

# Komünikasyon Teorisinin Uygulamaları

Yazan :

L. S. SCHWARTZ,  
New York Un.

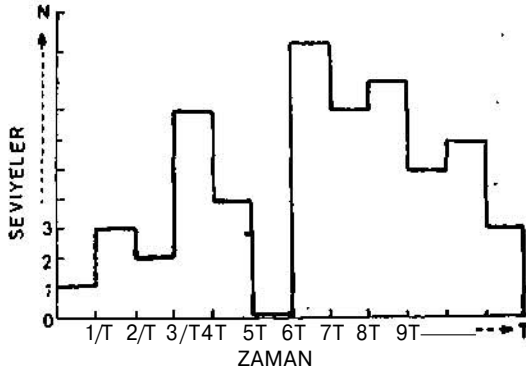
Çeviren:

Rüyal ERGÜL.  
Y. Müh.  
OD.TÜ.

*Özet* Son yıllarda hızla gelişen komünikasyon metodları büyük ölçüde istatistik teorisine ve ihtimaller teorisine bu alanda uygulanması sonucudur. Bu yazıda belirli özelliklere sahip bir kanal incelenmiş ve verici gücü, band genişliği, kanal kapasitesi arasında ilişki verilmiştir. Kanalda, gürültünün etkisi altında, en büyük kanal kapasitesine erişmek için gerekli metodlar incelenmiştir.

Komünikasyon teorisinin istatistik bir problem olarak ele alınması, Claude Shannon ve Norbert Wiener'in çalışmaları sonucudur. Shannon'un teorisi, esas olarak: belirli güç, zaman ve band genişliği sınırları içinde kalarak, bozucu kanal gürültüsü etkisine karşı koymak için haberin vericiden nasıl organize edilmesi gerektiğini gösterir. Wiener'in teorisi gürültü etkisiyle bozulmuş bir sinyalin alıcıda, parametrelerin belirli sınırları içinde kalmak şartıyla, uygun şekilde filtre edilerek nasıl elde edilebileceğini gösterir.

Kolayca görülecektir ki komünikasyon hızı; verici gücü, sinyal band genişliği ve haber süresi gibi önemli faktörler tarafından tayin edilir. R. V. Hartley, 1928 yılında ilk olarak bu parametreler arasında bir bağlantı kurmuştur. Eğer sinyal dalga şekli, genliği, kuantize edilmiş  $N$  sayıda seviyeden meydana geliyorsa, (Şekil - 1)



Şekil 1 —  $N$  seviyede kuantize edilmiş sinyal dalga şekli genliği

ki burada her seviye dalga şeklini üreten kaynağın belirli bir konumuna karşılıktır,  $T$  saniyelik bir zaman aralığında  $2WT$  bağımsız örnek vardır. Burada  $W$  sinyal band genişliğidir. Böylece  $N$  sayıda birbirinden farklı seviye varsa mümkün olan konum sayısı  $N^{J_{WT}}$  olacaktır. Çeşitli konumların seçilmesiyle iletilen enformasyon  $\log N$  ve  $T$  ile orantılıdır ve enformasyon hızı:

$$(1) \quad R = 2WT \log N$$

olarak verilir.

Fakat, Hartley'in teorisi kuantizasyon hassaslığını, gürültünün etkilerini ve haber kaynağında değişik konumların probabilitelerini dikkate almamıştır. Sonradan bu kavram Shannon'un gürültülü bir kanala bağlanmış istatistik kaynak (statistical source) kavramıyla değiştirilmiştir.

Normal olarak vericide enformasyon, vericinin teorik olarak gönderilebileceği maksimum değişik haber sayısı ile ölçülür. Alıcıda enformasyon, bu değişik haberlerden hangisinin gönderileceğine dair ön belirsizlik cinsinden (initial uncertainty) ölçülür. Haberin alınması bu ön belirsizliği ortadan kaldırır. Vericinin gönderebileceği haber sayısı ne kadar büyükse, alıcıda ön belirsizlik de o kadar büyüktür. Fakat, haber alındığı zaman daha çok enformasyon nakledilmiş olacaktır. Bundan dolayı enformasyon, haber probabilitelerinin bir fonksiyonu olacaktır.

Ön belirsizliğin ölçüsü, istatistik mekanikteki entropi'ye benzeşimli (analog) bir büyüklüktür. Entropi bir rastgelelik (randomness) veya düzensizlik ölçüsüdür ve probabilitelerin logaritması olarak ifade edilir. Komünikasyon teorisinde entropi negatif enformasyon veya alıcıda ön belirsizlik, ki bu belirsizlik haber alındığı zaman ortadan kalkar, olarak sayılabilir. Dolayısıyla enformasyon şu şekilde tarif edilebilir:

$$(2) \quad h(p) = -\log_b(p)$$

Burada  $p$  haber probabilitesidir. Logaritma tabanı olarak herhangi bir sayı seçilebilir fakat 2 sayısı en uygun olanıdır. Enformasyonun esas birimi olan «bit» veya «binary digit», eşit probabilitelere sahip iki alternatif arasındaki seçme sonucu olarak ortaya çıkmıştır.

Bir kaynağın entropisi, bütün semboller ve bunlar arasındaki düşünülebilir bütün sıralanmalar eşit ihtimale sahip oldukları zaman maksimumdur. Aksi takdirde kaynak redondant (redundant) dır. Redondanslık, (Redundancy) kay-

nakta mevcut bulunan ve her sembol için ortalama haber sayısını geçen sembol sayısının logaritması ile ölçülür.

Redondant olan bir kaynak, verilen belirli çokluktaki bir haberi göndermek için gerekenden fazla sembol kullanan kaynaktır. Fakat gürültülü bir kanalda hata probabilesini azalttığı için faydalıdır. Meselâ, kullanılan diller son derece redondantdır. Yanlış yazılan bir harf fazla "güçlük çekilmeden" düzeltilebilir. Bu düzeltme, eksik olan harfin taşıdığı enformasyonun kullanılan diğer harfler veya onların sıralanmalarında tekrarlanmış olması sonucudur.

Alıcı ve verici arasındaki bağ iletişim kanalıdır ve normal olarak gönderme ortamını (transmission medium) alıcı ve vericilerin modülasyon ve demodülatör cihazlarını içine alır. (Şekil — 2) Maksimum seviyede enformasyon



Şekil . 2 — Bir iletişim sisteminin temel elemanları.

nakli için kaynak ve kanal istatistik olarak «uydurulmuş» (match) olmalıdır. Haberin istatistik yapısı tamamen kaynak özellikleri tarafından tayin edilir. Fakat kanalın istatistik yapısı ve dolayısıyla kanaldaki entropi gönderilen habere ve kanalın değişik sinyalleri alma yeteneğine bağlıdır.

Bulunan önemli Bir Bağıntı :

Kanal kapasitesi (C), enformasyonun gönderilebileceği maksimum hız olarak tarif edilir. Kanal sembolleri ve geçiş probabilesleri (transition probabilities) bilindiğine göre, maksimum kapasitenin erişilmesi sadece giriş probabilesinin en iyi seçimini gerektirir. Ardışık sembollerin her birini bağımsız olarak etkiliyen gürültü durumu için, Shannon ısı gürültünün (thermal noise) bozduğu bir kanalın kapasitesini veren şu önemli ifadeyi bulmuştur:

$$(3) \quad C = W \log_2 (1 + P/N) \quad \text{bit/saniye.}$$

Burada, W kanal band genişliği, N ısı gürültü gücü ve P ortalama sinyal gücüdür.

Yeterli ve girift kodlandırma kullanılarak kodlandırılmış enformasyon maksimum (C) hızıyla ve istenildiği kadar küçük bir hata sıklığıyla (frequency of errors) gönderilebilir. Fakat kodlandırma sistemi ne okursa olsun, belirli bir hata sıklığını önlemeden (C) den daha yüksek bir hızda haber nakli mümkün değildir.

(\*) Burada ortalamanın 2 ndigit olması o.ası çok kullanılan harflerin, e ve t gibi, tek digitte gösterilmesi sonucudur.

Genel olarak, (C) nin teorik limitine, eğer karışık kodlandırma metodları ve çok uzun haberler kullanılırsa erişilebilir.

Haber uzunluğunun artırılması enformasyon hızını azaltmaz; çünkü enformasyon, haberin alındığı sürenin her anında gönderilmiştir. Bundan başka, haber uzunluğu fazla olduğu sürece, alıcıda önceden alınmış olan haberlerle karşılaştırılarak hataların düzeltilmesi kolaylaşmaktadır.

Gürültüsüz bir kanalda zamanın fonksiyonu olan bir değişme yüksek bir duyarlıkla ölçülebilir ve genlik sonsuz sayıda değer alabilir. Böylece sınırsız ölçüde enformasyon istenildiği kadar dar band genişliği kullanılarak gönderilebilir. Pratikte band genişliği iyi bir sinyal/gürültü oranı elde etmek için ayarlanır. \*Haber, aynı kanal üzerinden daha küçük bir band genişliğiyle kodlandırılarak gönderilebilir. Fakat bu, çıkış gücü (3) nolu denklemde belirtilen değer altına düşmediği sürece yapılabilir.

Pratikte, iletişim sistemlerinin performansı (3) nolu denklemin verdiği teorik üst limitlerin çok altındadır. Örnek olarak PCM (darbeli kod modülasyonu) verilebilir. Bu gün kullanılan en etkili sistemlerden birisi olan PCM, belirli kanal kapasitesi ve band genişliği için teorik sinyal gücünden 8db daha fazlasına ihtiyaç gösterir.

Daha önce belirtildiği gibi, Redondantlık alıcıda hata sıklığını azaltabilir fakat verimsiz çalışmaya yol açar. Eğre, sinyal/gürültü oranı hataları umulmaz yapacak derecede yüksek olursa, Redondantlık ve dolayısıyla sistem band genişliği azaltılabilir. Örnek olarak İngilizce bir konuşmanın gönderilmesi verilebilir. Gerekli ve yeter olan, alıcıda konuşmanın anlaşılabilir olmasıdır; aksan, ses tonu ve konuşmanın diğer özellikleri kaybolabilir. Bu durumda konuşulan sözler yazılır ve vericide «binary» olarak kodlandırılır. Ortalama olarak her harf için 2 (\*) her kelime için 9 «digit» den fazlası kullanılmayacaktır. Dakikada 100 kelimelik konuşma hızına göre, enformasyon hızı 15 bit/saniye olacaktır. Eğer alıcının S/G oranı 40 db olarak alınırsa, (3) nolu denkleme göre yaklaşık olarak 1 cps band genişliği yeterli olacaktır.

Güvenilirlik Sınırını Belirten Teorem :

Komünikasyon sistemi dizayn'ında önemli bir gaye de güvenilir iletişim hızını maksimum değere çıkarmaktır. Gürültülü bir kanalda nakledilen enformasyon hızının ve alıcıda enformasyonun güvenilirliğinin sınırları, Shannon'nun «Gürültülü - Kanalda Kodlandırma» teoremiyle belirtilmiştir. Teorem kısaca şöyle ifade edilebilir, gönderilen haber alıcıda; gönderme hızı (R), kanal kapasitesinden (C) -küçük olduğu sürece

• istenildiği kadar küçük bir hata probabilesiyle alınabilir. Buna karşılık,  $(R) \gg (C)$  durumu için hata probabilesi istenildiği kadar küçük yapılamaz.  $(C)$  ve  $(R)$  birbirinden bağımsız değerlerdir. Çünkü;  $(C)$  kanal karakteristiğidir ve bütün alıcı-verici çiftleri için aynıdır, fakat  $(R)$  alıcı-verici çiftinin belirttiği bir büyüklüktür ve bütün kanallar için aynıdır.

İdeal olarak, hatasız enformasyon kanal- kapasitesine çok yakın bir hızla gönderilebilir, ve bu sistematik kodlandırmayla elde edilebilir. Bu hız her ne kadar kanal kapasitesinden belirli olarak küçükse - de, 20 seneye yakın bir zaman önce mümkün görülmeven bir seviyedir.

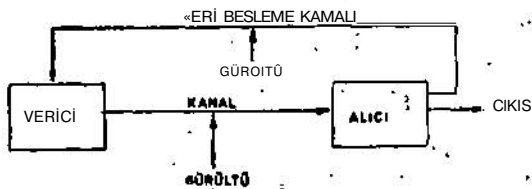
Daha iyi güvenilirlik sağlayan kodlandırmaların temeli hata-düzeltilme işlemidir. İlk olarak R. W. Hamming bu tip kodlandırmayı ortaya atmıştır. Her N sayıda 'bit' bir karaktere karşılıktır, fakat bunların K tanesi enformasyon taşıyıcı ve diğer  $(N-K)$  bit kontrol içindir.  $(N-K) = 1$  olduğu zaman, tek hatalar kontrol bit'i kullanılarak bulunabilir. Her karakter kodlandırılırken, kontrol bit'i gruptaki  $(1)$  lerin sayısı çift olacak şekilde ayarlanır. Alıcıda, gruptaki  $(1)$  lerin sayısı tek çıkarsa bir hata olduğu anlaşılacaktır. Fakat bu şekilde hatanın grup içindeki yeri bulunamaz.

Tekrarlayıcı (Iterative) sistematik kodlandırmada, kod çözme işlemi küçük gruplar için yapılır, hatalar düzeltildikten sonra bu gruplar daha sonraki hata düzeltme işlemlerinde kullanılır. Zincirleme kodlandırmada (Sequential coding), kod çözme her küçük grup için sırayla yapılır. Her iki sistemde de, hata probabilesi kod uzunluğunun üstel fonksiyonu olarak azalır fakat hesaplama miktarı kod uzunluğunun sabit bir kuvvetiyle artar.

$(R)$ ,  $(C)$ 'ye Yakın Bir Değer Alabilir:

Optimum kodlandırma hatadan uzak ve kanal kapasitesine yakın bir  $(R)$  sağlayabilir. Fakat aynı değer basit bir kodlandırma kullanarak ve kanala gürültüsüz geri-besleme uygulamakla elde edilebilir. Geri - besleme kanalındaki gürültü sadece maksimum hızı elde etmek için gerekli gecikmeyi artırır.

Normal kanal kapasitesi (forward - channel capacity), geri - besleme ve normal kanal gürültüleri arasında bir korelasyon (correlation) bulunmadığı sürece, değişmeyecektir (şekil 3). E-



Şekil : 3 — Geri beslemeli bir iletişim sistemi. İdeal olarak bu kanal gürültüsüzdür ve basit kodlandırma kanal kapasitesini teorik maksimum değere yaklaştırabilir.

ğer korelasyon varsa normal kanal kapasitesi artırılabilir. Geri - beslemenin tek kanalda normal kutlandırılmış iletişime karşı büyük üstünlükleri görülmüştür, fakat en iyi sonuç bu iki metodun birleştirilmesiyle elde edilmiştir.

1940 yıllarına kadar, sinyallerin ve gürültünün düzensiz (randpm) karakteri dolayısıyla iletişimde önemli bir yeri olan düzensiz fonksiyonların analizi için belirli bir metod yoktu. Wiener'in geliştirdiği genelleştirilmiş harmonik fonksiyonlar analizi, mühendislerin uzun bir zamandır, ihtiyaç duydukları metodları getirmiştir.

• Düzensiz fonksiyonların en önemli özelliği, benzer şartlar altında tekrarlanan deney sonuçlarının genel olarak aynı olması, fakat, ani değerlerin birbirinden farklı olmasıdır. Örnek olarak bir uçaktan alınan radar sinyal kayıtları gösterilebilir. Bütün uçaklar için ve uzun bir süre yapılan her kayıt, zamanın düzensiz bir fonksiyonu olacaktır. Bütün bu kayıtlar bir birlerine paralel ve  $T = 0$  noktaları çakışacak şekilde yerleştirilirse, düzensiz zaman fonksiyonunun «ensemble»ını meydana getirirler.

Pek çok pratik durumlarda, ensemble'm istatistik özellikleri, zaman ekseninde bir kaymaya göre «invariant»dır, ve kararlı (stationary) düzensiz bir olay meydana getirirler. Bu tip olaylar bir seri probabilesite dağılım fonksiyonlarıyla tanımlanır. Bu fonksiyonların, - deneysel veya analitik olarak bulunması, eğer imkânsız değilse, çok zordur.

Komünikasyon problemlerinin bazılarında 'ikinci derece probabilesite dağılım fonksiyonu' düzensiz olayı yeterli derecede belirtir. Fakat en faydalı olan oto-korelasyon fonksiyonu, ikinci derece dağılıma bağlı olduğu halde, düzensiz olayı etkili bir şekilde belirtir. Kolayca hesaplanan bu fonksiyon, ensemble'm ortalama değeri olarak ifade edilir:

$$(4) \quad \psi(\tau) = \int_{-o_a}^{\infty} \int_{-o_s}^{\infty} y_1 y_2 f(y_1, y_2, T) - dy_1 dy_2$$

Burada  $y_1$  ve  $y_2$  verilen dalga şekillerinde, T saniye farklı alınan zaman fonksiyonunun genlikleridir,  $f(y_1, y_2, T)$  ise, T saniye farklı noktadaki birleşik probabilesite yoğunluk fonksiyonudur. Oto-korelasyon fonksiyonu, diğer bir şekilde, zaman ortalaması olarak ifade edilir: (Ergodic Hypotesis) :

$$(5) \quad \psi_{11}(\tau) = \frac{1}{T} \int_{-T}^T f(t) f(t + \tau) dt$$

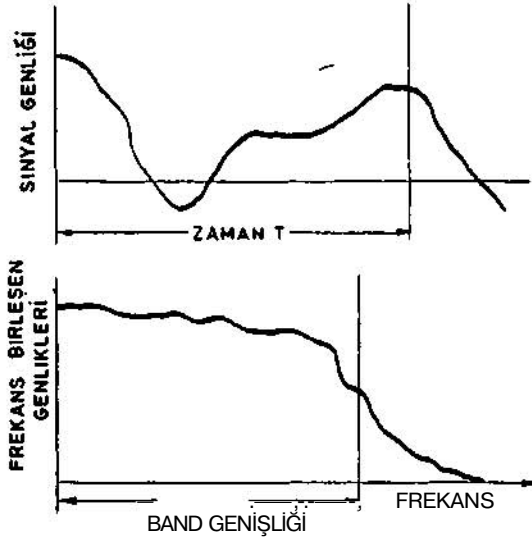
Wiener'in teoremi, frekans domeninde oto-korelasyon fonksiyonunun karşılığını şu bağıntıyla verir:

$$(6) \quad \psi_{11} = \int_{-\infty}^{\infty} S(f) \exp(j\omega\tau) df$$

Spektral güç yoğunluğu,  $S(f)$  :

$$(7) \quad S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} \hat{11}(T) \exp(-j\omega T) dT$$

$S(f)$  ve oto-korelasyon fonksiyonu birbirlerinin Fourier transformlarıdır. Bu dönüşümlü bağıntı, kararlı düzensiz olayın özelliklerini belirler, ve 'ensemble'ın bir elemanı için doğrudur, diğer bütün elemanları için de doğrudur. Bu durum lineer sistem karakteristiğiyle benzeşimlidir. (Lineer sistemlerde bu karakteristik, frekans domeninde transfer fonksiyonu ve zaman dümeninde birim impulse fonksiyonuna verilen cevap olarak belirtilir.) Bu fonksiyonlar birbirlerinin Fourier dönüşümlüdürler ve değişik yönlerden faydalıdır. (Şekil - 4)



Şekil . 4 — S c.t.m karakteristiği, (a) zamanın fonksiyonu, (b) frekansın fonksiyonu olarak.

Benzer bir bağıntı, aralarında bir ilgi bulunan iki kararlı düzensiz olay için de doğrudur. «Coherent», kararlı düzensiz iki olay arasındaki çapraz - korelasyon (cross-correlation) fonksiyonu aşağıdaki gibi tarif ediliyorsa:

$$(8) \quad \psi_{12}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T f_1(t) f_2(t+\tau) dt$$

şu bağıntılar yazılabilir:



Şekil : 5 — Şekilde gösterilen Wiener filtresi için giriş ve çıMiş arasındaki sapmaların (deviation) karesel ortalaması minimum değerindedir. Filtre girişinde, gürültü  $\ln(t)$  sinyalle beraber görünür

$$(9) \quad \psi_{11}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} S_{12}(f) \exp(j\omega\tau) df$$

$$(10) \quad S_{12}(f) = \int_{-\infty}^{\infty} \hat{12}(\tau) \exp(-j\omega\tau) d\tau$$

Burada :  $f_1(t)$  ve  $f_2(t)$  iki düzensiz olayın örnek fonksiyonlarıdır,  $S(f)$  çapraz spektral güç yoğunluğu (cross-spectral power density) fonksiyonudur.

Korelasyon ve Sinyalin Bölümleri Arasındaki Bağıntı :

Korelasyon, genel olarak sinyalin çeşitli bölümleri veya değişik sinyallerin bölümleri arasındaki bağıntıyı ifade eder. Eğer sinyal bütünüyle düzensiz ise, kısımları birbirleriyle bağımsızdır, ve dolayısıyla oto-korelasyon ( $T = 0$  noktası dışında) sıfır olmalıdır. Bunun anlamı fonksiyonun yalnız kendisiyle korelasyonlu (correlate) olmasıdır. Örnek olarak, ısı gürültü oto-korelasyon fonksiyonu  $T$ 'nin sıfırdan farklı her değeri için sıfırdır, ve  $t = 0$  için belirli bir değere sahiptir. Periyodik fonksiyonlar hariç olmak üzere, eğer korelasyon varsa, oto-korelasyon fonksiyonunun değeri  $t$ 'nin artan değerleri için sıfıra yaklaşır (\*).

Çapraz korelasyon fonksiyonu, değişik iki fonksiyon arasındaki korelasyon ölçüsüdür. Bu fonksiyon sinyal sıklığı üzerine bir ön (a priori) bilgiye sahip olduğumuz zaman faydalıdır.

Wiener'in lineer filtreler teorisi yardımıyla, korelasyon düzenli (non-random) sinyallerin düzensiz gürültü ortamında elde edilmesinde kullanılabilir. Genel olarak lineer filtreler, zaman domeninde korelasyon veya integral alıcı eleman olarak, frekans domeninde uyduurulmuş (matched) ve «comb» filtreler olarak düşünülür. Örnek: Düzensiz olaylar periyodik bileşenlere sahip olabilirler ve bazı uygulamalarda bunların bütün guruptan ayrılması istenebilir. Oto-korelasyon bu ayırmayı sağlayabilir, çünkü periyodik bir fonksiyonun oto-korelasyon fonksiyonu da periyodiktir ve aynı frekanstadır. Diğer yönden bir düzensiz fonksiyonun oto-korelasyonu,  $T = 0$  için maksimum değerine (karelerinin aritmetik ortalaması) eşittir ve  $-t = \infty$  için aritmetik ortalamanın karesine eşittir. Çapraz korelasyon sinyalin periyodu bilindiği zaman ve özellikle S/G oranı birden küçük olduğu zaman faydalıdır.

Son derece dar bantlı filtrelerin frekans domeninde verecekleri sonucu, korelasyon zaman domeninde elde eder, bazan etkili bir şekilde, belirli sinyal spektrumu elde etmek için kullanılır.

(\*) Bu yazıda, sadece ortalama değerleri sıfır olan fonksiyonlar göz önüne alınmıştır

labilir. Sinusoidal bir sinyalin düzensiz gürültü ortamında elde edilmesi gibi.

Renkli televizyonların senkron detektörlerinde korelasyon kullanılmaktadır. Haber fonksiyonu,  $f_m(t)$  vericide sinusoidal (kosinüs de olabilir) bir voltajla  $f_s(t)$  sinyalini elde etmek için modüle edilir.

$$(11) f_s(t) = f_m(t) \cos W_0 t$$

Alıcıda, sinyal taşıyıcı frekansındaki kosinüs (veya sinüs) referans voltajıyla çarpılır. Terimlerin uygun şekilde düzenlenmesiyle:

$$(12) f_s(t) \cos W_0 t = f_m(t) \cos^2 W_0 t \\ = \frac{1}{2} f_m(t) (1 + \cos 2W_0 t)$$

Sinyal sonradan bir alçak geçiren filtreden geçirilerek taşıyıcı söndürülür ve  $f_m(t)$  elde edilir.

Senkron dedektör, bilinen bir frekansla çarpımaya ve sonra ortalama değer almaya, dolayısıyla çapraz - korelasyona dayanır. Fakat bu korelasyon tam değildir, çünkü arzu edilen sinyali taşıyan band bir filtreden geçirilmelidir. Diğer yünden, gerçek korelasyon fonksiyonu sonsuz derecede dar bantlı bir filtredir ve yalnız taşıyıcı frekansını geçirir.

#### Lineer Sistemlerle Sinyal Alınması:

Eski gözlemlerin ortalama değerleri yardımıyla, Wiener'in lineer filtreler teorisi, düzensiz gürültü ortamından düzensiz sinyallerin ayrılmasında kullanılabilir. Sinyal, lineer sistem tarafından elde edilecektir. Sistem çıkışı ideal çıkışı sinyalin kendisi olacaktır, muhtemelen sabit bir a gecikme zamanıyla. Sinyalin hatasız olarak elde edilmesi mümkün değildir. Her zaman için, gerçek çıkışla  $f_0(t)$  arzu edilen gecikmeli çıkış  $f_m(t)$  - (a) arasındaki farkı ifade eden bir ani hata vardır. Bu hatanın faydalı bir ölçüsü 'mean square error' dur:

$$(13) \sigma^2 = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T (f_0(t) - f_m(t) - a)^2 dt$$

Lineer filtrenin (predictor) dizayn kriteri, en küçük karesel ortalama hata olacaktır.

Aşağıda verilenler cinsinden ifade edilecektin

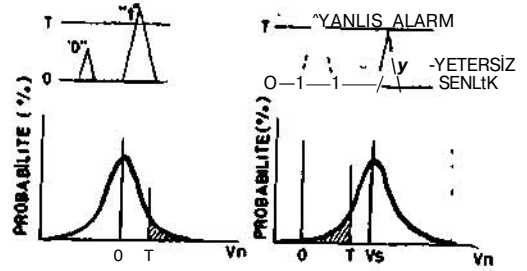
- i - Giriş oto-korelasyon fonksiyonu
- ii - Giriş ve arzu edilen çıkış çapraz - korelasyon fonksiyonu
- iii - Sinyalin ortalama gücü
- iv - Sistemin birim cevap fonksiyonu  $h(t)$ .

Eğer  $u(t)$ , karesel ortalama hatanın değeri minimum yapılacak şekilde - çözümlerse,  $h(t)$ 'ye filtreleme veya tahmin operatörü denir.

Binary sistemlerde alıcı, bir mantık devresidir. Çünkü sinyalin alınıp alınmadığına (ideal olarak en küçük hata olasılığıyla) karar verir.

Binary kanalda karar verme, alıcı çıkışının eşik değerini (threshold) geçip geçmediğine göre, bir evet/hayır işlemidir. Eşik değeri, alıcıda bulunan lambalar ve yarı iletken elemanların ön gerilimleri sonucudur. Gürültü, olasılık sonucu olmak üzere, her hangi bir genliğe sahip olabilir. Bazan gürültü eşik değerini geçer ve sistemin çıkış devresini tetikler. Bu yanlış alarm durumunda, eşik değeri yükseltilerek, yanlış alarm verme olasılığı azaltılabilir. Fakat eşik değeri sonsuz olarak yükseltilemeyeceği için, sinyal genliğinin tetiklemeye yeterli olmadığı durumların olasılığı çok büyüyecektir. Bunun için ortalama bir eşik değeri - yanlış alarm ve yetersiz genlik sayılarını eşitlemek üzere - kullanılır.

Hata olasılığı aynı zamanda girişte S/G oranının yardımıyla küçültülebilir. Sinyal genliği gürültüye göre artırılabilirse, eşik değeri yükseltilebilir veya gürültü sinyal genliğine göre azaltılabilirse eşik değeri düşürülebilir. (Şekil 6) -Gauss gürültüsü için, hata olasılığını



Şekil 6 - Karar verme işleminde sinyal ve eşik değerlerinin gösterilmesi.

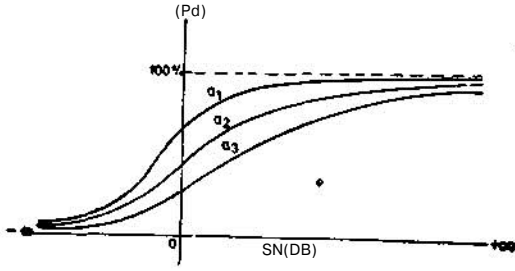
- i) Yalnız sinyal ve eşik değeri.
- ii) Gürültü etkisiyle bozulmuş sinyal.
- iii) Bir eşik devresi çıkışı için olasılık eğrileri. Burada T eşik değeri,  $V_n$  gürültü seviyesi ve  $V_s$  sinyal seviyesidir.

minimum yapacak yol integrasyonun lineer filtre tekniği veya korelasyondur. Ayrıca, hata olasılığı S/G oranının üstel bir fonksiyonu olduğu için, bu oranın düzeltilmesinde en iyi yol, Korelasyon ve integral almadır.

Bir ön-uyarma (early-warning) radarının güvenilirliği, örnek olarak, yanlış alarm (a) ve yetersiz genlik (fi) olasılıklarıyla S/G oranı ve integral alma zamanı arasındaki bağıntıyı veren bir seri «betting» eğrileriyle belirtilebilir. Eğer deteksiyon verimliliği şöyle tarif edilirse:

$$(14) p_d = 1 - B$$

(Şekil - 7) deki «betting» eğrileri bulunacaktır,  $p_d$  yüzde yüz değerine, S/G oranı sonsuz derecede artırılırsa asimtotik olarak yaklaşacaktır.



Şekil : 7 — Yanlış alarm probabilitesi ( $P_d$ ) eğrilerinin S/G oranı ile değişmesi Burada  $a_1 > a_2 > a_3$  ve eşik değerlerinin genliği,  $a_n$  nin genliğiyle ters orantılıdır.

S/G oranındaki küçük bir değişmeye karşılık,  $P_d$  nin en büyük değişmesi 0 db civarındadır. S/G'nin çok büyük veya çok küçük olduğu bölgelerde, bu oranın büyük değişmeleri,  $P_d$ 'de küçük değişmeler meydana getirir. Bu, şu demektir : Eğer radarın S/G oranı küçükse,  $P_d$ 'nin dik-kate değer ölçüde artması için S/G oranı önemli ölçüde artırılmalıdır.

NATO HAVACILIK ARAŞTIRMA - GELİŞTİRME HEYETİ (AGARD) NİN  
DÜZENLEDİĞİ AÇIK OTURUM VE SEMPOZYUM'LAR

16-20 Haziran 1964 te Oslo'da ve  
23-27 Haziran 1964 te Londra'da

METEOROLOJİ İÇİN PEYK TEKNOLOJİSİ

26 - 29 Haziran 1964 te Kopenhag'da  
İyonosfer Araştırmaları Komitesi tarafından  
F-TABAKASI VE RADYO DALGALARININ İNTİŞARINA ETKİLERİ

21-25 Eylül 1964 te Londra'da  
KEŞİF, İZLEME VE GEMİCİLİKTE RADAR TEKNİKLERİ

Açık oturum ve Sempozyumlara Nato ülkelerinden ilgili kimseler katılabilirler.  
Bu konuda fazla bilgi aşağıdaki adresten sağlanabilir:

Lt. Colonel E. F. Dukes, AGARD, 64 Rue de Varenne, Paris 7, Fransa.