

# Sayısal iletişimin özellikleri ve temel sorunları

Bülent SANKUR

## ÖZET

Bu yazıda sayısal iletişimin temel özellikleri ve analog-iletişim yöntemlerine göre başlıca fark ve üstünlükleri anlatılmış, bir sayısal iletişim sisteminin kaynak, kodlayıcılar, kanal gibi ana öğeleri hakkında özet bilgi verilip, sayısal iletimde karşılaşılan başlıca güçlükler açıklanmıştır. Çağımızın önemli olgularından biri olan iletişim ve özellikle sayısal iletişimin gelişme sürecindeki yönemeleri de incelenmiştir.

## SUMMARY

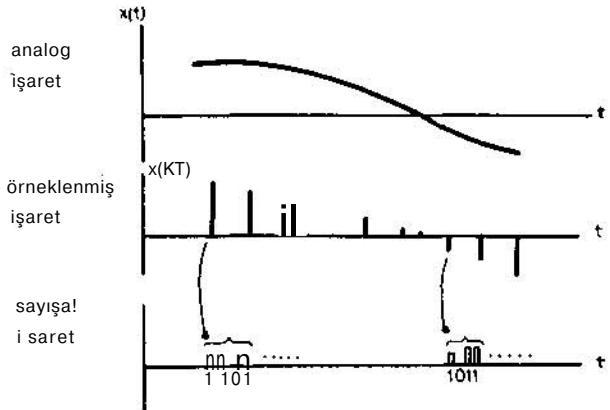
*in this article the main features of digital communication and its main differences from, and advantages to, the analog communication are discussed. A brief, information about the main building blocks such as supplies, coders, channels of a digital communication system is given, and main difficulties faced in dealing with such systems are explained.*

*The trends in the development process of the communication, especially the digital communication which is one of the most important features of our times, are also studied.*

## 1. GİRİŞ (1-2)

Çağımızın en önemli gelişmelerinden biri, üstel bir hızla büyüyen iletişim (haberleşme) ve bilişim teknolojisidir. Bu evrim sürecinde en önemli olgu ise, 1950'lerden sonra ivme kazanmış olan veri iletişimi ya da daha genel olarak sayısal iletişimdir.

Bilgi (information: bili) iki değişik biçimde analog ve sayısal olarak iletilebilir. Analog iletimde kaynak imi (işareti) süzgeçleme ve modülasyon katlarından sonra kanala verilir. Buna karşılık, sayısal iletimde (Şekil 1) modülasyon katından önce, analog biçimde olan kaynak işareti üzerinde kodlama adı verilen bir takım işlemler yapılarak 1 ve 0'lardan oluşan bir bit (binary digit: ikil) dizisine dönüştürüldükten sonra gönderilir. Kodlama aşamasında im önce analog durumunda sayısal, örnekleme ve niceleme (quantizing: Kuantlama) işlemleriyle dönüştürülür; bu arada işarettaki artık bilgiyi arıtmak için kaynak kodlaması yapılır; ardından işareti kanala uyumlamak için hat kodlaması, gürültü ve biçim bozulmasına (distortion) karşı bağımsızlık kazanmak, daha açıkçası yanılırları düzeltebilmek için de yanılırlı kodlaması uygulanır.

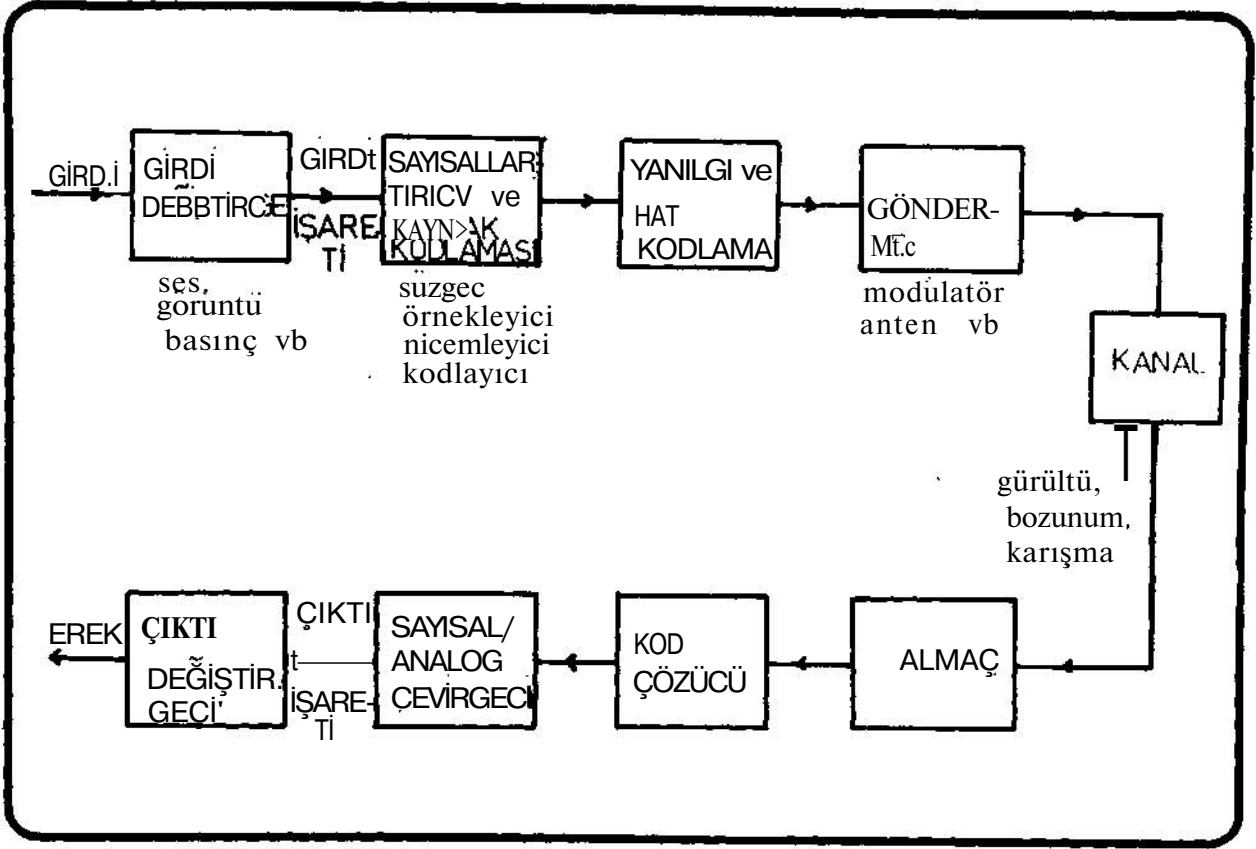


Şekil 1. Analog, örneklenmiş ve sayısal işaretler

imler (işaretler) bir telefon hattı, uydu bağlantısı, mikrodalga sistemi vb. olabilecek iletim ortamından gönderilirken çeşitli bozucu etkilerle biçim değişmesine uğrar ve gürültüye boğulurlar (Şekil 12). Böylece almaya ulaşan işaret, çoğunlukla, gönderilen dalga biçimine benzemez; almanın görevi de, gönderilmiş olması en olası dalga biçimini belirlemek ve işareti aslına en yakın biçimde ortaya çıkarmaktır. Analog düzende, bu işlem demodülasyon ve süzgeçleme ile gerçekleştirilir; sayısal düzende ise, demodülasyon işlemi kod çözümü ve sayısal/analog çevirgeçler izler.

Bu iki yöntem karşılaştırıldığında, gerek imleşim (işa-

Bülent SANKUR, Dr., Boğaziçi Üniversitesi



Şekli 2. Bir sayısal İletişim sisteminin temel öğeleri

retleme) yordamları gerekse kullanılan düzenler bakımından, sayısal iletişim, analog iletişime göre daha karmaşık görünebilir. Ancak bu ek karmaşıklık elde edilen birçok üstünlük ve yararlar bakımından gerekçesini bulur.

Tarihsel gelişiminden bilindiği üzere, iletişim tekniği, Morse, Baudot gibi bilim adamlarının çalışmalarıyla sayısal olarak başlamış ve kısa sürede, sayısal kodlama ve iletimin birçok temel kuralı, ilkel düzeyde de olsa, bulunmuştu (13). Ancak 1870'lerde G. Bell'in telefonu buluşundan hemen sonra tüm çabalar ses-nitelikli (insan konuşmasını iletmeyi amaçlayan) telefon kanallarının tasarım ve döşenmesine yönelmiştir. 1937'de Reeves (17) daha etkin bir analog modülasyon yöntemi ararken Darbe Kod Modülasyonunu (DKM: PCM) bulmuş, 1947'de Philips laboratuvarlarında Deha Modülasyon gerçekleştirilmiştir. Böylece, bugün kullanılan analog/sayısal çevirgeçlerin temel biçimleri ortaya atılmıştır. Ancak sayısal iletişim yöntemlerinin genellik kazanıp geniş ölçekte kullanılmaya başlanması gecikmiş, sayısal donanım teknolojisinin gelişip belirli bir olgunluğa erişmesini beklemek gerekmiştir.

1948'de tranzistörün bulunuşu ve bir anahtar (açık) elemanı olarak kullanılması sayısal düzenlere gerekli itkiyi vermiş ve 1962'de sayısal telefonun prototipi gerçekleş-

tirilmiştir. Sayısal iletişime yönelik devrelerin yapımıyla da hızlanmış ve 1976'da sayısal santraller (örneğin ABD'de ESS1) uygulamaya sokulmuştur.

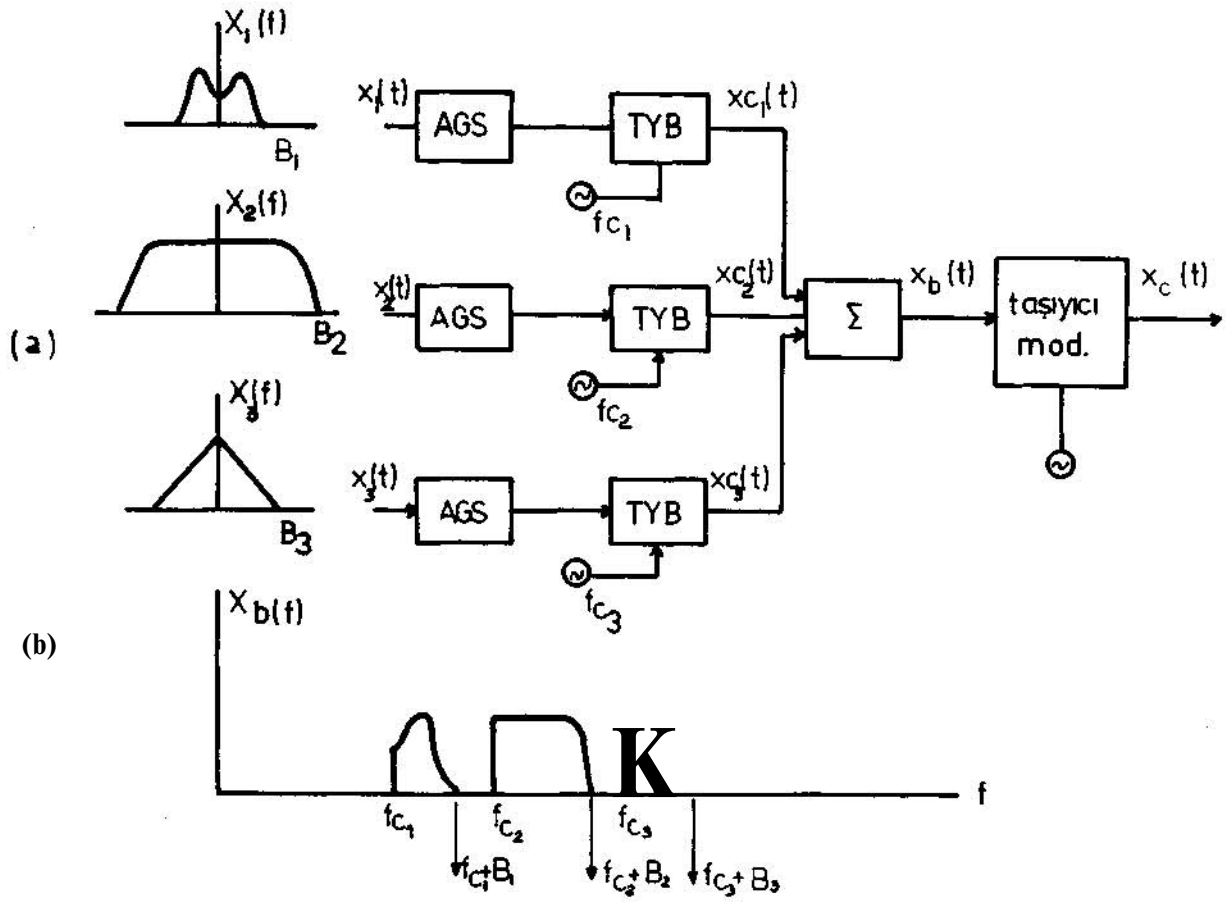
Bugün sayısal iletişim teknolojisi hızla ilerlemekte, kurum pratiğe dönüşmekte, sayısal anahtarlama (açıklama) ve iletim yavaş yavaş analog düzenin yerini almaktadır.

## 2. ANALOG VE SAYISAL İLETİŞİMİN KARŞILAŞTIRILMASI

Analog tekniklerle karşılaştırıldığında, sayısal iletişimin başlıca üstünlükleri şöyle sıralanır:

a) Frekans Paylaşımlı Çoklama (FPC) ve Zaman Paylaşımlı Çoklama (ZPC): Analog iletişimde FPC kullanılır; bu yöntemde Şekil 3'de görüldüğü gibi im spektrumları (im görüngeleri) frekans ekseninde örtüşmeyecek biçimde kaydırılır, bu da imleri belirli frekanslardaki taşıyıcı sinüzoidal imlere bindirerek sağlanır. Frekans ekseninde ayrı konumlarda bulunan imler zaman ekseninde, birbirlerine karışmış ve her biri zaman ekseninin tümünü kaplar durumdadır.

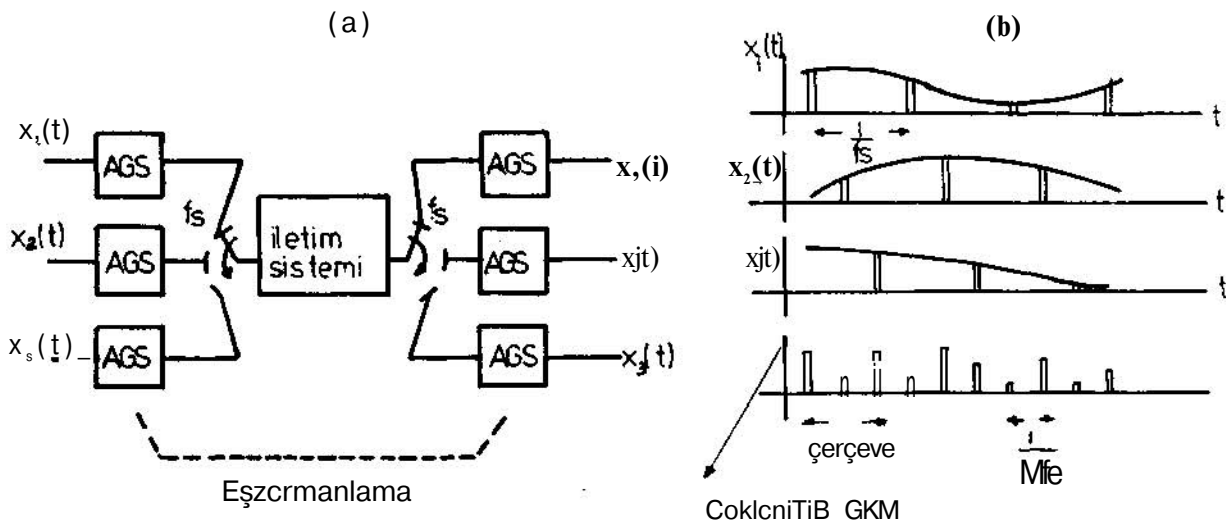
Zaman paylaşımı çoklamada, bir öbek işaretinin her biri



Şakll 3. Tipik bir FPC göndarmaç a) blok çizimi b) temel band spektrumu

örneklenir (Şekil 4); daha sonra, bir döner anahtarlar (rotary switch: döner açkı), arasıyla, her imden bir örnek alınıp bu örnekler bir çerçeve içinde derlenir. Şekil 4'deki gibi ZPÇ ile gönderilen imler zaman alıtında (domain: domen) ayrıktır; buna karşılık frekans alıtında her biri frekans ekseninin tümünü kaplar.

Her çerçeve, her bir ime ilişkin özelliklerin yitirilmemesi için, yeterince büyük bir hızda oluşturulur. Almaçta ise, yine bir döner anahtarlar, çerçeve parçalanır ve her ime ilişkin örnekler ayrı eksenlerde derlenip süzgeçlemeyle yeniden analog işaretler haline getirilir.



Şekil 4. Bir ZPC sistemi a) Blok çizimi, b) dalga biçimleri

Bir FPÇ sisteminde, kanal ayırıcı süzgeç karakteristiklerinin kesim frekansları civarında yeterince dik olmaması ve çeşitli doğrusalsızlıklar, spektrumlararası (görüngelerarası) karışmaya, daha açıkçası çaprazkarışım (crosstalk; diaphonie) olgusuna yol açar. Ayrıca doğrusalsızlık her tekrarlayıcıda (repeater: yineleyici) varolduğu için çaprazkarışım etkileri birikimsel olarak artar; böylece, özellikle, uzun erimli tekrarlayıcı sistemlerde doğrusallık ve frekans kesimi isterleri çok sıkıdır ve toleranslar 0.01 dB mertebesinde. Doğrusalsızlık etkileri genliğe bağımlı olduğu için, değişik im/gürültü oranı (IGO: im/gürültü oranı) gerektiren imlerin (örneğin TV: 35 dB; ses: 20 dB) FPÇ ile iletilmeleri, aşırı derecede yüksek çaprazkarışım oluşturdıkları için olanaksızdır. ZPÇ yönteminde, çaprazkarışım bir sorun yaratmaz ve nitekim tasarımlarda tolerans değerleri 1 dB düzeyindedir.

b) GÜRÜLTÜ BAĞIŞIKLIĞI: Analog bir ime iletim sırasında gürültü bulaşmışsa, imi gürültüden tümüyle artırmak olanaksızdır; ancak IGO'yu artırarak gürültünün etkisi azaltılabilir. Sayısal iletişimde ise (örneğin ikili imleşimde) sadece iki genlik düzeyi söz konusudur ve gürültülü bir ortamda, gelen her imin "sıfır"ı mı yoksa "bir"i mi gösterdiği, denetlenen bir yanılı olasılığı ile, saptanabilir. Analog tekrarlayıcı (yineleyicili) bir hatta, gürültü ve biçim bozulması, her tekrarlayıcı katında, toplanarak artar; buna karşılık, sayısal bir sistemde, her tekrarlayıcıda im (işaret) sezimlenir ve yeniden üretilir, böylece sayısal im gürültüden arıtılmış olur. Bu yöntemle yeniden-üreten tekrarlama tekniği (regenerative repeater) denir. Hattın sonunda ime bulaşan gürültü tek bir tekrarlayıcı aralığının gürültüsü kadardır. Ancak bunun dışında sayısal ime gürültü, gerek analogtan sayısal çevirme işlemi kodlama gürültüsü olarak, gerekse yanılı bitlerin neden oldukları bozulma şeklinde bulaşır.

Yanılı bozulması IGO'yu artırarak azaltılır. Kodlama gürültüsü ise, daha çok sayıda düzeye sahip bir nicemleyici (quantizer) kullanarak indirgenir; böylece her işaret örneği daha fazla bit ile ifade edilip iletim bantgenişliği de artmış olur. Nitekim, sayısal iletişimde etkin bir IGO - bantgenişliği ödünleşimi söz konusudur. Anımsanacağı gibi evre (faz) modülasyonunda IGO, bantgenişliğiyle orantılı olarak, frekans modülasyonunda bantgenişliğinin karesiyle, sayısalda ise üstüyle değişir. Dolayısıyla, sayısal iletimde bantgenişliğindeki küçük bir artış, büyük bir IGO iyileşmesi yaratır.

c) KAYNAK KODLAMASI: Doğadaki im ve süreçlerin hemen hepsi geniş ölçekte "artık bilgi" içerirler. Sayısal imler üzerinde yapılan çeşitli kaynak kodlama işlemleriyle artıktık artırılır; her örnekte öz ve yeni olan bilgiler (innovation process) gönderilmeye çalışılır. Böylece mümkün olduğu kadar en az bitle en fazla bilgi gönderilmiş olur; bu işlemi gerçekleştiren yöntemler kümesine de "kaynak kodlaması" adı verilir.

d) YANILGI KODLAMASI: Gürültülü kanala gönderilen bit dizisine bir mantık düzeni yada cebirsel yapı sokularak almaçta yanılı bitleri sezebilmek ve/veya düzeltilebilmek olanağı sağlanır; böylece güç harcamadan gürültü ve bozulma etmenlerine karşı bağışıklık elde edilir. Nitekim, Shannon kuramına göre kaynağın entropisi, daha açıkçası bilgi akış hızı kanal sığasının altındaysa, gönderme gücünü artırmadan, yanılı sezimleyen ve düzelten kodlar sayesinde, tam güvenilir iletişim sağlanabilir.

Kodlama kavramlarının yarattığı bir yan ürün de şifreli gönderme, eşdeyişle, kriptografidir; böylece im, istenmeyen kişi ve taraflarca elde edilse bile, içeriği gizli kalacağından, iletişim güvenliği ve gizliliği sağlanmış olur.

e) ZAMAN KISITININ KALKMASI: Elimizdeki sayısal dizi, yılda bir derlenen ekonomik veriler, 8000 örnek/s hızındaki ses,  $10^7$  örnek/s hızındaki görüntü ya da iki boyutlu uzamsal (spatial) imler olabilir. Gerçek zaman kısıtı olmadığı için bu imler yapılan tüm çözümleme, süzgeçleme, vb. işlemleri, imlerin değişik olmalarına karşın, hep aynıdır. Halbuki analog düzende her im türü, kendine özgü tasarımlama gerektirir. Ayrıca sayısal düzende, doğrusal olmayan ya da nedensel olmayan işlemler de gerçekleştirilebilir.

f) DONANIM ve YAZILIM: Sayısal iletişimin en büyük desteği aygıtların ve donanımın üstünlüğüdür. Tranzistörün bulunuşundan beri özellikle sayısal aygıt teknolojisinde görülen olağanüstü gelişme, bir yandan daha az güç sarfıyla daha hızlı anahtarlanan düzenler öte yandan minyatürleşme, boyutların alabildiğine küçülmesi doğrultusunda süregelmektedir. Genel olarak, son on yıllarda sayısal donanım, analog donanıma göre çok daha fazla gelişmiştir.

Sayısal sistemler, giderek bilgisayarların gücünden yararlanmakta, bilgisayar ve mikro işlemciler şebeke (network: serim) ve hat denetiminde (Şekil 15), anahtarlama ve adreslemede, denkleştirme ve sezimleme gibi im işlemlerinde kullanılmaktadır. Ayrıca iletişim sorunlarına yönelik yazılım paketlerinin geliştirilmesiyle bu katkı daha da somutlaşmaktadır. Sayısal sistemlerde denetleyici komutların iletimi ve derlenmesi, bakım ve arıza saptanması daha kolaydır ve çalışma sırasında (in-service) yürütülebilir.

Burada açıklanması gereken bir husus da sayısal iletişimin bilgisayar iletişimini ve dolayısıyla bilgisayar iletişim şebekelerini (serimlerini) olanaklı kılmış olmasıdır. Bu noktada bilgisayar ve sayısal iletişimin sinerjisinden süzülür; dolayısıyla bu iki öğenin birleşimi ve etkileşimi ile yepyeni kavramlar ve olanaklar doğmaktadır.

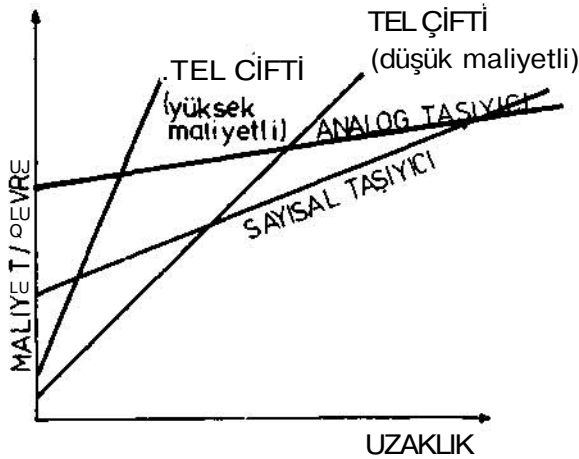
Sayısal iletişimin üstünlüklerine karşı, anımsanması gere-

ken bir husus, bilgi kaynaklarının çoğunun doğal biçimde analog olmasıdır. Böylece kaynak ile sayısal sistem arasında bir arabağ zorunludur, öte yandan, sayısal iletim daha fazla bantgenişliği gerektirir. Nitekim bir FPÇ ve ikili Darbe Kod Modülasyonlu ZPÇ sistemindeki bantgenişliği gereksinimleri ve ses-nitelikli kanal sayısı Tablo 1'de verilmiştir. Kaynak kod laması kullanılmadan yapılan ikili sayısal iletim, analog iletişime göre 5-6 kat daha fazla frekans bandı gerektirir.

TABLO 1: FPÇ ve ZPÇ sistemlerinin karşılaştırılması

FPÇ		DKM	
Kanal Sayısı	Üst Kesim frekansı kHz	Kanal Sayısı	Bit hızı Kb/s
1	3.4	1	64
60	240	30	2048
960	4028	120	8448
2700	12000	1680	120000
10800	60000	7680	565000

öte yandan sayısal ve analog iletimdeki hat maliyetlerinin karşılaştırılması Şekil 5'de verilmiştir. Analog bir sistemde ilk kuruluş maliyeti yüksek olmakta ancak uzaklıkla maliyetin artışı, sayısal göre daha yavaş olmaktadır. Çünkü sayısal bir sistemde, bantgenişliğinin çok daha fazla olması hat denetimi, denkleştirme ve öteki işlemleri daha zor kılar ve dolayısıyla uzaklıkla maliyet daha hızlı artar.



Şekil 5. İletimde analog ve sayısal hat maliyetlerinin karşılaştırılması

### 3. SAYISAL İLETİŞİM SİSTEMİNİN ÖGELERİ VE SORUNLARI

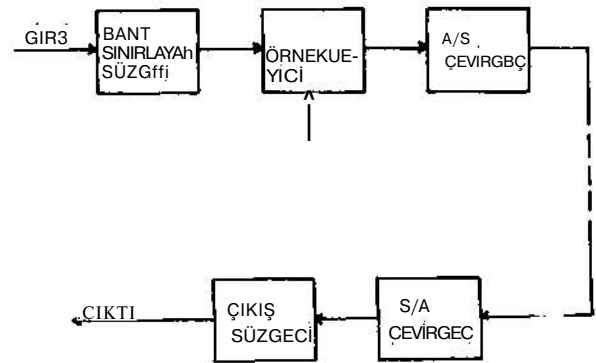
Bir sayısal iletişim sisteminin temel öğeleri Şekil 2'de gösterilmiştir. Bu öğeler aşağıda açıklanmıştır.

KAYNAK bir TV görüntü algılayıcısı, ses, iki bilgisayar belleği arasında yapılan veri aktarımı, basınç, hız vb. gib' telemetre verileri, bir sistemde denetim ve komuta bilgileri, tıpkıbakım (facsimile: faksimile) ve benzeri büro makineleri olabilir. Değişik fiziksel kökenlere sahip olabilecek kaynak imleri, değiştirgeçlerle (transducer) elektriksel imler haline getirilir.

KAYNAK KODLAYICISININ (20-31) görevi analog imleri sayısallaştırmak, imdeki artıklığı arıtmaktır. Başka bir deyişle, analog kaynak çıktısı tekrar aslına dönüştürülebilirlik koşuluyla, bir bit dizisine, en verimli ve etkin biçimde, indirgenmeye çalışılır. Analogtan sayısal çevrim işlemi belirli bir eniyilik ya da sadakat ölçütüne göre değerlendirilir. Bir kaynak sürecinin, onanan bir bozulma düzeyinin altında kalmak koşuluyla, kodlanabileceği en düşük iletim hızı, kuramsal olarak Shannon'un hız-bozulma işleviyle belirlenir (20). Böylece A/S (analog/sayısal) kodlayıcılarının, örneğin bit/s olarak, iletim hızlarını ve çevrimde neden oldukları bozulma miktarlarını, hız-bozulma işleviyle ölçütürerek değerlendirebiliriz, örneğin, Ayrimsal Darbe Kod Modülasyonu (ADKM: D PCM) ve antropi kod laması kullanıldığı zaman Shannon'un sınırına çok yakın bir performans elde edilir; bu da bazan yarı-sezgisel yaklaşımların yetkine yakın sonuçlar verebileceğini gösterir.

Şekil 6'da görüldüğü gibi, imler önce bir bant sınırlayan süzgeçten geçirilir ve örneklenir. Sınırlı bantgenişliğine sahip olan imler örneklenip, hiçbir bilgi yitimine yol açılmadan, ayrı zamanda temsil edilebilirler. Nitekim Shannon-Kotelnikov teoremine göre (24): "Eğer bir işaretin if, > B frekansının üstünde hiç bir bileşeni yoksa,  $T_s > 1/2B$  örnekleme periyodu ile alınmış ve zaman ekseninde tekbiçimlice sıralanmış örnekler, bu işareti kesin olarak belirler".

Örneklenmiş bir işaretin spektrumu (imin görüngesi)  $G_s(f)$ , özgün görüneye



Şekil 6. Analog imlerinin sayısallaştırılması: A/S çevirgeci sıkıştırma-geleştirme, ölçme ve değişik kodlama işlemlerini S/A birimi de bu işlemlerin tersini verir. Çıkış süzgeci itki dizisini analog bir im haline getirir.

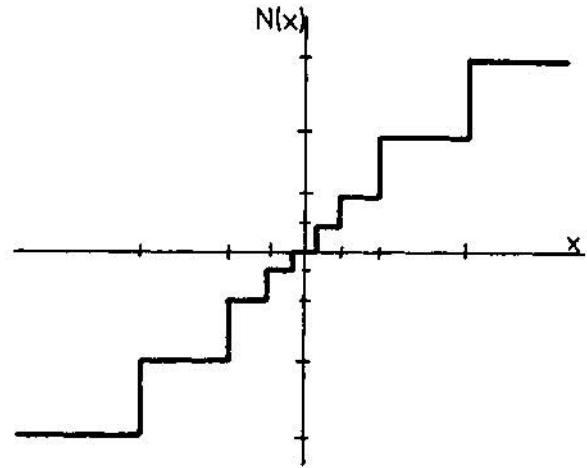
$$G_s(f) = (1/T_s) \sum_{k=-\infty}^{\infty} G\{f - (k/T_s)\}$$

formülüyle ilişkilidir; daha açıkçası örneklenmiş imin spektrumu, temel spektrumun  $1/T_s$  aralıklarıyla ve sonsuz sayıda tekrarlanmış kopyalarından oluşur. Bir im,  $2B$  örnekleme sıklığından daha düşük hızlarda örnekle-nirse, kaydırılmış spektrumlar örtüşürler, bu da örtüşme bozulmasına (aliasing distortion) yol açar; bu bozulmayı önlemek için imlerin, bant sınırlayan bir süzgeçten geçi-rip, yeterince yüksek hızda örnekleme yeterlidir. Tele-fon ve ses iletimi için süzgecin bantgenişiği  $3.2$  KHz'de kesime ulaşır ve bant dışındaki zayıflama  $6$  dB/oktav mertebesindedir; böylece bir süzgeç de iki işlemsel yük-sefteçle gerçekleştirilebilir. Ses için örnekleme hızı bütün dünyada  $8$  KHz olarak kabul edilir.

Örnekler dizisi oluşturulduktan sonra, örnekler bir ni-cemleyiciden (quantizer: kuvantlayıcı) geçirilir ( $20, 25$ ). Nicemleyiciye giren işaret tüm genlik değerlerini bir sü-reklilik (continuum) içinde alır; buna karşılık nicemleyi-ci çıktısı sonlu sayıda genlik düzeyine sahiptir; işte genlik basamaklarının sonlu sayıda olması, örneklerin de sonlu uzunlukta kod sözcükleriyle ifade edilmesini ola-naklı kılar. Nitekim, sayısal telefonda kullanılan  $8$ -bitlik sözcükler  $256$  ( $2^8$ ) ayrı genlik düzeyini tanımlar; böylece  $8$  KHz hızında örneklenen ses  $64000$  bit/s ile ifade edil-miş olur ve  $256$  niceme basamağı ile sayısallaştırılıp yeniden analog biçime dönüştürülen imlerde öznel olarak algılanan bir bozulma olmaz.

Çıktı iminin sonlu sayıda genliklere sahip olmasından do-layı, nicemlenen im, aslından sapmış olur; bu saptmaya nicemi erme bozulması ya da çoğunlukla nicemeleme gürül-tüsü adı verilir. Bu arada girdi işaretinin genliği en üst ni-cemleyici basamağını aşarsa işaret kırılmış olur (kırılma gürültüsü), öte yandan işaret hep birinci basamağa rastlıyorsa, nicemleyici bir Schmitt tetikleyicisi gibi iki düzeyli bir kodlayıcıya dönüşür ve buna da aylak gürültü adı verilir. Sonuç olarak, girdi iminin istatistiksel dağılı-mına uyumlarını ş yani bozulmayı enazlayan nicemleyi-ciler tasarlanmalıdır. Örneğin, ses süreçleri için tekbi-çimli (uniform) nicemleyiciler hiç de uygun değildir; hem de konuşma duraklamaları toplam zamanın %  $60$ - $70$ 'ine dek kaplayabilir. Sesin bu özellikleri, yukarıda be-timlendiği gibi, kırılma ve aylak gürültülere neden olur. Yüksek genlikleri bastırıp alçak genlikleri açındırmayı amaçlayan bir sıkıştırıp-genleştirme eğrisi Şekil 7 b'de gösterilmiştir. Ses-nitelikli telefon için seçilen sıkıştırıp-genleştirme eğrileri Avrupa'da A-Kuralı, ABD'de M Kuralı olarak bilinir; örneğin, A-Kuralı,

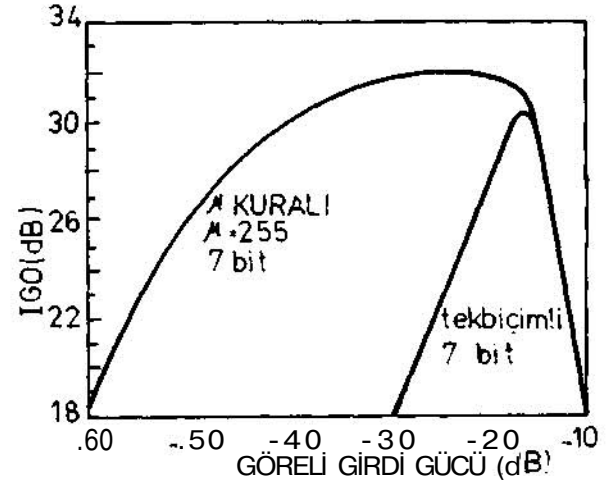
$$F(x) = \begin{cases} Ax/(1+\log A) & 0 < X < 1/A \\ (1+\log(A|x|))/(1+\log A) & 1/A \leq X < 1 \end{cases}$$



a)  $8$  düzeyli bir nicemleyicinin girdi çıktı işlevi



b) Tek biçimsiz bir nicemleyicinin sıkıştırıcı genleştirici ile modellenmesi.



c) Tek biçimli ve akıttırılmış sertleştirilmiş nicemleyicilerde IGO'nun girdi imiyle değişmesi IGO=25dB'de tek biçimli nicemleyiciyi  $10$  dB, sıkıştırılmış genleştirilmiş nicemleyici ise  $40$  dB dinamik erime sahiptir.

Şekil 7. Nicemleyici (Kuantlayıcı) özellikleri.

olarak oelirlenir; burada  $A = 87.6$  ve  $x$  girdi imidir. Şekil 7 c'de de görüldüğü gibi, sıkıştırılıp-genleştirme sayesinde nicemleyici performansının, girdi imindeki büyük genlik değişikliklerine duyarlılığı azalmış ve dolayısıyla  $26$  dB'lik IGO'da, nicemleyicinin dinamik erimi  $10$  dB'den  $40$  dB'ye çıkmıştır.

Nicemleme algoritmaları, belleksiz ve ardışıl olmak üzere iki türdür. Belleksiz bir nicemleyicinin çıktısı sadece o andaki girdiye bağlıdır. Daha açıkçası, önceleyen ve daha sonra gelecek olan girdi örneklerinden bağımsızdır. Bu türe dahil olan blok nicemleyicileri (block quantizers) örnek öbeklerini ikili sözcüklere eşlemlerler (map); öbek uzunluğu artıca da kodlama işlemi karmaşıklaşırken, kuramsal eniyiye, daha açıkçası, Shannon sınırına yakınlanmış olur. Kaynak kodlayıcı algoritmaların ne denli çeşitlendiği teknik yazıdan (22) izlenebilir; kısa bir özet Tablo II'de verilmiştir.

TABLO II: Başlıca A/S çevirgeç sınıfları

DALGA BİÇİMİ	DALGA BİÇİMİ	DALGA BİÇİMİ	DALGA BİÇİMİ
NİCEMLEYİCİLERİ		KODLAYICILARI	
'''' • . ' . • '..... ramı,			
Tek biçimli	Zaman Alıtı	Frekans Alıtı	
Logaritmik			
Olasılık-yoğunluk-ışlevine uyarlanmış	ADKM, DM	Dönüşüm	
Zamanla-değişken	öngörüücü	Kodları	
Değişimi uyarlanmış	Kodlar	Blok	
	Tı- Dönüşüm ve		
	Uy ar lanmış	ADKM	
	Kodlar		
	Ağaç Kodları		

**YANILGI KODLAMASI (32-40):** Gürültülü bir kanaldan gönderilen sayısal imlerin yanılığın olasılığı, almaçtaki IGO'ya bağlıdır; nitekim artan IGO ile yanılığın olasılığı üstel olarak azalır. Ancak verilen im gücü çeşitli teknik nedenlerle sınırlı kalabilir ve dolayısıyla, yanılığın olasılığı, iletişimin güvenilirliğini bozacak ve kabul edilemeyecek denli yüksek olabilir. Bu durumda yanılığın denetleyen kodlar yardımıyla iletişim güvenilirliği sağlanır.

Yanılığın kodlaması, ilke olarak, artık bilginin hesaplı ve yöntemli kullanımıdır. Bilindiği gibi, bir kaynaktan üretilen işaret önce sayısal biçime dönüştürülür, yani sayısallaştırılır ve artıklığı azaltılır; ancak daha sonra her sözcüğe, belirli bir kurala göre, fazlada. I kili evcikler (u<sub>n</sub>) eklenir. Bu ek evcikler bilgiyi taşımazlar, fakat bilgi taşıyan evciklerde ortaya çıkacak yanılığın denetlemek ve ya da sezimlemek için kullanılır.

Çok yalın bir kodlama örneği şöyle verilebilir: kanaldan 0 ya da 1 gönderileceği zaman, 000 ya da 111 gönderilsin, daha açıkçası, her bit üçer kez tekrarlansın. Almaçta ise bitlerin yoğunluğuna bakılarak Tablo III'deki gibi karar verilsin.

Kodlamasız yanılığın olasılığını P ile belirtirsek, kodlamalı yanılığın olasılığı, P<sub>k</sub>, bu örnek için,

$$P_k = 3P^2 - 2P^3$$

TABLO III: Yalın bir kodlama örneği

Almaçtaki sözcük	000	011
	001	110
	010	101
	100	111
Çözülen kod	0	1

bağıntısıyla ifade edebilir:  $P < 1/2$  olduğuna göre P<sub>k</sub>'nin daha da küçük olacağı anlaşılır. Shannon kuramı, kaynak entropisinin, kanal sığasının altında olduğu durumlarda, tam güvenilirliği sağlayacak kodların bulunabileceğini öngörmektedir. Böylece son 30 yıldan beri kodlama ku-

Shannon sınırına yakınsayan etkin yanılığın denetleyen kodları bulmak doğrultusunda süregelen, blok kodlamalı (arılı çevirgeç) rimsel kodlar (cyclic), katlamalı kodları (convolutional) vb. geliştirilmiştir. Bu kodlar geniş ölçekte modern cebir kavramlarına dayanmaktadır.

Belirtilmesi gereken bir husus da yanılığın kodlamasının, terminal donanım ve yazılımını oldukça karmaşıklaştırdığıdır. Burada sistem tasarımcısı, terminal karmaşıklığı, iletişim verimliliği ve iletişim güvenilirliği arasında varolan ödünleşimleri değerlendirmek durumundadır.

Yanılığın düzeltilmesi iki biçimde olur: ya da almaçta yanılığın sezimlenir ve düzeltilir (FEC: Final Error Correction) ya da almaçta yanılığın sadece sezimlenir ve yanılığın sözcüğünün tekrar iletimi istenir (ARO: Automatic Repeat Request). Bu iki yordam arasındaki seçim, hatların çift yönlü olması, terminallerdeki tampon belleklerin sığası ve iletim süresine (turnaround time) bağlıdır.

**HAT KODLARI:** Hat kodlamasının amacı, kaynak ile iletim ortamı arasında en iyi uyum sağlamaktır. Bu da iletişimin hızlı ve güvenilir olması bakımından önemlidir, örneğin, iletişim kanallarının çoğu aa bağlaşımlı olduğu için kaynak iminin spektrumu (iminin görünüşü) da ve öteki alçak frekans bileşenleri içermemelidir. Ote yandan çaprazkarışım, en çok yüksek frekans bileşenlerinden kaynaklanır. Doğallıkla bu tür bozulma, yüksek frekans bileşenlerini zayıflatarak, sonuçta spektrumu biçimlendirerek azaltılabilir.

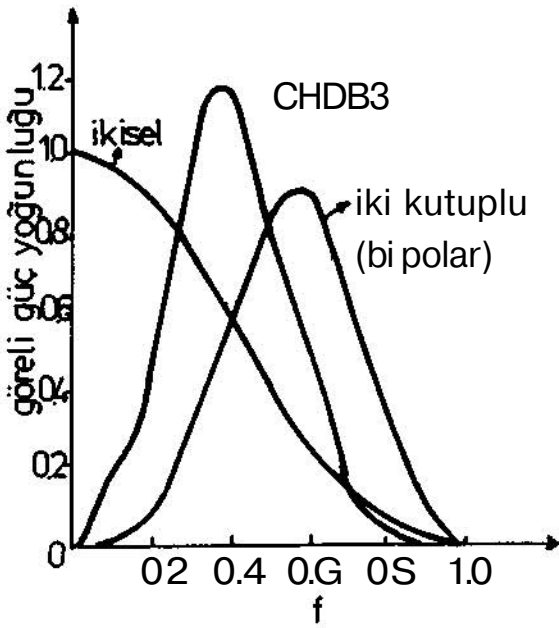
Hat kodlarında aranan başlıca nitelikler aşağıdaki gibidir:

- Saydamlık: olası her kaynak imini kodlayabilmek yeteneği
- Birik çözülebilirlik: hiç bir kod sözcüğünün birinin ötekiyle karıştırılmaması (önek koşulu)
- Verimlilik: Bir dizinin kodlanmış biçimi özgün diziye göre her zaman daha uzundur. Kodlama verimi, girdi ve çıktı dizilerine ilişkin entropilerin yüzde oranı ola-

rak hesaplanır; bu ölçüye göre kodların çoğunda artıklık oranı % 20'nin üstündedir.

- d) Uygun bir güç spektrumu sağlaması
- e) Zamanlama ve çerçeve bilgisini içermesi
- f) Yanılgı yayılmasının kısıtlanması: bit dizisinin herhangi bir noktasında yer alabilecek bir yanılgının peşpeşe başka yanılgılara yol açmasını önlemek.

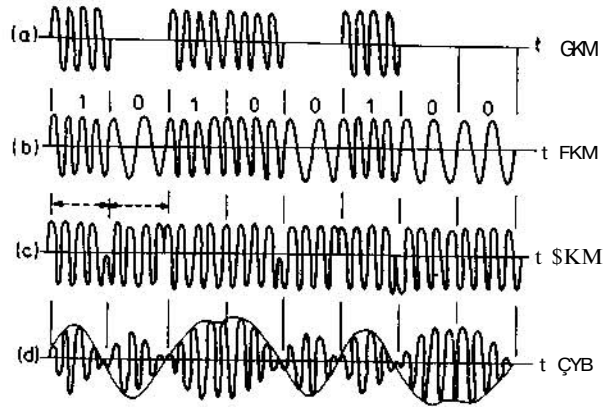
Bu nitelikleri değişik ölçülerde sağlayan birçok kod geliştirilmiştir. Bunlardan CHDB3 ve iki kutuplu kodların güç yoğunluk spektrumları Şekil 8'de gösterilmiştir. Hat kodlarının türetilme yöntemleri ve özellikleri bu yazı dizisinde ayrıca ele alınmıştır. (Bkz. "Temelband Sistemlerinde Sayısal İletim").



Şekil 8. Hat kodlarının güç yoğunluk işlevleri

**MODÜLASYON (44-50):** Bir A/S kodlayıcısının çıkışı olan tipik bir 1, 0 dizisi Şekil 12 a'da gösterilmiştir. Bu tür temelband imleri ancak bina-içi tesisat ya da çok kısa mesafeli hatlar söz konusu olduğu zaman kullanılır. Genelde sayısal iletim için kesinlikle modülasyon yöntemleri kullanılır. Modülasyonun gerekçesi, kaynak çıkışını fiziksel kanala uyumlamak, ZPÇ, FPÇ, vb. çoklama yöntemlerini uygulayabilmek, donanım ve anten boyutlarını küçültmektir. Başlıca modülasyon türlerindeki tipik dalga biçimleri Şekil 9'da gösterilmiştir.

a) GKM (44-45): Genlik Kaydırmalı Modülasyonda kaynak imi bir sinüzoidal taşıyıcının genliğini değiştirir. Demodülasyon işlemi için tek yanbant (TYB:SSB) ve çift yanbant (ÇYB:DSB) yöntemlerinde, almaçta referans taşıyıcısının tekrar üretilmesi zorunludur. Tek yanbant modülasyonu, kanalı bozan etkenlere karşı çok duyarlı olduğundan artık-yanbant (vestigial sideband) yöntemi yeğ tutulur.



Şekil 9. (10110100) ikili dizisinin değişik modülasyon yöntemlerindeki dalga biçimleri

- a) Genlik kaydırmalı modülasyon
- b) Frekans kaydırmalı modülasyon
- c) Evre kaydırman modülasyonu
- d) Çift yan bant modülasyonu

b) FKM (46-50): Frekans Kaydırmalı Modülasyon bir açısız modülasyon türüdür ve bir dayanak taşıyıcısının frekansının, im genliğiyle orantılı biçimde değiştirilmesi ilkesine dayanır. İki den fazla düzey sözkonusu olduğu zaman ikiden fazla değişik frekans kullanılır. GKM ile karşılaştırılınca, FKM, kanaldaki genlik bozulması ve gürültüden çok daha bağımsızdır. Daha fazla bant harcamasına karşılık, FKM, sağlam, dayanıklı, düşük-maliyetli bir yöntemdir.

c) <JKM (51-56) Evre (faz) Kaydırmalı Modülasyonda bir taşıyıcı sinüzoidal evresi kaynak işareti tarafından denetlenir; böylece 1, 0 bitleri bir sinüzoidal evresini 180° farklarla saptırır. Doğallıkla demodülasyon için göndermeçteki evrenin almaç tarafından da kesin olarak bilinmesi zorunludur; bu da evre bağıdaşıklarını (phase coherence) gerektirir. Ancak evre bağıdaşıklığını sağlamak her zaman mümkün olmadığı için ayrımsal <£KM (DPSK: A\$KM) yöntemi önerilmiştir. A<£KM yönteminde her 1'den 0'a ya da 0'dan 1'e değişme 180° bir evre farkı yaratır; buna karşılık, iki 1 (ya da 0) peşpeşe geliyorsa evre değişmezi olmaz. Böylece A\$KM evre kayma ve seğirmelerinden etkilenmeyen bir yöntemdir; ancak Gauss gürültüsüne daha duyarlı olduğundan Şekil 10'da da görüldüğü gibi, küçük de olsa bir IGO kaybı olur.

Bu temel modülasyon yöntemlerinin dışında dik evreli (quadrature: d i kfazlı) modülasyonu ve M-düzeyle teknikleri anımsatmak yerinde olur.

Uikevreli yani 90° evre-farklı GKM (57) yönteminde aynı spektrum aralığında iki im iletilir; birinci işaret bir taşıyıcının eşevreli (in-phase; eşfazlı) bileşenine  $x_1(t)$  ikincisi de dikevrelili bileşenine  $x_2(t)$  bindirilir ve kanala gönderilen dalga şekli

$$x(t) = x_1(t)\cos \omega_c t + x_2(t) \sin \omega_c t$$



olarak ifade edilir.

Halen ikili iletişim sistemleri en yaygın olanlarıdır. Eğer ikili yerine M-düzeyli iletim kullanılırsa, her bir gönderilen im,  $\log_2 M$  bit kadar bilgi taşır. Böylece, daha düşük bir iletim hızı kullanılabilir ve gereksinilen bantgenişliği azalır; ancak sistem gürültü ve bozunuma daha duyarlıdır (45).

Genelde, yalınlık ve ucuzluk niteliklerinden dolayı FKM alçak hızlarda, örneğin, 1800 bit/s kullanılır, çünkü bu iletim hızlarında bantgenişliğini en aza indirmek kritik bir ister değildir. FKM sisteminde kullanılan frekans kayması darbe sıklığının % 50 ile % 75'i arasındadır. Daha yüksek hızlarda en düşük yanılı olasığını sağlayan yöntem olan bağdaşık ŞKM yeğ tutulur.

**KANAL (60-75):** İmlerin iletildiği fiziksel ortama, başka bir deyişle, göndermeç ile almaç arasındaki arabağlantıya kanal denir. İletişim kanalları, fiziksel nitelikleri, frekans bantları ve öteki özellikleri bakımından çeşitlilik gösterir; ortak tarafları ise bütün kanalların analog bir ortam olmasıdır.

Başlıca kanal türleri ve sayısal iletişim yönünden özellikleri şöyle sıralanır:

a) Tel ve Kablo Kanalları (60-66) sayısal iletişimde kullanılan en yaygın kanal türüdür. Eşeksenel kablo sistemlerinin sığası son on yıllarda 15 kat artmıştır; bu evrim kısalan tekrarlayın aralığı, yetkinleşen sistem tasarımı, iyileştirilen gürültü bağışıklığı gibi nedenlerden kaynaklanmaktadır. Eşeksenel kablo sistemlerine örnek olarak, ABD'de geliştirilen 10,800 ses-nitelikli kanalı Uşıyabilen L5 analog hattı ve ilk tümüyle sayısal olan TI hattı verilebilir. Görünür yalınlığına karşın kablo kanalları evre bozunumu, uzaklık ve frekansın karekokuyle değışen zayıflama karakteristiğı, yankı olgusu, Gauss ve itkin (impulsive) gürültü gibi sorunları içerirler).

b) ALÇAK FREKANSLAR (67-68): En Alçak Frekans (EAF: 3-300 Hz), Çok Alçak Frekans (ÇAF: 3-30 KHz), Alçak Frekans (AF: 30-300 KHz bantlarından oluşan bu kanallar karadaki üslerle denizaltılar ve askeri uçaklarla taktik iletişimde, sivil havacılık ve denizcilikte trafik denetimi ve navigasyon için kullanılır. EAF bandında frekanslar çok alçak olduğundan suyun soğurumu daha azdır ve denizaltılarla iletişim olanağı sağlarlar. Alçak frekans kanallarının başka bir özelliğı de güneş etkenliğı, nükleer patlamalar ve ışımdan çok etkilenmemeleri, özellikle taktik iletişim için önemli olan güvenilirliğı yitirmemeleridir. Buna karşılık bu kanatlardaki başat gürültü atmosferik boşalmalardan kaynaklanan itkin (impulsive) olaylardır.

c) ORTA ve YÜKSEK FREKANSLAR (69): Orta Frekans (OF: 3-3 MHz), Yüksek Frekans (YF: 3-30 MHz)

kanalları başlıca standart radyo yayınlarının yapıldığı, ayrıca çeşitli telemetre iletiminin gerçekleştiğı ortamdır. Bu kanal, yer ile ionosfer arasında oluşan doğal bir dalgakılavuzudur. Başlıca bozanetkenler sönümleme (fading), çokyollu yayılma (muUipath) ve toplanır gürültüdür.

d) ÇOK YÜKSEK FREKANS (ÇYF: 30-300 MHz) (70-71) TV ve FM radyo yayını, uydu ve uzay iletişimi, devinen taşıtlar arasındaki iletişim bu frekanslarda gerçekleşir. Sönümleme, çok yollu yayılmadan başka bir de insan-yapısını itkin (impulsive) gürültü bu frekansları etkisi altına alır.

e) PEK YÜKSEK FREKANS (PYF: .3-3 GHz), SÜPER YÜKSEK FREKANS (SYF: 3-30 GHz) bantlarında iletişim birbirlerini gören antenler dizisiyle (görüşhattı kanalları) yada troposferik saçınım ile gerçekleşir.

f) UYDU KANALLARI (73-76) sayısal iletişimde önemli bir aşama oluşturmuştur. Elektromanyetik dalganın ionosferik düzensizliklerle b#ulması, anten odaklamasının sapması, doğrusalsızlıklar ve Gauss gürültüsü uydu kanallarının başlıca sorunlarıdır.

g) MİLİMETRİK DALGA KANALLARI: özellikle milimetrik dalga boylarında çalışan katı-hal aygıtlarının gelişmesiyle yüksek hızda veri iletimi olanağı doğmaktadır.

h) YERALTI VE DENİZALTI KANALLARI: Denizaltı iletişimi en etkin biçimde akustik dalgalarla gerçekleşir. Yeraltı kanalı ise elektromanyetik dalgaların taşıyuvarı (litosferi) ya da yer4ıava arabağını kılavuz olarak kullanmalarıyla gerçekleşir.

g) OPTİK KANALLAR (74) sağladıkları bu büyük bantgenişliğı, elektromanyetik karışma ve ışımdan etkilenmemeleri, donanımın tıksızlığı gibi üstünlüklerinden dolayı yakın gelecekte sayısal ilettime en büyük desteğı verecek olan bir gelişmedir.

Genel olarak bugün en çok kullanılan sayısal iletişim ortamı eşeksenel kablo ile mikrodalga radyodur; yakın gelecekte ise optik lifler olacaktır.

Bir iletişim kanalına gönderilen imlerin biçimleri çeşitli nedenlerden dolayı bozulur; zaman ekseninde ardarda gelen darbeler ve / veya öteki kanallardaki imler birbirlerine karışır, gürültüye bulaşır, vb... S'nuç olarak göndermeç ve almaçtaki dalgabiçimleri olduKça farklı olabilir. Güvenilir bir iletişim bağı'kurmak için sistem tasarımcısının çeşitli bozulma ve gürültü etmenlerini iyi bilmesi gerekir. Başlıca kanal bozanetkenleri iki kümede toplanabilir:

i) Gerekirci fakat bilinmeyen bozulmalar

- doğrusallıklar
- frekans kayması
- çokyollu yayılım
- evre bozulması

ii) İstatistiksel bozulmalar:

- ısı gürültü
- itkin (impulsive) gürültü
- sönümlenme (fading)
- zaman ve evre seçirmesi (jitter)
- çaprazkarışım

Gürültü ve bozulmalar, sonuçta, bazı imlerin yanlış algılanmasına, örneğin bir "1" in "0" şeklinde ya da "0" in "1" gibi sezilmesine yolaçar. Gürültü dışındaki öteki etmenler doğrudan yanlışlıklara neden olmazlar, ancak gürültünün imleri etkilemesini kolaylaştırır.

En önemli etmenler olan evre bozulması, toplanır gürültü ve zaman seçirmesi sorunları aşağıdaki gibi açıklanabilir.

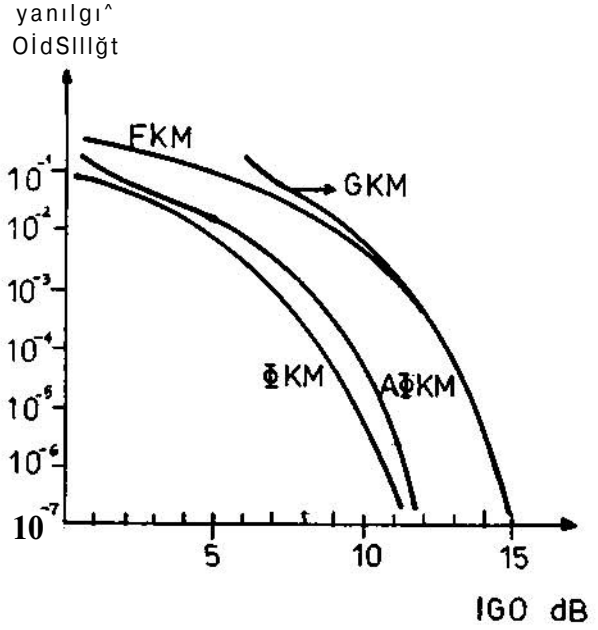
**GÜRÜLTÜ (77-82):** Bir iletişim sisteminin, içindeki ya da dışındaki doğal nedenlerden kaynaklanabilecek rastgele ve önceden kestirilemeyen imlere gürültü (ya da elektriksel gürültü) denir. Bir iletişim sisteminin, almaç, kanal, kod lama işlemcisi gibi değişik katlarında gürültünün oluşması kaçınılmazdır; öte yandan Dozulma ve karışmadan (interference) farklı olarak gürültü sistemden tümüyle arılamaz; ancak iyi bir sistem tasarımıyla bunun etkileri azaltılabilir.

En yaygın gürültü türü Gauss gürültüsüdür. Özellikleri, genlik olasılık dağılımının Gauss işlevi olması, geniş bantlı bir spektruma sahip olması, sürekli ve tektürel bir gürültü fonu oluşturmasıdır. Gauss gürültü bileşeninin başlıca kaynağı, iletkenlerdeki elektronların ısı enerjilerinden dolayı yaptıkları rastgele devinimlerdir. Nitekim, bir direncin üzerindeki ısı gürültünün gücü

$$V^2(t) = 4 k TR \text{ watt/Hz}$$

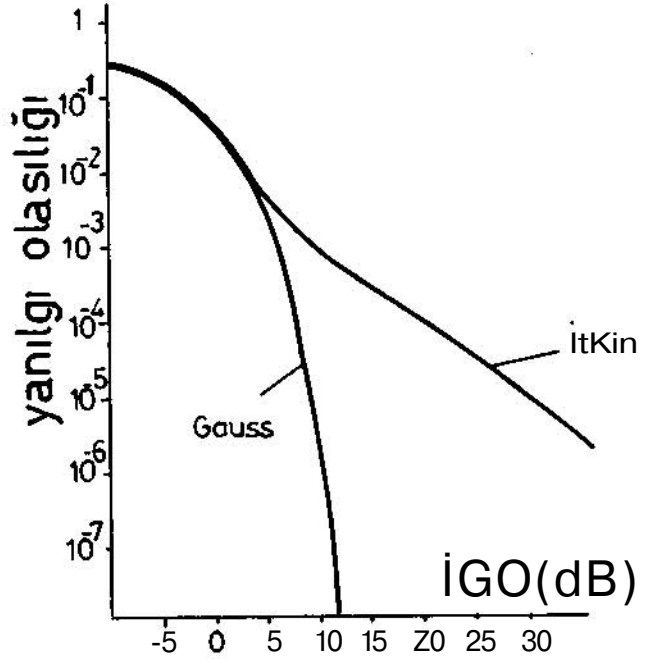
formülüyle verilebilmektedir; burada k Boltzman sabiti ( $1.38 \times 10^{-23}$ ) R direncin değeri, T ise direncin sıcaklığıdır (°K).

Gauss gürültülü bir ortamda modülasyon sistemlerinin davranışı Şekil 10'da gösterilmiştir. Yanılgı olasılıkları IGO'nun oldukça doğrusal olmayan bir işlevidir, özellikle yüksek IGO değerlerinde (örneğin 10 dB) küçük bir IGO artımı yanılgı olasılığını büyük oranda değiştirir. Ancak im gücünün istenildiği kadar artırılması olanaksızdır. Nitekim, gücü aramodülasyon bozulması, çaprazkarışım, sistemin aşırı yüklenmemesi gibi etmenlerce sınırlanır.

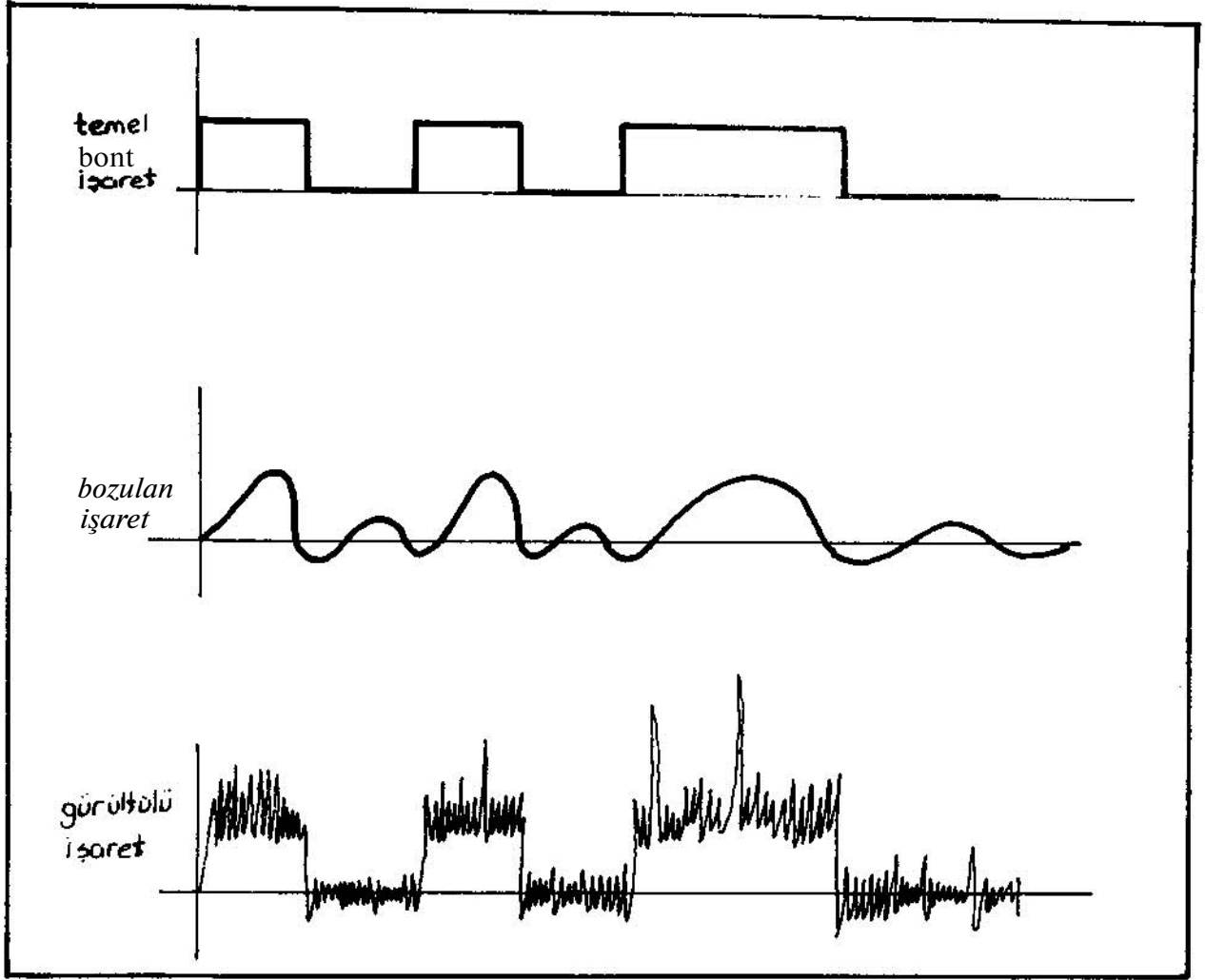


Şekil 10. Çeşitli ikili modülasyon yöntemlerinde yanılgı olasılıkları

özellikle telefon hatlarında ve ayrıca EAF-ÇAF, YF-ÇYF bantlarında sayısal iletişimin güvenilirliği itkin gürültü tarafından bozulur, itkin gürültü, uzun ve durgunumsu süreler arasında, büyük genlikti patlamalar halinde belirir. Bu tür gürültünün kaynakları a) atmosferik boşalmalar, yıldırımlar, b) telefon hatlarında bakım ve onarım sırasında çarpmalar, anahtar açma-kapamalarında oluşan



Şekil 11. İkili 4'KM'de Gauss ve İtkin gürültüsünün neden oldukları yanılgı olasılıkları.



Şekil 12. Bozulan İşaret ve Gürültü

arklar, c) kentsel yörelerde kullanılan aygıtlardan, örneğin bujiler ve flüoresan lambalarından gelen ışınım, d) FM ve FKM sistemlerindeki çatırtı gürültüsü (click noise), e) kozmik ışınım vb. olaylardır, itkin gürültünün iletişimi nasıl etkilediği Şekil 1'de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi, im gücü artırılrsa bile yanılğı olasılığı çok yavaş düşmektedir; bu durumda iletişim güvenilirliği doğrusal olmayan almaç ve işlemlerle sağlanabilir.

Şekil 14'de bir sönümlenme olayı süresince, kanaldaki im genişliğinin ve dolayısıyla yanılğı olasılığının değişmesine bir örnek verilmiştir.

**EVRE BOZULMASI (83-91):** Bir iletişim kanalının evre karakteristiğinin doğrusal olmaması ve/veya genlik spektrumunun dar olması imde evre bozulmasına yol açar.

Doğrusal olmayan kanal evresi, işaretteki her frekans bileşenine ayrı bir gecikme verir; böylece almaçta zaman işaretini oluşturan bileşenlerin bileşimi değişmiş olur ve dolayısıyla Şekil 2'deki örnekte olduğu gibi dalga biçimi bozulur.

Kanal bantgenişliğinin im spektrumuna (im görüncesine) göre dar olması her im darbesinin yayışmasına ve ardarda gelen imlerin birbirlerine girişmesine neden olur. Bu tür bozulma özellikle iletim bantgenişliğinin taşıyıcı frekansa göre büyük olduğu kanallarda, örneğin bu oranın 0.1 olması halinde, ortaya çıkar. Evre bozulması tel ve kablo kanallarında belki de en önemli sorundur, buna karşılık bu sorun, PYF, SYF ve milimetrik dalga kanallarında görülmez.

Dar bantlı bir kanal belleğe sahip demektir. Daha açıkçası, herhangi bir çıktı im sadece o andaki girdi işaretinin değil, o ve onu önceleyen bütün imlerin etkileşiminden oluşur. Matematiksel olarak, n. örnekleme anında almaçtaki işaret  $r_n$ ,

$$r_n = \sum_{i=-\infty}^n v_i + *n$$

biçiminde yazılabilir. Bu bağıntıda  $g_n$  gürültüyü  $s_{n,j}$  geçmiş girdileri,  $a_j$  ise kanalın örneklenmiş itki yanıtıdır (impulse response). Simgelerarası girişimi önlemek

için yukardaki eşitlikte  $a = 1$ ,  $a_j = 0$  i  $n$  olması, dolayısıyla kanaldaki bellek etkilerinin kalkması istenir. O halde, simgelerarası girişimi önlemek için kanalın itki yanıtımını, dolayısıyla, spektrumunu biçimlendirmek gerekir, işte bu işleme dengeleme (equalization: denkleştirme) denir. Denkleştirme, kanalın neden olduğu bozulmaları düzelterek biçimde bir süzgecin kullanılmasıyla sağlanır. Eğer  $a_j$  katsayıları biliniyorsa, denkleştirici katsayıları, çıktındaki, o andaki örneğin dışında kalan örnek değerlerinin karelerinin toplamını en aza indirerek bulunabilir.

Denkleştirilmeyen bir kanalda tek bir im (işaret) aralığını gözlersek, önceleyen ve sonra gelen bitlerin örüntüsüne (pattern) göre, algılanan imin gelişigüzel değiştiğini görürüz. Kanalın itki yanıtımını (impulse response) ne denli uzunsa, simgelerarası girişim de, o denli fazla olur. Böylece, 1 ve 0'ların oluşturacağı göz açıklığı yerine gürültü ve girişimden dolayı tam açık olmayan bir göz belirir; girişim arttıkça da göz kapanır. Gözün kapanması sezgicideki imin zayıflamış olması, dolayısıyla gürültü bağışıklığının azalması demektir.

Eşksenel kablolarda evre bozulmasına yol açan tipik bir frekansa bağımlı gecikme ve zayıflama karakteristiği, Şekil 13'de verilmiştir, öte yandan YF, ÇYF vb. radyo iletim kanallarında ise, evre bozulması çokyollu yayılımdan dolayı meydana gelir.

SEĞİRME SORUNU (92-97): Kaynaktan, zaman ekseninde, tekbiçimli olarak üretilen imlerin iletimi sürecinde bu özellikleri bozulabilir. Zaman seğirmesi (time jitter) diye bilinen bu sorun, almaç ve göndermeç arasındaki zamanlama ve evre uyumsuzluğundan, almaçtaki örnekleme anlarının göndermeçtekilere göre rastgele olarak seğirmelerinden kaynaklanır. Göndermeçteki itki dizisi (5 : delta - Dirac işlevi)

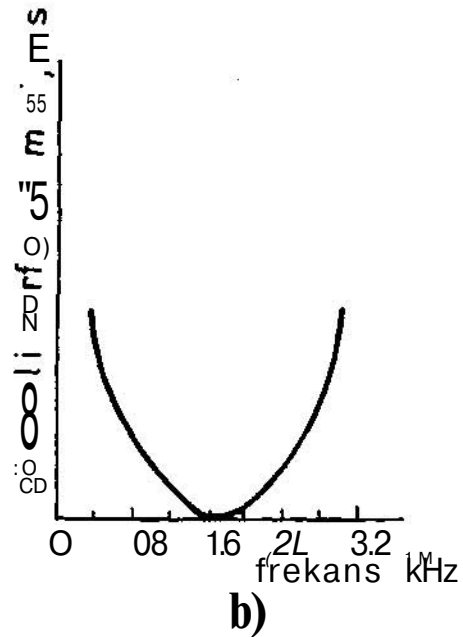
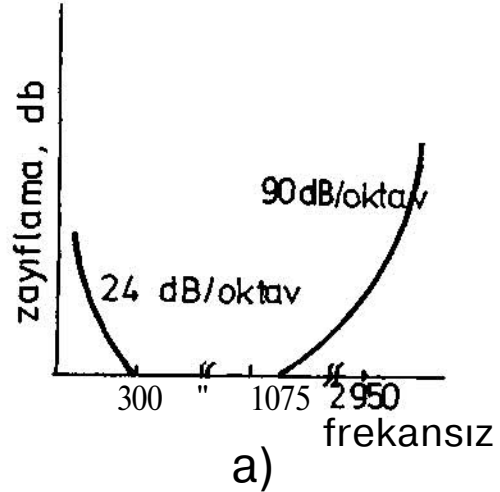
$$f_g(t) = \sum_n \delta(t - nT)$$

olarak yazılırsa, almaçtaki dizi

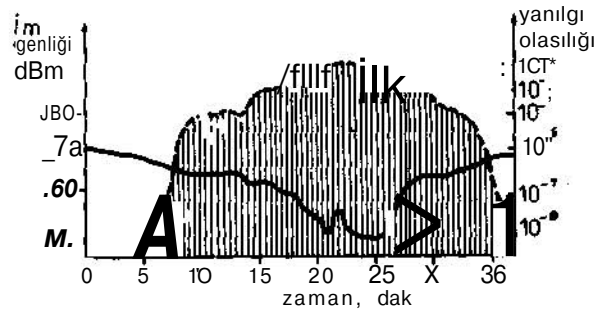
$$f_a(t) = \sum_n \delta(t - nT + \epsilon_n)$$

biçiminde ifade edilebilir. Burada  $\epsilon_n$  her örnekleme anında değişebilen bir rastgele niceliktir; böylece almaçta, örnekleme anı rastgele olarak gecikebilir ya da önce gelir.

Yeniden-üreten tekrarlayıcı sistemlerde zaman seğirmesi örnekleme anını, gözün en açık olduğu optimum noktadan saptırır. Zaman seğirmesinin ikinci bir etkisi de, sayısal analog dönüşümde ortaya çıkar; yanlış konumlarda gelen örnekler, S/A çevriminden sonra analog imde bozulma yaratırlar.



Şekil 13. Tipik bir telefon kanalının a) genlik ve b) gecikme özellikleri



Şekli 14. Bir kanal sönümlenmesi süresince işaret genliği ve yanlış olma olasılığının değişimi

Zaman seğirmesi, tekrarlayıcı bir sistemde her katta birikerek artabilir. Seğirmenin birikimi, seğirmenin oluşumunu önleyerek ve/veya seğirmeleri her katta gider -

meye çalışarak azaltılabilir. Seçirmenin başlamasını önlemek için veri dizisinin daha rastgele bir yapıya sahip olması istenir ve bu da bir veri karıştırıcısı (data scrambler) ile sağlanır.

Bu yazıda sayısal iletişimin temel sorunlarına ve özelliklerine değinilmiştir. Darbe Kod ve Delta Modülasyon sistemlerinin çalışma ilkeleri sayısal çoklamada öncegeler (hierarchies), veri modemleri, kablo ve radyolink iletimi gibi sorunlar bunu izleyen yazılarda açıklanacak tır.

#### IV. SAYISAL İLETİŞİMDEKİ YÖNSEMELER

Bugün iletişim sistemlerinde görülen en önemli gelişme, iletişim şebekeleri (serimleri) ve etkin kaynak paylaşımı kavramlarıdır (98-103).

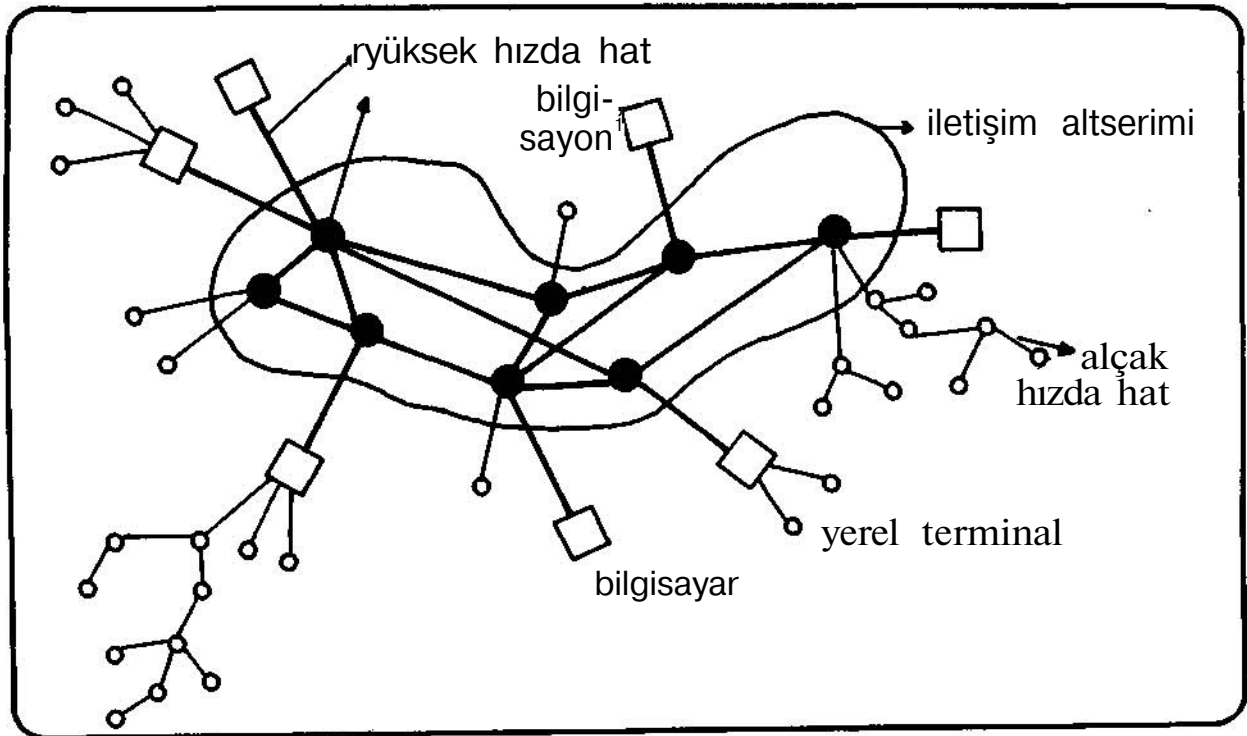
Değişik coğrafi konumlarda bulunan terminaller, bilgisayarlar, veri işlemcileri, tampon bellekler ve öteki birimlerin aralarında bağlantılanmalarıyla iletişim şebekeleri oluşur. Tipik bir bilgisayar şebekesi Şekil 15'de verilmiştir; burada bilgisayarların anahtarlama elemanları olarak da kullanıldığı görülmektedir. Bu tür şebekelerde uzun-erimli, geniş bantlı iletişim, uydu-radyo çıkın (packet) yöntemiyle, terminalden altşebekelere (altserimlere) erişim ise, yer-radyo çıkın yöntemiyle (ground radio packet communication) gerçekleşir. Böylece yöresel, ulusal ve uluslararası düzeyde bilgisayarlar birbirlerine bağlan-

abilirler. Şebekelerin en önemli yararlarından biri de kaynak kullanım ve paylaşımının daha verimli olmasını sağlamaktır. Bu bağlamda kaynak sözcüğü, bir bilgi iletim ve işleme sistemindeki tüm öğeleri, daha açıkçası, bellek, yazıcı, merkezi işlem birimi, kanal arabağı vb. gibi birimler demektir. Bilgisayarların yüksek bir doruk/ortalama kullanım oranına sahip olduğu bilinmektedir. Aynı şekilde, birçok iletim bantlarının kullanım yüzdeleri % 1 kadar da küçük olabilir. Buna karşılık, bu öğeler bir şebeke içinde yer alıyorsa, kullanımları daha etkin ve verimlidir.

Bilgisayar şebekeleri için en ilginç örnek 1970'lerde ABD'de gerçekleştirilen ARPANET şebekesidir. Bu proje ile düğüm santrallardaki veri depolama ve işleme yeteneği ile çıkın anahtarlamasının (packet switching) maliyet-etkin olduğu kanıtlanmıştır.

Anımsanacağı gibi, hat anahtarlamasında (line switching) ortak taşıyıcılı (common carrier) ses sistemlerinde olduğu üzere, iki uç arasında sabit bir bağlantı kurulur ve bu bağlantı veri iletiminin olduğu sürece değişmez. Uçtan uca iletim gecikmesi azdır; buna karşılık ilkin bağlantının oluşturulması onlarca saniye sürebilir.

Mesaj anahtarlaması (message switching: ileti açıklaması) yönteminde ilk başta mesaj hatta verilir ve veri öbekleri her seferinde değişebilecek düğüm ve hatlardan, varılacak terminale ulaşır. Her düğümde anahtarlama ve doğru adresin bulunması, öbek başında yer alan "adresleme bitleri" ile gerçekleşir. Herhangi bir hat meşgul ise, me-

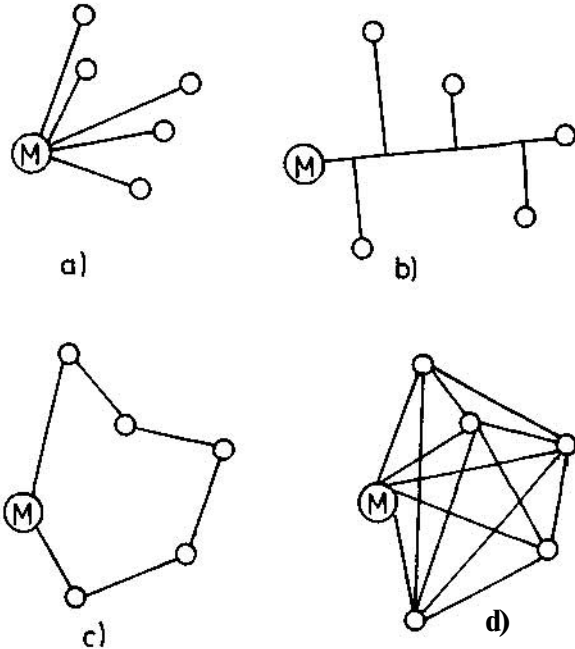


Şekil 15. Bir bilgisayar iletişim serimi, terminaller ve bilgisayarların bağlantılanması (Serim= Şebeke)

saj, tıkanıklığın sonuna dek, düğümde saklanır ve hat açılınca tekrar iletilir, işte bu nedenden dolayı, mesaj anahtarlamasına aynı zamanda "sakla ve ilet" kipi de (store and forward) denir.

Mesaj anahtarlaması kipinde, bir veri kanalı aynı zamanda birçok kaynak tarafından kullanılmak istenebilir; bu durumda çıkınların kesişmemesi, çakışmaması önemlidir. Bunun için de CCITT tarafından belirli protokollar salık verilmiştir, örneğin salt ALOHA (püre ALOHA) yönteminde çarpışan çıkınlar birbirlerini yok ederler ve dolayısıyla yeniden gönderilmeleri gerekir. Bunun dışında dilimli ALOHA (slotted ALOHA), FPÇE (Frekans Paylaşımı Çoklu Erişim), ZPÇE (Zaman Paylaşımı Çoklu Erişim), M/D/1, Taşıyıcı Algılayan (Carrier Sense) ve öteki yöntemler vardır.

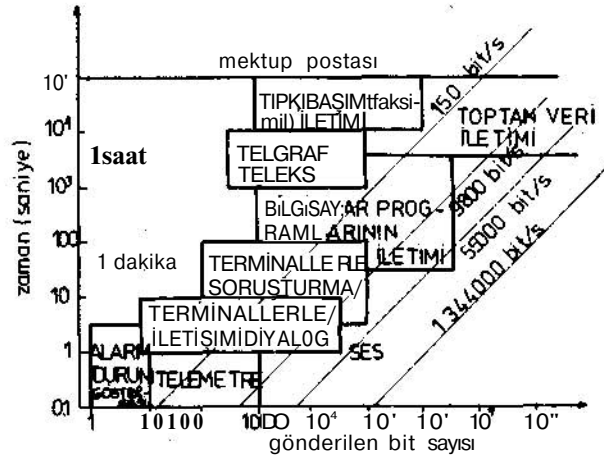
Bir iletişim şebekesi (serimi) büyüdükçe ve terminal, bilgisayar vb. birimlerin sayısı arttıkça, terminal-terminal bağlantıları yerine şebeke geometrileri (çizgeler) ön plana çıkmaktadır. Şebeke geometrilerine örnek olarak yıldız, sırasal uğraklı (multitrop), döngü ve çoklu-bağlantılı biçimler verilebilir (Şekil 16). Doğal olarak, her geometrinin kendine özgü hat denetimi, yanılığ düzeltilmesinde farkı, sorun ve üstünlükleri vardır. Sonuç olarak iletişim şebekelerinin tasarımında gözönünde tutulacak bilgiler veri oylumu, tepke süresi, doğruluk, yanılığ oranı, güvenilirlik, ekonomik olma, terminallerin konum ve türleri gibi etmenlerdir.



Şekil 16. Şebeke biçimleri a) yıldız, b) çoklu uğraklı, c) döngü, d) çoklu bağılantılı.

M. merkezi gösterir; her dört durumda da terminallerin cografialı konumları aynıdır.

Yakın geleceğe ilişkin öteki öngörüler şöyle değerlendirilebilir: Sayısal iletişimde veri oylumu üstel bir hızla artmaktadır. Bugün kullanılan veri türleri miktarları ve iletim süreleri Şekil 17'de gösterilmiştir. Ne var ki, -kurulmuş iletişim sistem donanım ve kanallar analog ses ve mesajların iletimi için tasarlanmıştır; ancak bu ortam, güvenilir sayısal iletişim için hiç de uygun değildir. Çünkü itkin gürültü, evre bozulması gibi etkenler sesin niteliğini ve anlaşılabilirliğini hiç olmazsa öznel bakımdan bozmazlar; buna karşılık bu etkenler veri iletimini bozup, güvenilirliğini sınırlar. Varolan analog ses-nitelikli hatlardan sayısal iletimi sağlamak için, çeşitli yöntem ve teknikler geliştirilip modemler kullanılmaktadır. Analog hatların veri iletimi için uyarlanması devam edecek ancak öte yandan uçtan-uca sayısal olan yeni hatların kurulması sürecektir. Böylece analogtan sayısal düzenlere olan yumuşak fakat kararlı geçiş süreci devam edecektir. Şekil 18'de de çeşitli ülkelerde yıllara göre döşenmiş sayısal devre-km'nin artışı gösterilmiştir.

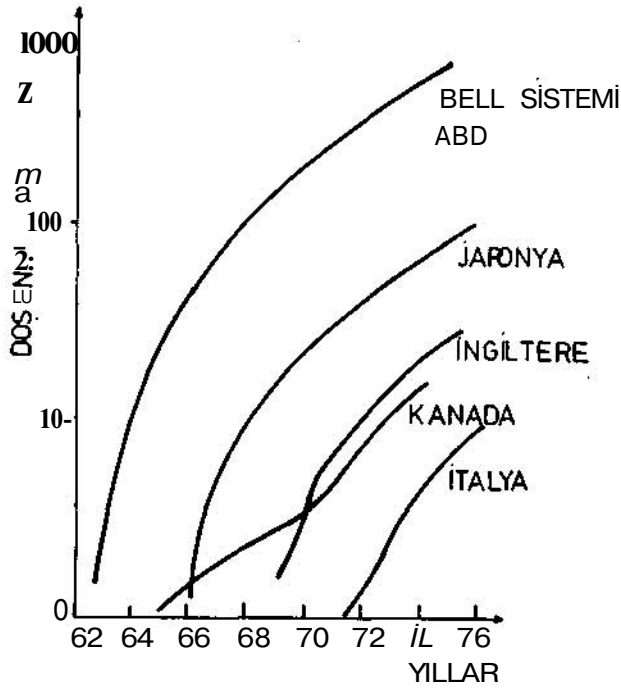


Şekil 17. Bugün başlığı kullanılan veri iletim türleri için veri oylumu (bitsayıcı) ve gereken iletim süresi.

Bu arada, kılavuzlu kanallar-özellikle optik kanallar ön plana geçip, geniş çapta kullanılmaya başlanacaktır. Dolayısıyla, 2000 yılına doğru sayısal iletişim optik kanallardan yapılacak, sayısal yöntemlerin neden oldukları aşırı frekans bandı gereksinmesi bir sorun olmaktan çıkacaktır. Ancak spektrum sıkışıklığı, radyo yöntemleri kullanan devingen taşıtlararası iletişim sistemlerinde sürecelecektir.

Sayısal iletişimin gelişmesine katkıda bulunacak başka bir etmen de donanımın evrimidir. Nitekim, özellikle çok geniş çapta tümleşim (VLSI) teknoloji ile iletişim aygıtları, örneğin kodlayıcı, A/S çevirgeç birimlerinde tek bir yonga üzerinde hazırlanacak ve her terminalde, örneğin telefon aygıtlarında bile kullanılmaları ekonomik yönden mümkün olacaktır.

Sayısal kaynak ve kanal türleri çoğalıp çeşitlenecektir. öte yanda, halen ayrı ayrı incelenip gerçekleştirilen kay-



Şekil 18. Yıllara göre döşenmiş sayısal devrenin artışı. Hemen her ülkede hızlı başlangıç dönemini sürekli bir büyüme izler.

nak, yanılğı, hat ve kriptografi kodlama ortakça yapılıacaktır. Daha açıkçası her dört isteri birden yerine getiren kodları bulmak ve pratiğe dönüştürebilmek doğrultusunda araştırmalar sürecektir.

Başka bir öngörü de, salt veri iletişimi yerine, bir uçtan uca bilişim ve iletişim sistemlerine yönelinecek, bu bağlamda insan da sistemin bir ögesi olarak ele alınacaktır. Dolayısıyla, insanın bilgi algılama ve işleme yetileri için psiko-fiziksel modeller geliştirip bunlardan yararlanılmaya çalışılacaktır.

İletişim kuram ve pratiğinde de önemli gelişmeler olacaktır. Sistem tasarımı, İGO, bantgenişliği gibi klasik parametrelerin ötesine geçecek ve çokkaynaklı çok-kanallı iletişim sistemlerinin en iyileştirilmesi kuramdan pratiğe dönüşecektir. Böylece sistem değişkenleri olarak da iletim hızı, yanılğı olasılığı, gecikme süreleri, kaynak ve kanal karakteristikleri, tampon belleklerin sığası, a nah tarlama ve güvenilirlik gibi etmenler alınacak ve tümleşik eniyileştirmeye gidilecektir.

Tartışılmaz bir gerçek de, iletişimin toplum ve ekonomilere giderek daha fazla etkisini göstereceğidir. (105-106) Örneğin, kamusal hizmetlerin hemen tümü çok büyük oylumlu bilgi kütüklerini yaşatma ve bunlara kamu arasındaki bilgi akışını düzenlemeyle gerçekleştirmektedir, bu yapılmadığı takdirde, ekonomiye büyük yükler getiren hizmetler çok düşük bir verimle sağlanabilmektedir. Bunun dışındaki birçok hizmetler de, sağlık, eğitim, ticaret ve maliye, kent ve devlet yönetimi gibi giderek artan oranlarda iletişim sistem ve tekniklerinden yararlanma zorunluluğundadır, özellikle, veri bankaları, insana uyumlu terminal donatısı, etkileşimli TV, vb., sayısal iletişim ve bilgi işlem hizmetlerini topluma yayacak etmenlerdir.

## KAYNAKLAR

- (1) C.E. Shannon, W. Weaver, *The Mathematical Theory of Communication*, Univ. of Illinois Press, 1949.
- (2) D. Middleton, *An Introduction to Statistical Communication Theory*, McGraw Hill, 1960.
- (3) W.R. Bennet, J.R. Davey, *Data Transmission*, McGraw Hill, 1965.
- (4) R.W. Lucky, J. Salz, E.J. Weldon, *Principles of Data Communication*, McGraw Hill, 1965.
- (5) B.P. Lathi, *Signals, Systems and Communication*, Wiley, 1965.
- (6) J.M. Wozencraft, I.M. Jacobs, *Principles of Communication Engineering*, Wiley, 1965.
- (7) S. Stein, J.J. Jones, *Modern Communication Principles*, McGraw Hill, 1967.
- (8) R.S. Simpson, R.C. Houts, *Fundamentals of Analog and Digital Communication Systems*, Allyn and Bacon, 1971.
- (9) H. Taub, D.L. Schilling, *Principles of Communication Systems*, McGraw Hill, 1971.
- (10) L.E. Frans (Düz.), *Data Communication: Fund. of Baseband Transmission* Halsted, 1974.
- (11) A.B. Carlson, *Communication System*, McGraw Hill, 1975.
- (12) A.P. Clark, *Principles of Digital Data Transmission*, Pentech Press, 1975.
- (13) P. Bylanski, D.G.W. Ingram, *Digital Transmission Systems*, Peter Peregrinus, 1976.

- (14) H. Stark, F. Tuteur, *Modern Electrical Communication*, Prentice-Hall, 1979.
- (15) M. Yılmaz, *Komünikasyon Sistem ve Teknikleri*, KTÜ, 1978.
- (16) P. Hersch, "Data Communications", IEEE Spectrum, 8,47-60, (1971).
- (17) A.H. Reeves, "The Past, Present and Future of PCM", IEEE Spectrum, 2, 58-63 (1965).
- (18) D.A. Chisholm, "The ABC's of digital telephone technology", Tel. Eng. Mang., 1976, Sept. 15.
- (19) M.R. Aaron, Digital Communications - The Silent Revolution, IEEE Comm. Mag., 17,16-26(1979).
- (20) T. Berger, *Rate Distortion Theory: A Mathematical Basis for Data Compression*, Prentice-Hall (1971).
- (21) H. Schmidt, *Analog/Digital Conversion*, Van Nostrand Reinhold, 1970.
- (22) N.S. Jayant, *Waveform Quantization and Coding*, IEEE Press Book, 1976.
- (23) H. Nyquist, "Certain Topics in Telegraph Transmission Theory", Trans. AIEE, 47, 617-644 (1923).
- (24) A.J. Jerri, "The Shannon Sampling: Its Various Extensions and Applications", Proc. IEEE, 65, 1565-1590(1977).
- (25) A. Gersho, "Quantization", IEEE Comm. Soc. Mag., 15,16-29,1978.
- (26) R. Steel, *Delta Modulation Systems*, Pentech Press., 1975.
- (27) P. Noll, "Adaptive Quantizing in Speech Coding Systems", Proc. 1974 Int. Zürich Sem.Dig.Comm. (1974).
- (28) B.S. Atal, M.R. Schroeder, "Adaptive Predictive Coding of Speech Signals", Bell Sys.Tech.J., 49, 1973-1986,(1970).
- (29) J.B. O'Neal, "Entropy Coding in Speech and Television Differential PCM Systems", IEEE Trans. Info.TR., 17,758-761 (1971).
- (30) J.D. Markel, A.H. Gary, *Linear Prediction of Speech*, Springer-Verlag, Berlin, 1976.
- (31) J.M. Tribolet ve diğ., "A study of Complexity and Quality of Speech Waveform Coders", IEEE Int. Conf. Acou. Speech Signal Proc. 586-, (1978).
- (32) R. Ash, *Information Theory*, Interscience (1965).
- (33) E.R. Berlekamp, *Algebraic Coding Theory* McGraw Hill (1968).
- (34) R.P. Gallager, *Information Theory and Reliable Communication*, Wiley (1968).
- (35) S. L^n, *An Introduction to Error Correcting Codes*, Prentice Hall (1970).
- (36) P. Beckmann, *Probability in Communication Engineering*, Harcourt Brace, (1967).
- (37) E.R. Berlekamp (Düz.), *Key Papers in the Development of Coding Theory*, IEEE Press Book (1974).
- (38) C.E. Shannon, R.G. Gallager, E.R. Berlekamp, "Lower Bounds to Error Probability for Coding on Discrete Memoryless Channels", IEEE. Trans. Infor.Control, (1967).
- (39) D.G. Forney, "Coding and its Applications in Space Communications" IEEE Spectrum, 7, 47-58 (1970).
- (40) H. Kobayashi, "A Survey of Coding Schemes for Transmission or Recording of Digital Data", IEEE Trans. Comm. Tech., 19,1087-1100 (1971).
- (41) W. Diffie, M.E. Hellman, "New Directions in Cryptography", IEEE Trans.Inform.Theory, 22, 644-654(1976).
- (42) A. Lender, "The Duobinary Technique for High Speed Data Transmission" 1963 IEEE Winter General Meeting.
- (43) A. Yongaçoğlu, "Temelbant iletiminde Kullanılan Sayısal Hat Kodları", TBTA Elektronik Araştırma Ünitesi Raporu.
- (44) E. Artluurs, H. Dym, "On the Optimum Detection of Digital Signals in the Presence of White Gaussian Noise", IRE Trans.Comm.Syst., 10, 336-372 (1962).
- (45) J.G. Smith, "On the Feasibility of Efficient Multi-amplitude Communication", Nat.Tel.Conf.Rec. 20E.1.20E. 5(1972).
- (46) J. Garodnick ve diğ. "Theory of Operation and Design of an All-Digital FM Discriminator", IEEE Trans. Comm., 20. 1159-1165 (1972).
- (47) H.C. van den Elden, P. van der Wurff, "A Simple Method of Calculating the Characteristics of FSK Signals with Modulation Index 0.5", IEEE Trans. Comm., 20,139-147(1972).



- (48) R.K. Kwan, W.F. McGee, "Digital Computer Simulation of a Frequency Shift Keying Systems" IEEE Trans.Comm., 16,683-690 (1968).
- (49) J.E. Mazo, J. Salz, "Theory of Error Rates in Digital FM", Bell Sys. Tech. J. 45, (1966).
- (50) B.R. Davies, "FM Noise with Fading Channels and Diversity", IEEE Trans. Comm.Tech. 19, 1189-1200 (1971).
- (51) V.O. Hentissen, "A Digital Demodulator for PSK Signals", IEEE Trans.Comm., 21, 1352-1360 (1973).
- (52) T.S. Koubanitsas, L.F. Tumer, "A Simple Bound for Coherent Phase PSK with Intersymbol Interference and Gaussian Noise". ProcIEEE, 120,725-732. (1973).
- (53) W.P. Osborne, M.B. Luntz, "Coherent and noncoherent detection of CPFSK", IEEE Trans. Comm. 22,1023-1036.(1974).
- (54) O. Shimbo ve diğ., "Performance of M-ary PSK Systems in Gaussian Noise and Intersymbol Interference", IEEE Trans. Info. Th, 19,44-58 (1973).
- (55) J.J. Busgang, M. Leiter, "Error Performance of Differential Phase Shift Transmission over a Telephone Line", IEEE Trans. Comm., 16, 414-419 (1968).
- (56) W.C. Lindsey, M.K. Simon, "On the Detection of Differentially Encoded Polyphase Signals", IEEE Trans.Comm., 20,1121-1128 (1972).
- (57) S.A. Rhodes, "Effect of Noisy Phase Reference on Coherent Detection of Offset-PSK Signals" IEEE Trans. Comm., 22,1046-1055 (1974).
- (58) O. Shimbo, M. Çelebiler, "The Probability of Error Due to Intersymbol Interference and Gaussian Noise in Digital Communication Systems", IEEE Trans. Comm., 19 113-119(1971).
- (59) R. Fang, O. Shimbo, "Unified Analysis of a Class of Digital Systems in Adaptive Noise and Interference", IEEE Trans., Comm., 21, 1075-1091 (1973).
- (60) B. Galdberg (Düz.) *Communication Channels: Characterization and Behavior*, IEEE Press Book, 1975.
- (61) L. Jahernowitz, "Transmission Properties of Filled Thermoplastic Insulated and Jacketed Telephone
- (62) T. Ericson, U. Johansson, "High Capacity Digital Line Links", 21, 680-686 (1973).
- (63) T. Ericson, U. Johansson, "Digital Transmission over  $O, \hat{O}, O, \hat{O}$ ", Ericson Tech. m-272 (1971).
- (64) A. Alexander ve diğ., "Capabilities of the Telephone Network for Data Transmission", Bell Sys. Tech. 30,431-, (1960).
- (65) E.O. Elliott, "A Model of the Switched Telephone Network for Data Communications", 44,89-110, (1965).
- (66) H.C. Fleming, R.M. Hutchinson, "Low Speed Data Transmission Performance on the Switched Telecommunications Network", Bell Sys. Tech. J., 50, 1385-1405(1971).
- (67) J.R. Wait, "The Mode Theory of VLF Ionospheric Propagation for Finite Ground Conductivity", Proc. IRE, 45, 760-767 (1957).
- (68) B. Sankur, C. Göksel, "İtkin Gürültünün Modellenmesi ve Benzetimi", V Ulusal Yöneylem Kongresi, Eskişehir, 1979.
- (69) P.A. Bello, "Error Probabilities Due to Atmospheric Noise and Fading in HF Ionospheric Communication Systems", IEEE Trans. Comm. Tech. 13,266-279 (1965).
- (70) J.R. Tucker, "Error Behavior of VHF Channels", IEEE Int. Comm.Conf. 15-30 (1972).
- (71) R.K. Kwan, "Advances in Digital Radio Systems", IEEE Trans. Comm. 21,147-151 (1973).
- (72) J.W. Graham, P.A. Bello, "A High Speed TDM Coherent FSK/PSK Digital Data Modem for Tporoscatter Links", IEEE Int.Comm.Conf., 18-24(1971).
- (73) R.M. Lan8<sup>elior</sup>. "Characterization and Coding of D c s p Stallite Communication Channels", IEEE EasconRec, 9-13 91968).
- (74) J.J.G. King ve diğ., "Megabit Data Links Using Noncoherent Light Sources", IEEE Int. Conf. Comm., 4/304/36 (1970).
- (75) J.R. Pierce, "Information Rate of Coaxial Cable and Various Modulation Systems", Bell Sys. Tech. J. 45,1197-1207(1966).
- (75) J.J. Spilker, *Digital Communications by Sotellite*, Prentice-Hall, 1977.

Cables at Voice and Carrier Frequencies", IEEE Trans. Comm., 21, 203-209 (1971).

- (77) **M.S. Gupta (Düz.)** *Electrical Noise Fundamentals and Sources*, IEEE Press Book, 1977.
- (78) **A van der Zeil**, *Noise Sources, Characterization Measurement*, Prentice-Hall, 1970.
- (79) **W.R. Bennett**, *Methods of Solving Noise Problems*, Proc.IRE.44.
- (80) **W.B. Davenport, W.L. Root**, *Introduction to Random Signals and Noise* McGraw Hill (1958).
- (81) H. Bittel, L. Storm, **Rauschen**, Springer Verlag (1971).
- (82) V. Radeka, "1/f Noise in Physical Measurements" IEEE Trans.Nuc.Sc. 16,17-35 (1969).
- (83) A.E. Karbowski, "Investigation of Signal Distortion in Cables Caused by Imperfections in Cable Manufacture", Proc. IEE, 121,419-431 (1974).
- (84) R.W. Chang, J.C. Hancock, "On Receiver Structures for Channels Having Memory", IEEE Trans. Info.Th. 12,463-468(1966).
- (85) M.R. Aaron, DAV. Tufts, "Intersybol Interference and Error Probability", IEEE Trans. Info.Th. 12, (1966).
- (86) R.W. Lucky, "Automatic Equalization for Digital Communication" Bell.Sys.Tech.J., 44, 547-558 (1965).
- (87) S. Oureshi, E. Newhall, "And Adaptive Receiver for DaU Transmission over Time Dispersive Channels" IEEE Trans.Info.Th. 19,448-457 (1973).
- (88) j.G. Proakis, J.H. Miller, "An Adaptive Receiver for Digital Signalling Through Channels with Intersymbol Interference", IEEE Trans.Info.Th., 15, 484-497 (1969).
- (89) D. George ve diğ., "An Adaptive Decision Feedback Equalizer", IEEE Trans.Comm. 19, 281-293 (1971).
- (90) J.R. Davey, **Modems**, Proc. IEEE, 60, 1284-1292 (9172).
- (91) D.W. Tufts, "Nyquist's Problem-The Joint Optimi-

zation of Trasmmitter and Receiver in PAM" Prev. IEEE, 53, 248-259 (1965).

- (92) **J.J. Stifler**, *Thcory of Synchronous Communications*, Prentice-Hall 1971.
- (93) W.H.C. Lindsey, *System in Cam-munication and Control* Prentice-hall, 1971.
- (94) Y. Takasagi, "Timing Extraction in Baseband Pul-x Transmission" ( IEE Trans .,Co mm., 20 , 877 . 884(1972).
- (95) A.L. McBride, "Optimum Estimation of Bit Synchronization" IEEE Trans , Aerospace Elce. Sys. 5,525-536(1969).
- (96) B.R. Saltzüerg, "Timing Recovery for Syndiro-nous Binary Data Transmission", Bell Sys. Tech. J, 46, 593-622 (1967).
- (97) D.J. Duttweiler, "The Gencreation and Accumula-tion of Timing Noise in PCM Systems", Bell Sys. Tech.J. 51,165-207 (1972).
- (98) M. Decina, "Planning a Digital System Hierarchy IEEE Trans.Comm., 20,60-64 (1972).
- (99) **J.E- Flood**, *Telecommunication Networks*, Peter Peregrinus, 1976.
- (100) **D. Bear**, *Principles of Telecommunication-Traf-f\* Engineering*, Peter Peregrinus.
- (101) J.Martin, **Systems Analysis for uata Transmission**, Prentice-Hall 1972.
- (102) L. Kleinrock, "On resource Sharing in a Distribu-ted Communication Environment", IEEE, Comm. Mag. 17,27-34 (1979).
- (103) R.E. Kahn, "The Organi^ation of Computer Reso-urces into a R\* Radio Networks", IEEE Trans. Comm., 25,169-178(1977).
- (104) E.C. Posner, "Information and Communication in the Development of a Nation", IEEE Trans. Comm, 20, (1972).
- (105) B.Wellenius, "On the Role of Telecommunications in the Development of a Nation", IEEE Trans. Comm - 20 > < 1972 ) -
- (106) B. Sankur, H. Abut, "Uziletişimin Toplumsal Etki-leri", 4. Ulusal Yöneylem Kongresi, 1978.