

- https://www.youtube.com/user/allsignalprocessing/videos