



Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Haberleşme Laboratuvarı Deney Föyü ¹

Darbe Kod Modülasyonu

Lab. Sorumlusu:

Yasin Yıldırım

Emin Akpınar

Emir Aslandoğan

E-posta:

{ *ysnyldrm, emin.akpinar, emira* } @ yildiz.edu.tr

Lab Kuralları :

- Deney föyüne dikkatlice bireysel olarak çalışılması
- Föy içerisinde bulunan konu anlatımdaki kodların yazılması ve yorumlanması
- Araştırılması gereken kod veya konu varsa araştırılması
- Laboratuvara föy haricinde (flash, pc tablet vb.) herhangi bir aracın getirilmemesi
- Bilgisayar düzenine göre yerleşilmesi
- Deney bitiminde bilgisayarların yeniden başlatılması
- Laboratuvara her hangi bir yiyecek ve içeceğin getirilmemesi

¹ ~~TEX~~ v0.1

1 Deneyin Amacı ve Çalışma Soruları

Giriş

Bu deneyin amacı öğrencinin, Darbe Kod Modülasyonuna ilişkin blok şemaları çizerek, modülasyon ve demodülasyon işlevlerini bir giriş sinyali üzerinde uygulayarak anlayabilecektir.

Çalışılması Gereken Konular

- *quantiz, de2bi, stairs, reshape, bi2de, legend* gibi temel fonksiyonlar
- "Örnekleme Teoremi, Kuantalama ve Kodlama kavramları

Önemli Bağlantılar ve Kaynaklar

- <https://www.coursera.org/lecture/internet-of-things-sensing-actuation/pulse-code-modulation-pcm-eAPvD/>
- ▲ <https://unacademy.com/lesson/pulse-code-modulation-pcm/C6LAA2LJ>
 - https://web.sonoma.edu/esee/courses/ee442/archives/sp2019/lectures/lecture09_pcm.pdf

- Kendi emeğinize ve çalışan arkadaşlarınızın emeğine saygı gösteriniz. Cevaplarınızı paylaşmayınız.
- Final sınavında iyi not alabilmek için soruları bireysel cevaplamalısınız.
- Kopyanın en büyük zararının kendinize olduğunu unutmayınız.
- Cevapları başkalarından 'almak' yerine konuları 'anlamaya' çalışınız.
- Başarılar dileriz...

2 Darbe Kod Modülasyonu

Sayısal iletim, bir iletişim sisteminde iki nokta arasında sayısal darbelerin iletimidir. Başlangıçtaki kaynak bilgi, sayısal ya da analog biçimde olabilir; kaynak bilgi analog ise, iletimden önce sayısal darbelere, alma ucunda ise tekrar analog biçime dönüştürülmelidir. Sayısal iletim sistemlerinde, sistemdeki iki noktayı bağlamak üzere metalik tel çifti, koaksiyel kablo ya da fiber optik kablo gibi fiziksel bir malzeme kullanmak gerekir. Darbeler, fiziksel malzemenin içinde yayılım yaparlar.

Sayısal iletimin avantajlarını sıralayacak olursak;

- Sayısal iletimin en önemli avantajı, gürültüden fazla etkilenmemesidir. Analog sinyaller, sayısal darbelere oranla arzu edilmeyen genlik, frekans ve faz değişimlerine daha yatkındırlar. Bunun da nedeni, sayısal iletimde, bu parametreleri analog iletimde olduğu kadar tam ve kesin olarak değerlendirmenin gerekli olmamasıdır. Sayısal iletimde, alınan darbeler bir örnekleme aralığında değerlendirilir ve darbenin belli bir eşiğin üstünde mi yoksa altında mı olduğu belirlenir.
- Sayısal darbeler, işleme ve çoğullama için analog sinyallerden daha uygundur. Sayısal darbeler kolayca saklanabilir ancak analog sinyalleri saklamak kolay değildir. Ayrıca, sayısal bir sistemin iletim hızı, değişik ortamlara uyum gösterecek ya da değişik tür donanımlara arabirim üzerinden bağlanacak şekilde kolayca değiştirilebilir. Çoğullama, daha sonraki bölümlerde ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

Sayısal iletimin dezavantajları ise;

- Sayısal olarak kodlanmış analog sinyallerin iletimi, analog sinyalleri oldukları gibi iletmeye oranla daha fazla bant genişliği gerektirir.
- Analog sinyaller, iletimden önce sayısal kodlara, alıcıda ise tekrar analog biçime dönüştürülmelidir.
- Sayısal iletim, verici ile alıcının saat darbeleri arasında duyarlılıklı senkronizasyon gerektirir.
- Sayısal iletim sistemleri, günümüzde kullanılmakta olan analog sistem donanımı ile uyumlu değildir.

Darbe modülasyonunda, taşıyıcının darbe katarı olması nedeniyle, sürekli dalga modülasyonuna yani analog modülasyona göre üstünlükleri şöyle özetlenebilir:

- Darbe modülasyonunda iletilen güç, yalnız kısa darbeler içinde yoğunlaşmıştır. Sürekli dalga modülasyonundaki gibi sürekli olarak dağılmamıştır. Bu özellik tasarımcılara önemli kolaylıklar sağlamaktadır. Örneğin, yüksek güçlü mikrodalga tüpleri ve lazerler darbe biçiminde çalışmaya elverişli elemanlardır.

2. DARBE KOD MODÜLASYONU

- Darbeler arasındaki boşluklar, diğer mesajlara ait örneklerle doldurularak, tek bir haberleşme sistemi üzerinden birden fazla mesaj işaretinin iletilmesi sağlanabilir.
- İşlemler ayrık türden işaretlerle yapıldığı için son yıllarda tümleşik devre teknolojisindeki büyük gelişmeler, sayısal haberleşme devrelerinin gerçekleştirilmesini kolaylaştırmıştır.
- Sayısal işaret işleme tekniklerindeki ilerlemeler, sayısal işaretlerin daha yaygın kullanılmasını sağlamıştır.
- Bazı darbe modülasyonlu sistemler gürültü ve diğer bozucu işaretler açısından sürekli dalga haberleşmesinden daha güvenilir bulunmaktadır.

Darbe modülasyonu ile AM ve FM arasındaki temel fark; iletilecek bilgiye bağlı olarak taşıyıcının bazı parametreleri sürekli olarak değişir, hâlbuki darbe modülasyonunda; bilgi numunelerine bağlı olarak darbeler şeklinde bir etki söz konusudur. Darbe süresi çok kısa olduğu için, darbe modülasyonlu dalga, uzun süre boştur. Boşalan darbe aralarında ise başka bilgiler iletilir. Yine bu özelliğe bağlı olarak aynı kanal üzerinden çok sayıda farklı bilginin aynı anda iletilmesi mümkündür. Bu zaman paylaşımı sistemin esasını oluşturur. Telefon sistemindeki zaman paylaşımı ile birden fazla kişinin bir bilgisayar zaman paylaşımı ile beraber kullanması benzer olaylardır.

Günümüzde haberleşme teknolojilerinin gelişmesi ile analog modülasyonlu haberleşme sistemleri yerine sayısal haberleşme sistemleri kullanılmaktadır. Sayısal ortamda iletilen 0 ya da 1 bilgisine bit denir. Seri iletimde saniyede iletilen bit sayısına bps (bit per second) denir. Sembol ya da sinyal elemanına baud denir. Bir sinyal elemanı birden fazla bitten oluşabilir. Data iletiminde modülatör çıkışında bir saniyede meydana gelen sembol (sinyal) değişikliğine baud hızı denir. Baud hızı baud/s ile gösterilir. Baud hızı sinyalin anahtarlama hızını gösterir. Sayısal bilgi iletiminde bozulan ya da yanlış algılanan bit miktarına BER (Bit Error Rate) denir.

$$\text{BER} = (\text{Gönderilen hatalı bit sayısı}) / (\text{Toplam gönderilen bit sayısı})$$

Darbe Kod Modülasyonu (Pulse Code Modulation, PCM), analog işaretlerin belirlenmiş sayısal formda dönüştürülmesini sağlayan bir tekniktir. Bu teknikte analog işareten sayısal bilgiye ve sayısal bilgiden analog işarete dönüşüm sırasında oluşan kuantalama kayıplarını oldukça küçüktür. Bu nedenle Darbe Kod Modülasyonu günümüzde kuantalama kayıplarından oldukça etkilenen (konuşma işaretleri) işaretlerin sayısal formda iletilmesini sağlayan bir tekniktir. Sayısal işaretlerin, gürültüden etkilenmemesi ve tüm devre teknolojisinin gelişmesi ile sayısal verinin işlenmesinin (iletilme, sıkıştırma) nispeten daha ucuz olması artık bilgi iletimi, saklanması ve işlenmesi sırasında sayısal formatın analog formata göre tercih edilmesini doğurmuştur. Ancak analog formdaki kaynak bilgisinin sayısal forma dönüştürülmesi sırasında meydana gelen kuantalama ve kodlama hatalarından dolayı alıcıda elde edilen bilgidaki bozulma bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Özellikle kaynak

verisinin konuşma işaretleri olması alıcıdaki bozulmayı daha da belirgin hale getirmekte ve sayısal formun konuşma bilgisi için kullanılmasını engellemektedir. Darbe Kod Modülasyonu yukarıda açıklanan problemine bir çözüm önerisi olarak 1970'li yıllarda ortaya çıkmış ve günümüzde bu amaç için en çok kullanılan sayısallaştırma tekniği olmuştur. Darbe Kod Modülasyonu 3 aşamada gerçekleştirilir.

- Örnekleme
- Kuantalama
- Kodlama

PCM'de bilgi taşıyan $x(t)$ işareti önce uygun bir örnekleme frekansı ile örneklenir. Daha sonra bu örnek değerler belirli kuantalama seviyelerine kuantalanır. Buna kuantalama işlemi adı verilir. Son olarak, her kuantalama seviyesi bir ikili kod kelimesiyle, yani sonlu sayıda 0,1 dizisiyle gösterilir. İkili kod kelimeler dizisine dönüştürülen bu işarete PCM dalgası adı verilir. Şekil 1'de PCM sistemin verici bölümünün blok diyagramı görülmektedir.

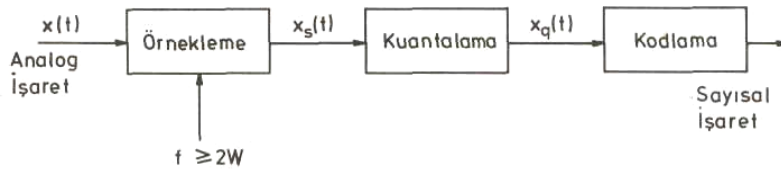


Figure 1: Darbe Kod Modülasyonu (Pulse Code Modulation – PCM)

2.1 Örnekleme

Tüm haberleşme sistemlerinde amaç en hızlı ve sağlıklı veri iletimini sağlamaktır. Analog haberleşmenin bilinen sakıncaları nedeniyle sayısal haberleşme tekniklerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla analog işaretlerin sayısal biçime dönüştürülmesi gerekmektedir. Bir analog işaretin sayısal işarete dönüştürülmesinde en önemli nokta, analog işaretin uygun bir örnekleme frekansı ile örneklenmesidir. Bunun için bilgi işareti, teoride ideal bir darbe dizisi ile pratikte ise darbe katarı ile çarpılır. Örnekleme işlemi eşit zaman aralıklarında periyodik olarak yapılır. T örnekleme periyodu, $f = 1/T$ örnekleme frekansı olarak adlandırılır.

F_{max} : bilgi işaretinin en yüksek frekans değeri olmak üzere

$$F_{\text{örnekleme}} = 2 \times F_{max} \quad (1)$$

Nyquist koşulu yeterli olduğu halde, pratikte örnekleme frekansı, alıcı tarafta bulunan alçak geçiren süzgecin ve diğer cihazların ideal olmaması nedeniyle $2 \times f_{max}$ frekansından biraz daha büyük seçilir. $F_{\text{örnekleme}} = 2 \times F_{max}$ değerine Nyquist frekansı da denir.

2.2 Kuantalama

Darbe genlik modülasyonunda örneklenmiş değerler belirli kuantalama seviyelerine yuvarlatılmadan iletilmektedir. Ancak, bu işlem işaretin gürültüye olan bağışıklığı açısından bir yarar sağlamayacaktır. Bunun yerine, işaret genliğini belirli kuantalama seviyelerine yuvarlatmak ve her kuantalama seviyesine uygun bir kod kelimesi karşı düşürmek daha uygun olmaktadır. $x(t)$ işaretinin maksimum ve minimum genlikleri A_{max} ile $-A_{max}$ arasında değişiyorsa ve bu aralıkta değişen genlik değerleri $L = 2^n$ adet eşit kuantalama seviyesine bölünmek isteniyorsa, kuantalama aralığı veya adımı

$$a = \frac{2 \times A_{max}}{2^n} \quad (2)$$

olarak tanımlanmaktadır. Kuantalama işleminde örnek değerlerin bulunduğu dilim belirlenir. Örneğin, -8 ve +8 volt arasında değişen bir $x(t)$ işaretini ele alalım. Bu aralık, 8 kuantalama seviyesine ayrılırsa, kuantalama aralığı $a = (16/8) = 2$ birim olacaktır.

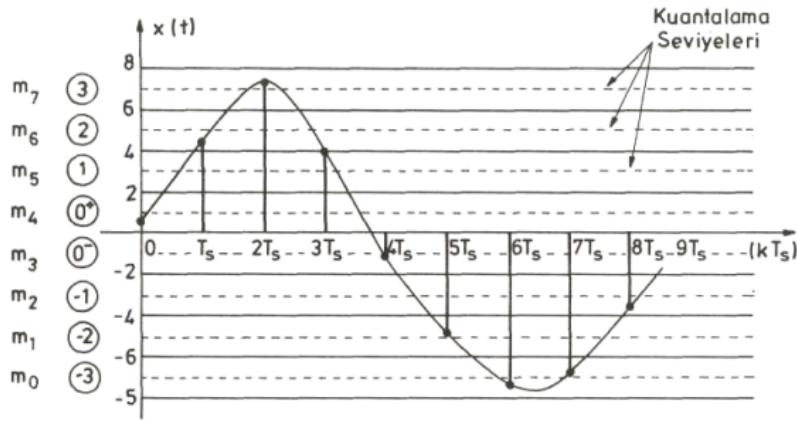


Figure 2: Örnek kuantalama seviyeleri.

Şekil 2’de gösterildiği gibi, her örnek değer 8 seviyeden birisine yuvarlatılır. Bu örnek için kuantalama seviyeleri $\pm 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3$ olmaktadır. Her örnekleme anında elde edilen değer, en yakın kuantalama seviyesine kuantalanır. Kuantalama dilim sayısı L arttıkça kuantalama gürültüsü de azalacaktır. Buna karşılık bir örneği belirlemek için kullanılması gerekli bit sayısı da artacaktır. PCM sistemin alıcı bölümünde Şekil 1’deki işlemlerin tam tersi yapılarak analog mesaj işareti elde edilir.

2.2.1 Kuantalama Hataları

Kuantalanmış örnek değerlerden, kuantalanmamış orijinal örnek değerlerin elde edilmesi mümkün değildir. Yani, tersine bir işlem olmayan kuantalama sonucunda, orijinal bilginin bir kısmı kaybolmaktadır. Kuantalanmış örnek işaret $x_q(t)$ mesaj işareti $x(t)$ ’nin yaklaşık bir değeri olduğundan bir bozulma söz konusudur. Bu bozulmaya “kuantalama hatası” adı verilmektedir.

$$e(t) = x(t) - x_q(t) \quad (3)$$

ifadesiyle gösterilen kuantalama hatasının etkisi bir toplamsal gürültünün etkisine eşdeğerdir. Bu nedenle, bu bozulma “kuantalama gürültüsü” olarak adlandırılır. Bu gürültü tamamen ortadan kaldırılamamakla beraber çeşitli yöntemlerle etkisi azaltılabilir.

Düzgün kuantalama ve düzgün giriş dağılımı için;

- Giriş sinyalin X rasgele değişkeninin $[-A, +A]$ arasında düzgün olduğunu varsayarsak,

$$p_X(x) = \begin{cases} \frac{1}{2 \times A}, & -A < X \leq A \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (4)$$

- q -seviyeli kuantalama şu dağılımı kapsar:

$$X_Q \in \left\{ \frac{(2k-1)h}{2} - A, \quad 1 < k \leq q, \quad h = \frac{2A}{q} \right\} \quad (5)$$

- Sinyal gücü ise

$$E\{X^2\} = \frac{1}{2A} \int_{-A}^A x^2 dx = \frac{A^2}{3} \quad (6)$$

2.2.2 Düzgün Olmayan Kuantalama

Özellikle ses işaretlerinin istatistikleri incelendiğinde, küçük genliklere daha sık rastlandığı görülmektedir. Oysa, yukarıda küçük işaretlerde, kuantalama gürültüsünün rahatsız edici boyutlarda olacağı gösterilmiştir. Bu gürültüyü azaltmak için başvurulacak ilk yöntem, adım büyüklüğünün azaltılması veya dilim sayısının artırılmasıdır. Ancak, bu durumda her bir örneği göstermek için kullanılması gereken bit sayısı artacağından, bu yöntem her zaman uygun ve ekonomik değildir. Diğer taraftan, çok seyrek olarak ortaya çıkan yüksek genlikli işaretler için gereksiz yere bir miktar dilim ayrılmış olacaktır. Eğer en büyük genlik küçük tutulursa, bu defa da kırpılmalar meydana gelecektir.

2.3 Kodlama

İletilecek sinyalin 0 ve 1 ler ile anlamlandırılmasına kodlama denir. L sayıda karakter, bit olarak kodlanmak istendiğinde gerekli bit sayısı aşağıdaki formülden bulunur.

n = Kodlamak için gerekli 2 li bit sayısı

L = Kuantalama Seviyesi olmak üzere

$$n = \log_2 L \quad (7)$$

şeklinde dir. Kodlama sonunda gerekli bit ve kullanılan bit arasındaki orana kod etkinliği denir ve bu oran ne kadar yüksek olursa kodlama o kadar etkin yapılmış demektir.

$$k_e = \frac{\text{Gerekli bitsayısı}}{\text{Kullanılan bitsayısı}} \quad (8)$$

3. PCM SINYALIN MODÜLE VE DEMODÜLE EDİLMESİ

Şekil 3’de analog bir işaretin örneklenmesi, kuantalanması ve buna karşılık gelen PCM işaretin elde edilmesi bir örnek üzerinde gösterilmiştir ($n=3$, $a=1$).

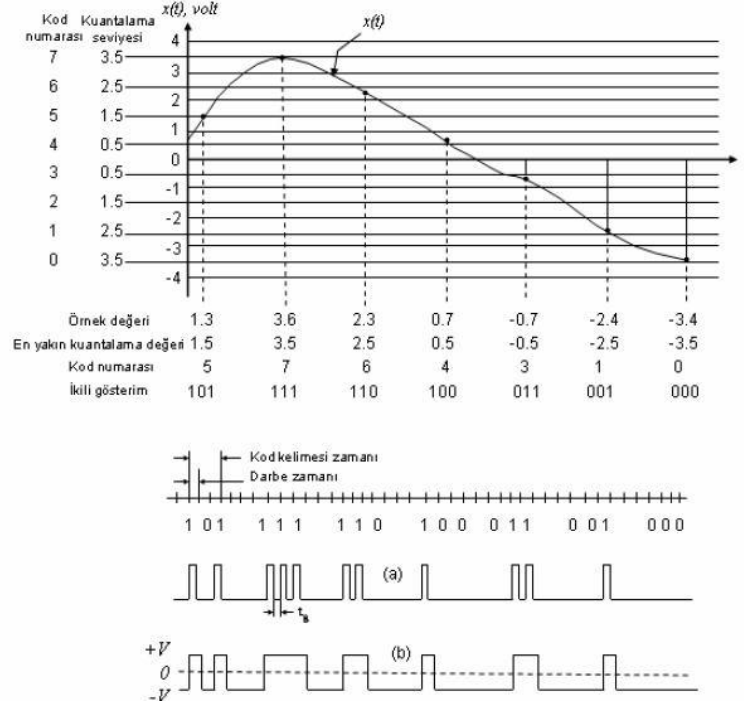


Figure 3: Analog bir işaretin örneklenmesi ve buna karşı düşen PCM işaretinin gösterilmesi.

3 PCM Sinyalin Modüle ve Demodüle Edilmesi

1: Bu örneğin amacı PCM sinyalini üretmektir. Daha sonra, üretilen bu sinyalden örnek olarak kuantalamak gerekmektedir.

```
1 clc; close all; clear all;
2 n=input('N-bit PCM sistemi için n değerini girin: ');
3 n1=input('Bir periyottaki örnek sayısını girin: ');
4 L=2^n; % Kuantalama seviyesi

6 % Sinyal Üretimi ve Ornekleme
7 x=0:2*pi/n1:4*pi; % n1 sayıda örnek seçilmelidir
8 s=8*sin(x); % Sinyalin Genliği 8v'dir
9 subplot(4,1,1);
10 plot(s);
11 title('Analog Sinyal'); ylabel('Genlik—>'); xlabel('Zaman—>');
12 subplot(4,1,2);
13 stem(s); grid on;
14 title('Örneklenen Sinyal'); ylabel('Genlik—>'); xlabel('Zaman—>');
```


Sinyal üretiminden sonra sırasıyla örnekleme, kuantalama ve kodlama gösterilmiştir.

```
1 % Kuantalama Islemi
2 Amax=8; Amin=-Amax;
3 del=(Amax-Amin)/L; % adim boyu
4 part=Amin:del:Amax; % Seviye, del farki ile Amin ve Amax arasindadir
5 code=Amin-(del/2):del:Amax+(del/2); % Kuantalama Degerleri
6 [ind,q]=quantiz(s,part,code); % Kuantalama Sureci
7 % ind indeks numarasini, q kuantalama degerlerini icerir
8 l1=length(ind); l2=length(q);
9 for i=1:l1
10     if(ind(i)~=0) % Dizini ikili sistemde yapmak icin 0'dan N'ye baslar
11         ind(i)=ind(i)-1;
12     end
13     i=i+1;
14 end
15 for i=1:l2
16     if(q(i)==Amin-(del/2)) % Seviyeler arasi kuantalama yapilir
17         q(i)=Amin+(del/2);
18     end
19 end
20 subplot(4,1,3);
21 stem(q);grid on;
22 title('Kuantalanmis sinyal'); ylabel('Genlik—>'); xlabel('Zaman—>');

24 % Kodlama Islemi
25 code=de2bi(ind,'left-msb'); % Decimali ikili sisteme donusturme
26 k=1;
27 for i=1:l1
28     for j=1:n
29         coded(k)=code(i,j); % kod matrisini kodlanmis bir satir vektorune
30             donusturme
31         j=j+1;
32         k=k+1;
33     end
34     i=i+1;
35 end
36 subplot(4,1,4); grid on;
37 stairs(coded); % Kodlanmis Sinyal
38 axis([0 100 -2 3]);
39 title('Kodlanmis Sinyal'); ylabel('Genlik—>'); xlabel('Zaman—>');
```

Aşağıdaki şekilde üretilen analog sinyal 10 bit için ve 10 örnek alınarak oluşturulmuştur.

3. PCM SINYALIN MODÜLE VE DEMODÜLE EDİLMESİ

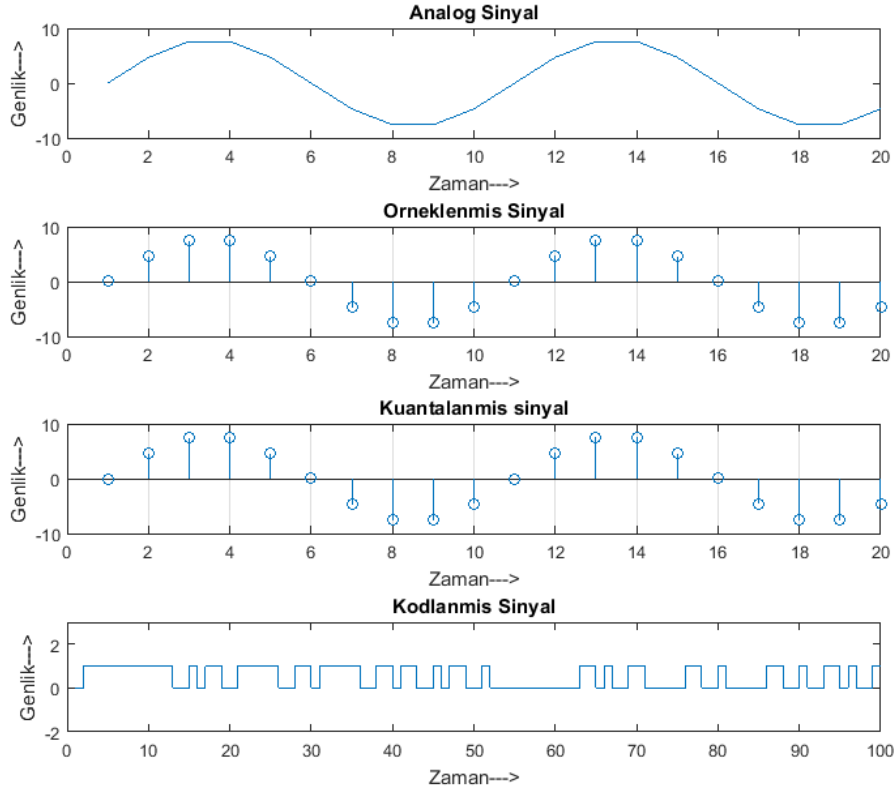


Figure 4: Üretilen, örneklenen, kuantalanan ve kodlanan sinyal

2: PCM için demodülasyon aşağıdaki gibi gerçekleştirilmektedir.

```
1 % Demodulasyon Islemi
2 qunt=reshape(coded,n,length(coded)/n);
3 index=bi2de(qunt,'left-msb'); % Dizini ondalik degerlerine geri alma
4 q=del*index+Amin+(del/2); % Kuantalama degerlerine geri alma
5 subplot(2,1,2); grid on;
6 plot(q);
7 title('Demoduleli Sinyal'); ylabel('Genlik-->'); xlabel('Zaman-->');
```

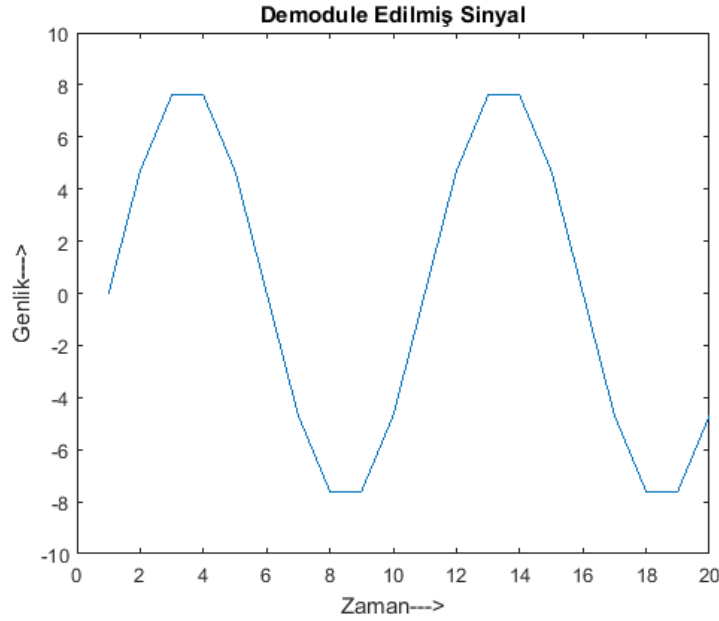


Figure 5: Demodulasyon yapıldıktan sonra sinyal

4 Deneyde Yapılacaklar

Deney kapsamında 2 soru bulunmaktadır. Her soru için mutlaka Fig. (6)'de gösterildiği gibi yeni sekme açılmalı ve **S_1** olarak isimlendirilmelidir. Sorular altında bulunan alt başlıklar için sekme sayfası %% ile bölümlere ayrılmalıdır ve **S_1a** olarak isimlendirilmelidir. **CTRL + ENTER** ile her bir bölüm bağımsız olarak çalıştırılabilir.

```

1      %% S-2a
2      clear all, close all; clc
3      A = [1 2 3; 4 5 6; 7 8 9];
4      a = A(1,2); disp(['a = ', num2str(a)])
5      %% S-2b
6      b = A*A*A;
7      c = A(:);
8      %% S-2c
9
10     d = A.^2*A';
11     e = sum(d(:))

```

Figure 6: Örnek çözüm sistematığı

4. DENEYDE YAPILACAKLAR

1A: Genliği 5, frekansı 10 olan cosinüs giriş işareti oluşturunuz. ($t=0$ ile 1 arasında 0.01 adım aralığında alabilirsiniz.). Giriş işaretinin eksen düzenli genlik spektrumunu çizdiren kodu yazınız. Title komutu ile başlık yazınız. Grafikleri yorumlayınız (10P).

1B: (1A)'da oluşturulan işaretten $n_1 = 5, 10, 50$ örnekler alarak örneklenmiş sinyal grafiğini tek bir figürde alt alta çizdiriniz. Title komutu olan yerlere gerekli başlıkları yazınız. Grafikleri yorumlayınız (20P).

2A: Genliği $A=10$, $n=20$ -bit ve $n_1=10$ olan PCM sisteminin kodunu yazarak kuantalanmış işareti çizdiriniz. Uygun yerlere title ile başlık ekleyiniz. Grafiği yorumlayınız (20P).

2B: (2A)'daki işareti kodlayıp çizdiriniz. Uygun yerlere title ile başlık ekleyiniz. Grafiği yorumlayınız (10P).

2C: (2A)'daki işareti demodüle eden kodu yazınız. Demodülasyon sonucu oluşan işaretle giriş işaretini farklı renklerde üst üste **legend** komutu kullanarak tek bir figürde çizdiriniz (10P).

3A: Kendiniz PCM giriş işareti oluşturunuz. İşarete 20 dB beyaz gauss gürültüsü ekleyerek ve giriş işareti ile aynı figürde çizdiriniz (10).

3B: Elde ettiğiniz gürültü eklenmiş PCM işareti demodüle ederek giriş işaretiyle karşılaştırınız. Demodülasyon sonucu oluşan işaretle giriş işaretini farklı renklerde üst üste **legend** komutu kullanarak tek bir figürde çizdiriniz ve grafiği yorumlayınız (10P).

3C: 0 dB beyaz gauss gürültüsü için **3A** ve **3B** deneylerini tekrar elde ediniz ve yorumlayınız (10P).

DENEY SONU .:
