

# KABLOSUZ İLETİŞİM

## 805540

# MODÜLASYON TEKNİKLERİ – SAYISAL MODÜLASYON

# İçerik

3

- Sayısal modülasyon
- Sayısal modülasyon çeşitleri
- Sayısal modülasyon başarımı

# Sayısal Modülasyon

4

- Analog yerine sayısal modülasyon yöntemleri
- Avantajları
  - Gürültüye karşı direnç
  - Farklı biçimli bilginin kolay çoğullanması
  - Yüksek güvenlik
  - Yanılgı denetim kodları
  - Kaynak kodlama
  - Denkleştirme

# Sayısal Modülasyon

5

- Modüle eden işaret darbe dizisi
- Her simge sonlu sayıda  $m$  adet durum içerir.
- $n = \log_2 m$  bit/sembol

# Sayısal Modülasyon Seçimi

6

- Amaç:
  - Düşük SNR değerinde düşük BER değeri
  - Düşük bant genişliği kullanımı
  - Sönümlü kanallarda yüksek başarımlı
  - Gerçekleştirilmesinin kolay ve ucuz olması
- Bant genişliği verimi
- Güç verimi

# Güç Verimi

7

- Mesajın düşük bit yanılğı oranı ile elde edilme yeteneği
- Güç verimi,  $\eta_p$
- Bit başına düşen işaret enerjisinin gürültü güç spektral yoğunluğuna oranı,  $E_b/N_0$

# Bant Genişliği Verimi

8

- Veriyi sınırlı bant genişliğinde taşıma yeteneği
- Daha hızlı iletişim
  - Daha çok bant genişliği ihtiyacı
- Bant genişliği verimi,  $\eta_B = \frac{R}{B} \text{bps/Hz}$ 
  - İşgal edilen bant genişliğinin ne oranda verimli kullanıldığının ölçüsü
- Veri hızı ile bant genişliği arasındaki ilişki
  - *Biliřim Kuramı*



# Sistem Kapasitesi

- Shannon Kanal Kodlama Teoremi
  - İletim hızı kanal kapasitesinden küçük olmak şartıyla uygun kodlama yöntemi kullanıldığında oluşacak yanılğı oranı istenildiği kadar küçük yapılabilir.
- Toplanır beyaz Gauss gürültü (AWGN) kanalı için,
  - $\eta_{B_{\max}} = \frac{C}{B} = \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right)$

# Güç – Bant Genişliği Verimi

10

- Kanal kodlaması kullanımı
  - Bant genişliği verimini azaltır
  - Güç verimini arttırır
- Yüksek seviyeli modülasyon yöntemleri
  - Bant genişliği verimini arttırır
  - Güç verimini azaltır
- Uzlaşa
- Diğer verim kriterleri
  - Karmaşıklık, maliyet,...

# Bant Genişliği ve Güç Spektral Yoğunluğu

11

- Bant genişliği tanımı
  - Tek bir tanım mevcut değil
- Güç spektral yoğunluğuna bağlı olarak farklı tanımlar yapılabilir.
  - Mutlak bant genişliği – sıfırdan farklı tüm aralık
  - Yarı güç bant genişliği – 3 dB azalma olan aralık
  - Sıfırdan sıfıra bant genişliği – ana spektral lob

# Modülasyon İşaretlerinin Geometrik Gösterimi

12

- $S = \{s_1(t), s_s(t), \dots, s_M(t)\}$  : modülasyon işaret kümesi
- $\log_2 M$  adet sembol
- İkili sistemde sadece 2 sembol
- $M=8$  ise 3 bit ile gösterim mümkün

# Geometrik Gösterim

13

- Vektör uzayının sonlu bir kümesi vektör uzayının bazını oluşturan  $N$  tane birim dik sinyal ile ifade edilir.
- Baz vektörleri:  $\{\phi_j(t) \mid j = 1, 2, \dots, N\}$
- Dikgen vektörler
  - $\int_{-\infty}^{\infty} \phi_i(t)\phi_j(t)dt = 0 \quad , i \neq j$
- Normalize edilmiş vektör
  - $E = \int_{-\infty}^{\infty} \phi_i^2(t)dt = 1$

# Örnek Geometrik Gösterim

14

- $s_1(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_c t)$  ve  $s_2(t) = -\sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_c t)$  : işaretler
- $\phi_1(t) = \sqrt{\frac{2}{T_b}} \cos(2\pi f_c t)$  : baz vektörü
- $s(t) = \left\{ \sqrt{E_b} \phi_1(t), -\sqrt{E_b} \phi_1(t) \right\}$  : işaret kümesi

# Sayısal Modülasyon Teknikleri

15

- Doğrusal Modülasyon
  - İletilen sinyalin genliği, modüle eden sinyal ile doğrusal olarak değişir.
  - Bant genişliği açısından verimlidir.
  
- Doğrusal Olmayan Modülasyon
  - İletilen işaretin genliği sabittir.
  - Daha fazla bant genişliğine ihtiyaç duyulur.

# İkili Faz Kaydırmalı Modülasyon, BPSK

16

- Sabit genlikli taşıyıcının fazı  $m_1$  ve  $m_2$  sinyallerine bağlı olarak değişir.
- Faz farkı genellikle  $180^\circ$ 'dir.
- Taşıyıcısı bastırılmış çift yan bant genlik modülasyonu ile aynı.
- $A_c$  genlikli sinüzoidal taşıyıcının bit başına enerjisi
  - $E_b = A_c^2 T_b / 2$



# BPSK Bit Yanılğı Oranı

17

□ AWGN kanal için,

$$□ P_{e,BPSK} = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right)$$

# Dördün PSK, QPSK

18

- Tek bir sembol ile 2 bit taşındığı için BPSK sinyaline göre 2 kat daha fazla bant genişliği verimine sahip.
- Taşıyıcı fazları:  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $270^\circ$
- QPSK işareti:
  - $s_{QPSK}(t) = \sqrt{\frac{2E_s}{T_s}} \cos\left(2\pi f_c t + (i-1)\frac{\pi}{2}\right)$
- Sembol süresi bit süresinin iki katıdır.

# QPSK

19

## □ Baz fonksiyonları

$$\square \phi_1(t) = \sqrt{\frac{2}{T_s}} \cos(2\pi f_c t) \text{ ve } \phi_2(t) = \sqrt{\frac{2}{T_s}} \sin(2\pi f_c t)$$

## □ QPSK işareti:

$$\square s_{QPSK}(t) = \left\{ \sqrt{E_s} \cos\left[(i-1)\frac{\pi}{2}\right] \phi_1(t) - \sqrt{E_s} \sin\left[(i-1)\frac{\pi}{2}\right] \phi_2(t) \right\}$$

# QPSK Spektrumu ve Bant Genişliği

20

- Sıfırdan sıfıra bant genişliği  $R_b$ 
  - ▣ BPSK bant genişliğinin yarısı

# QPSK Bit Yanılgı Oranı

21

- AWGN kanalı için,
  - ▣ Aynı enerji verimliliği ile iki kat daha fazla bant genişliği verimi
  - ▣  $P_{e,QPSK} = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right)$
- Sembol yanılgı oranı BPSK ile aynı değil!

# DPSK

22

- Referans sinyaline ihtiyaç duyulmadığı için alıcı karmaşıklığı azaltılmıştır.
  - Enerji veriminde azalma!
- Klasik PSK işaretine göre 3 dB daha kötü sonuca sahiptir.

# Sabit Zarf Modülasyonu

- Taşıyıcı genliğinin sabit olduğu doğrusal olmayan modülasyon
- Sabit zarf modülasyonları daha fazla bant genişliğine ihtiyaç duyar.
  - İkili frekans kaydırmalı modülasyon (BFSK)
  - En küçük kaydırmalı modülasyon (MSK)
  - Gauss en küçük kaydırmalı modülasyon (GMSK)
- Bant genişliği veriminin daha önemli olduğu uygulamalar için uygun değildir.

# İkili Frekans Kaydırmalı Modülasyon, BFSK

24

- Genliği sabit olan taşıyıcı frekansı mesaj değerine bağlı olarak farklı iki frekans değeri alır.

- $s_{FSK}(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_c \pm 2\pi\Delta f)t$

- $2\pi\Delta f$  : sabit offset

- Sürekli olmayan FSK – iki ayrı osilatör devresi

$$s_{FSK}(t) = v_H(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_H t + \theta_1)$$



$$s_{FSK}(t) = v_L(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_L t + \theta_2)$$



# BFSK Yanılgı Oranı

25

- AWGN kanalı için uyumlu alıcı yanılgı oranı,
- $P_{e,FSK} = Q\left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}}\right)$
- Uyumlu olmayan alıcı yanılgı oranı,
- $P_{e,FSK-NC} = \frac{e^{-E_b/2N_0}}{2}$

# En Küçük Kayma Modülasyonu, MSK

26

- Sürekli faza sahip FSK
- Spektral verimi yüksek olduğundan gezgin kablosuz sistemler için uygundur.

# Birleştirilmiş Doğrusal ve Sabit Zarf Modülasyon Teknikleri

27

- Genlik ve fazın/frekansın aynı anda değiştirilmesi
- Etkin güç kullanımı
- Etkin bant genişliği kullanımı
- M kipleme
  - 2 veya daha fazla bit bir sembol oluşturur.
  - Bant sınırlı kanallarda etkili bir yöntem
  - Yanılgı başarımı ve güç verimliliği azalır.

# M – PSK

28

□  $M$  olası değer

□  $s_i(t) = \sqrt{\frac{2E_s}{T_s}} \cos\left(2\pi f_c t + \frac{2\pi}{M}(i-1)\right)$

□  $\theta_i = 2(i-1)\pi / M$

□  $E_s = (\log_2 M)E_b$

□  $T_s = (\log_2 M)T_b$

# Dördün GM (QAM)

29

- Fazın yanında genliğinde değiştirilmesiyle gerçekleştirilen modülasyon
- $$s_i(t) = \sqrt{\frac{2E_{\min}}{T_s}} a_i \cos(2\pi f_c t) + \sqrt{\frac{2E_{\min}}{T_s}} b_i \sin(2\pi f_c t)$$
- Sembol genlikleri ve semboller arasındaki uzaklıklar sabit değildir.
- Güç ve bant genişliği verimi M-ary PSK ile benzerdir.

# M – FSK

30

- Bant genişliği verimi artan  $M$  ile azalır.
- Tüm sinyaller dikgen olduğu için güç verimi  $M$  ile artar.

- $$s_i(t) = \sqrt{\frac{2E_s}{T_s}} \cos\left(\frac{\pi}{T_s}(n_c + i)t\right)$$

# Sönümlü ve Çok Yol Kanallarında Modülasyon Başarımı

31

- Bit yanılğı oranı (BER)
  - Başarım için bilgi verir.
  - Yanılğının türü hakkında bilgi vermez.
- Servis kesilme olasılığı

# Yanılğı Oranları

32

- ▣ Farklı modülasyon teknikleri için,
- Sönümlü kanalda yanılğı oranı ile ortalama SNR arasında ters orantılı ilişki
- AWGN kanalında yanılğı oranı ile SNR arasında üstel ilişki.
- Sönümlü kanallarda aynı başarıım için çok daha yüksek SNR artışına ihtiyaç duyulur.
- BER başarıımının arttırılması için yanılğı denetim kodlarına ihtiyaç duyulur.



# Frekans Seçici Sönümlü Kanallarda Başarım

33

- Semboller arası girişim sonucu düşürülemeyen BER değerleri
  - Azaltılamayan BER katları
- BER hesaplamaları için bilgisayar benzetimleri

# Kaynak

34

- *Wireless Communications, Principles and Practice*
  - Theodore S. Rappaport