

Veri İletişimi

Hafta 4

Yrd.Doç.Dr. İbrahim ÖZÇELİK



İLETİM BOZULMALARI, KANAL KAPASİTESİ, GECİKME VE İLETİM ORTAMLARI

4.1 İLETİM BOZULMALARI

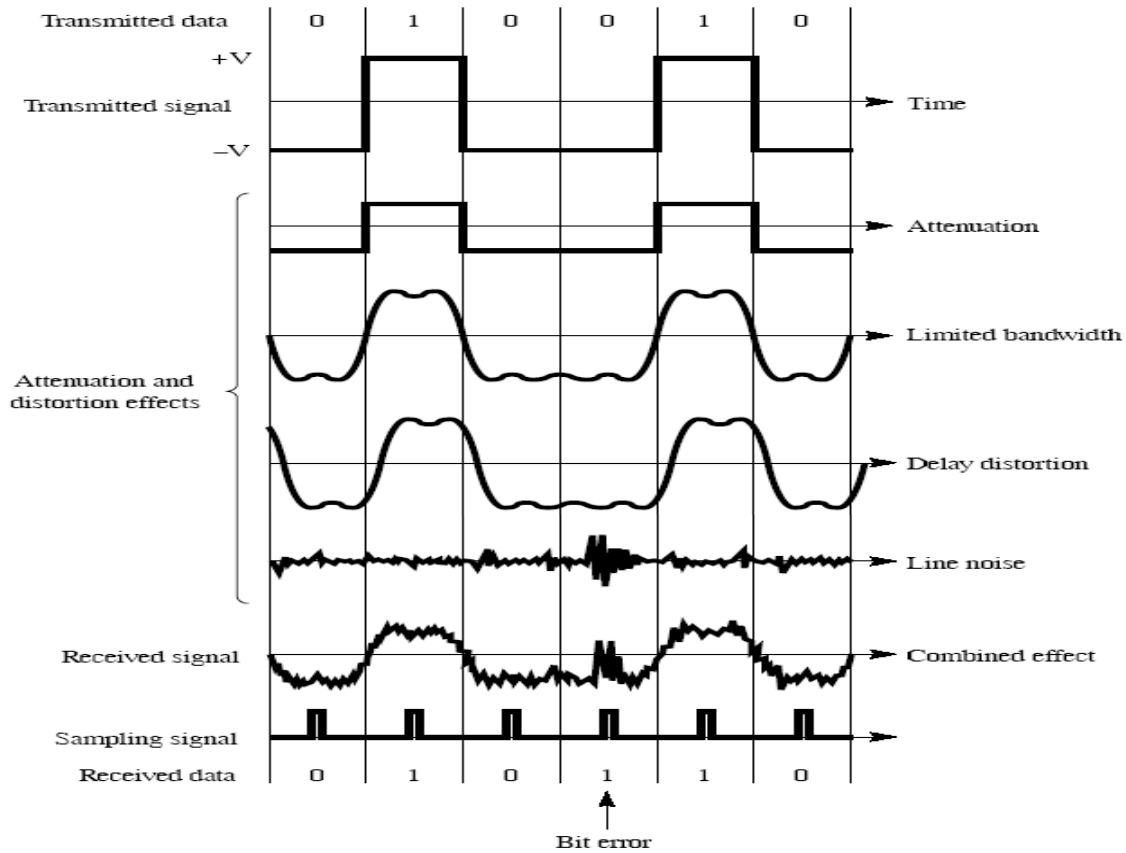
Analog iletimde sinyal kalitesindeki bozulmadan dolayı, sayısal iletimde de bit hatalarından dolayı alınan sinyal gönderilen sinyalden farklı olabilir. Bu fark sinyalde bozulmalara neden olur. İletim ortamındaki bozulmaların ana kaynakları ise aşağıda sunulmuştur:

- İletim ortamının çeşidi
- İletilen verinin bit hızı
- Haberleşen iki cihaz arasındaki mesafe

Gönderilen sinyal 4 farklı bozulma çeşidinden dolayı alıcı tarafından farklı algılanabilir:

- Zayıflama (Attenuation)
- Sınırlı Bandgenişliği (Limited Bandwidth)
- Gecikme Bozulması (Distortion)
- Gürültü – Noise

Şekil 4.1, gönderilen sinyal, gönderilen sinyal üzerine uygulanmış tüm bozulma çeşitleri ve alıcıdaki sinyali göstermektedir.



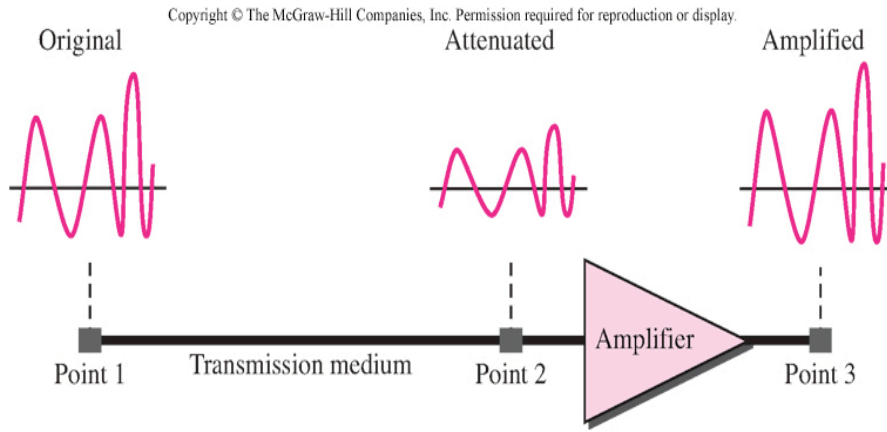
Şekil 4.1 Gönderici sinyal, bozulma çeşitleri ve alıcı sinyali

Zayıflama: Sinyal gücü mesafeye bağlı olarak azalır. Sinyalin enerjisinin ortamın direncinden dolayı azalmasıdır. Ortam türüne bağlı olarak değişir. Alınan sinyal gücü, sezilebilecek kadar yeterli sinyal gücünde olması gerekir. Hatasız alınabilmesi için gürültüden yeteri kadar yüksek değere sahip olması gerekir. Zayıflama aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır:

$$dB=10 \log_{10} (P2/P1)$$

- Decibel: Göreceli güç ölçümüdür.
- P1: iletilen sinyal gücü (watt)
- P2: alınan güç (watt)
- Negatif değer zayıflama
- Pozitif değer kazanç
- Boyutsuzdur

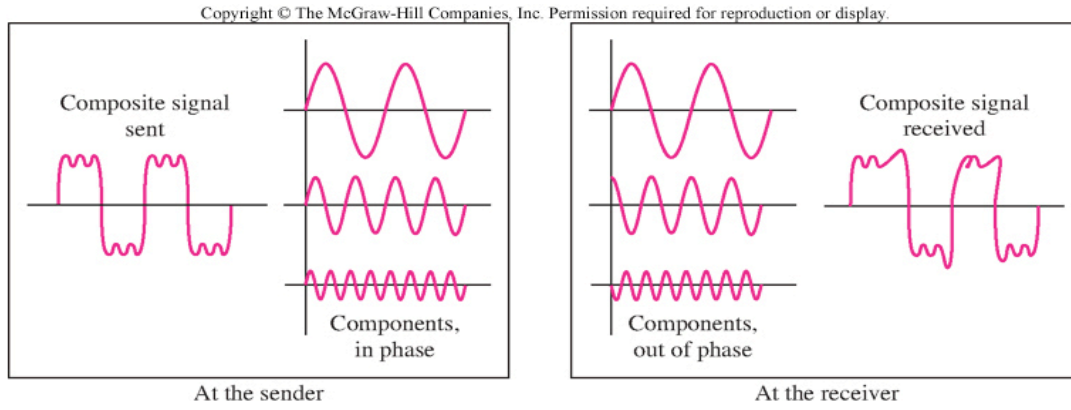
Şekil 4.2, point2'ye yerleştirilen bir yükselteç ile sinyal yeniden kuvvetlendirilmiştir.



Şekil 4.2

Sınırlı Bandgenişliği: Bir sinyal farklı frekans bileşenlerinin toplamından oluşur. Herhangi bir iletişim kanalı ya da iletim ortamı sınırlı bir bandgenişliğine sahiptir. Bir sinyal sınırlı bandgenişliğine sahip bir kanal tarafından iletilmek istendiğinde, ancak kanalın bandgenişliği içerisindeki frekans bileşenleri alınacaktır. Alınan sinyalde bir bozulma etkisi oluşturacaktır

Gecikme Bozulması: Sinyalin şekli (biçimi) değişir. Bir sinyalin iletim ortamı üzerindeki yayılım hızı sinyalin frekansı ile değişir. Bir sinyal iletilmek istendiğinde, sinyali oluşturan farklı hızlardaki farklı frekans bileşenleri alıcıya değişen gecikme süreleriyle ulaşır. Bu da bir bozulmaya neden olur (şekil 4.3).

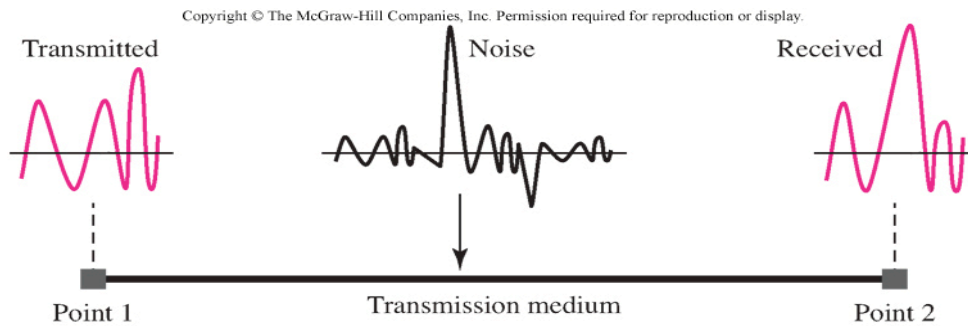


Şekil 4.3

Gürültü: Verici ve alıcı arasındaki sinyale ek (istenmeyen) sinyaller eklenir. Bu tür sinyallere gürültü denir. Gürültü dört kategoriye ayrılır:

1. Termal gürültü
 - Elektron hareketlerinin oluşturduğu ısı yapısından dolayı
 - Aynı tarzda dağılır
 - Bu gürültü elimine edilemez
2. Intermodulation gürültü
 - Farklı frekanslardaki sinyallerin aynı iletim ortamını kullanması sonucu oluşur
 - Bir sinyal farklı frekans bileşenlerinden oluştuğundan dolayı farklı frekanslardaki sinyal birbirlerine modülasyon etkisi yaparlar
3. Crosstalk-Yanses
 - Bir hattan gelen bir sinyalin diğer hattan gelen sinyalden etkilenmesi sonucu oluşur
4. Impulse Gürültüsü
 - Düzensiz darbeler ve çıkışlar
 - Harici elektromanyetik girişim
 - Kısa süreli
 - Yüksek genlikli

Şekil 4.4'te farklı gürültü çeşitleri oluşan sinyalin gönderilen sinyal üzerine binmesiyle alınan sinyali göstermektedir.

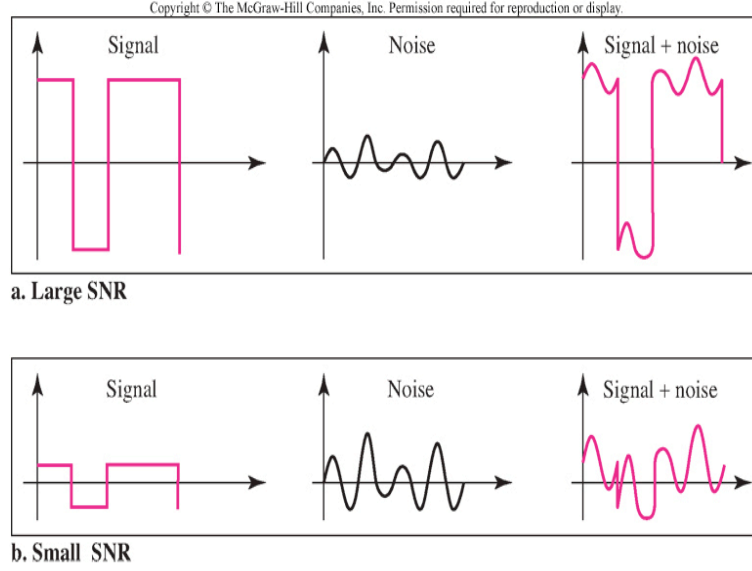


Şekil 4.4

Sinyal/Gürültü Oranı: Bir sinyalin içerdiği gücün gürültü gücüne oranı iletimde önemli bir konudur. Bu oran sinyal gürültü oranı (SNR) olarak tanımlanır ve aşağıdaki bağıntıyla hesaplanır:

$$SNR_{dB} = 10 \log_{10} SNR \text{ (Sinyal gücü/Gürültü gücü)}$$

Şekil 4.5'te yüksek ve düşük sinyal ve gürültülere sahip sinyal örnekleri verilmiştir. Yüksek bir SNR değeri yüksek kaliteli sinyal manasına gelir. SNR erişilebilir veri hızının üst sınırını belirler.



Şekil 4.5

4.2 KANAL KAPASİTESİ

Daha büyük bir bandgenişliği daha yüksek bir bilgi taşıma kapasitesi sağlar. Buna göre;

- Herhangi bir sayısal dalga aslında sonsuz bir bandgenişliğine sahiptir.
- Fakat iletim ortamı/sistemi bozulmalardan dolayı bu bandgenişliğini sınırlandıracaktır.
- Ve bununla beraber, herhangi verilen bir ortam için, daha yüksek bandgenişliği iletim maliyetinin artmasına neden olacaktır
- Buna karşılık, bandgenişliğini sınırlamak bozulmalara neden olmaktadır

Bütün bunlara bağlı olarak Kanal kapasitesi;

- Belirli şartlar altında, verilen bir iletim ortamı ya da kanalı üzerinden iletilebilecek maksimum bit hızını tanımlar
- Nyquist tarafından gürültüsüz ve Shannon tarafından gürültülü kanal için bit hızları belirlenmiştir.
- Bandgenişliği, Gürültü ve Hata Oranı gibi 3 faktörden etkilenir
 - Bandgenişliği
 - Saniyedeki sıklık oranı (çevrim sayısı - Hz) ile ifade edilir,
 - Verici ve iletim ortamının yapısı ile sınırlandırılır
 - Gürültü
 - İletişim yolu üzerindeki ortalama gürültü seviyesidir
 - Hata Oranı
 - Gönderilen bitlerden ne kadarı alıcı tarafından yanlış alınmıştır. Bu hataların meydana geldiği oranı tanımlar

Nyquist Bit Hızı: Gürültüsüz ve hatadan yoksun bir kanal için tanımlanmıştır. Bandgenişliği B olarak verilmişse, en yüksek sinyalleşme hızı $2B$ 'dir.

- İki voltaj seviyeli binary sinyal için

$$\text{Nyquist bit hızı} = 2B \text{ (bps)}$$

- Çoklu voltaj seviyesine veya sinyal seviye sayısına (L) sahip sinyal için Nyquist bit hızı

$$\text{Nyquist bit hızı} = 2B \log_2 L \text{ (bps)}$$

Örnek: $L=8$ (bazı modemlerde kullanılan değerdir) ve 3000 Hz'lik bandgenişliği için Nyquist bit hızı = 18000 bps olur

Shannon Kapasite Formülü: Bit hızı, gürültü ve hata hızı arasındaki ilişki dikkate alınır;

- Bit hızı ne kadar artarsa her bir bitin süresi de o kadar azalır, bu yüzden bir gürültü patlaması durumunda daha fazla bit etkilenir
- Verilen bir gürültü seviyesi için yüksek bit hızı daha yüksek hata oranı anlamına gelir
- Bir sinyalin içerdiği gücün gürültü gücüne oranı, sinyal gürültü oranı (SNR) olarak tanımlanır
- SNR erişilebilir veri hızının üst sınırını belirler
- Bütün bunlara bağlı olarak Shannon, gürültülü bir kanal için teorik en yüksek bit hızını aşağıdaki formülle belirlemiştir.

$$\text{Shannon Kapasite: } C = B \log_2(1 + \text{SNR}) \text{ (bps)}$$

Örnek: $BW = 3000 \text{ Hz}$ ve $S/N = 35 \text{ dB}$ (3162) olan bir telefon hattı için maksimum veri hızı;
 $C = 3000 * \log_2(3163) = 34860 \text{ bps} = 34.86 \text{ Kbps}$

Örnek: 3 Mhz ve 4 Mhz arasında bir spektruma sahip bir kanal, 24 dB'lik bir SNR değerine sahiptir. Buna göre maksimum kapasiteyi belirleyiniz? Shannon formülü kullanılarak;

$$B = 4 \text{ MHz} - 3 \text{ MHz} = 1 \text{ Mhz}$$

$$\text{SNR}_{\text{db}} = 24 \text{ dB} = 10 \log_{10} (\text{SNR})$$

$$\text{SNR} = 251$$

$$C = 10^6 * \log_2(1 + 251) = 10^6 * 8 = 8 \text{ Mbps}$$

8 Mbps'lık maksimum kanal kapasitesini elde etmek için kaç sinyal seviyesi gereklidir?

$$C = 2B \log_2 L$$

$$8 \times 10^6 = 2 \times (10^6) * \log_2 L$$

$$4 = \log_2 L$$

$$L = 16$$

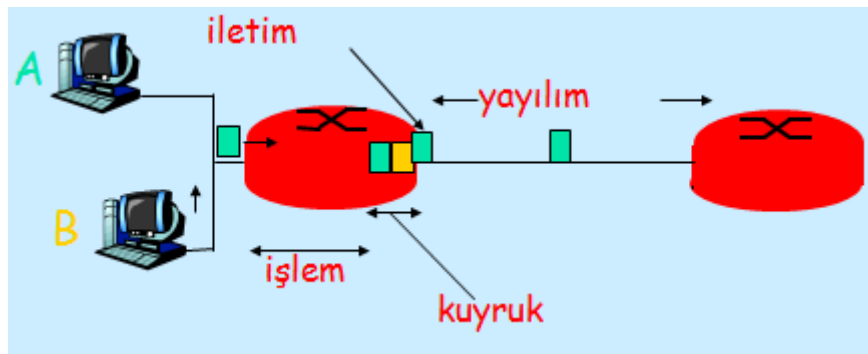
4.3 AĞLARDA GECİKME / PERFORMANS

- Bant genişliği, ağ performansını belirleyen ölçütlerden birisidir. Bant genişliği Hz olarak frekans bandını veya bps olarak bit hızı değerini gösterir. Throughput ise bir bağlantının gerçek bps değeridir.
- Gecikme (Latency), verinin kaynağından hedefine gönderilmesi için harcanan sürelerin toplamıdır.
 - Birçok uygulama için anahtar bir gereksinimdir ve ağın performansını değerlendirmek için kullanılan temel bir başarımlı ölçütüdür.

- Gecikme birçok faktöre (trafik yoğunluğu, hatalar, vb.) bağlı olduğu için zamanla değişir
- Bazı gecikme ölçütleri vardır. Bunlar: Maksimum gecikme, Ortalama gecikme, gecikme değişimi (delay jitter)
- Gecikme ölçütü uygulamaya bağlı olarak da değişir. Örnek: iyi kaliteli bir ses maksimum 90 ms'den daha az bir gecikme ve küçük bir gecikme değişimi gerektirirken, bir çok veri uygulaması için daha büyük gecikmeler yeterli olabilir

Ağ içerisinde şekil 4.6'ta gösterildiği gibi 4 adet gecikme bulunmaktadır. Bir de hatalı iletimlere karşılık veri biriminin yeniden iletimi için harcanan yeniden iletim gecikmesi bulunmaktadır. Böylelikle toplam 5 adet gecikme bulunmaktadır. Toplam gecikme aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$\text{Toplam Gecikme} = \text{İletim G} + \text{Yayılım G} + \text{İşlem G} + \text{Kuyruk G}$$



Şekil 4.6

İletim ve Yayılım Gecikmeleri: İletim ve yayılım gecikmeleri kullanılan fiziksel ortam ve iletim tekniğine bağlıdır.

İletim gecikmesi çerçevenin hattın bit hızında gönderilmesi için harcanan zamandır. İletim gecikmesi paket boyutuna bağlı olarak değişir ve aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$T_x = \text{İletilecek bitlerin sayısı (N)} / \text{Hattın hızı (bps)}$$

Yayılım gecikmesi, verinin iletim ortamının bir başından diğer başına kadar yayılması için geçen zamandır.

- Bir ağ üzerindeki yayılım gecikmesi her bir paket için genelde sabittir.
- Yayılım gecikmesi açısından en iyi sinyal uzayda ışık hızıyla (3×10^8 m/sn) yayılmasıdır
- Burulmuş çift veya koaksiyel kablo için bu değer ortalama 2×10^8 m/sn'dir

$$T_p = \text{Hattın fiziksel uzunluğu (m)} / \text{Yayılım hızı (m/sn)}$$

Örnek1: 2.5kbyte bir e-mail için 1Gbps bant genişliği olan ağda yayılım ve iletim gecikmesi değerleri nedir? Alıcı verici arası mesafe 12000km ve yayılım hızı 2.4×10^8 m/s'dir.

- Yayılım gecikmesi = $(12000 \times 10^3) / 2.4 \times 10^8 = 50$ ms
- İletim gecikmesi = $(2500 \times 8) / 10^9 = 0.02$ ms

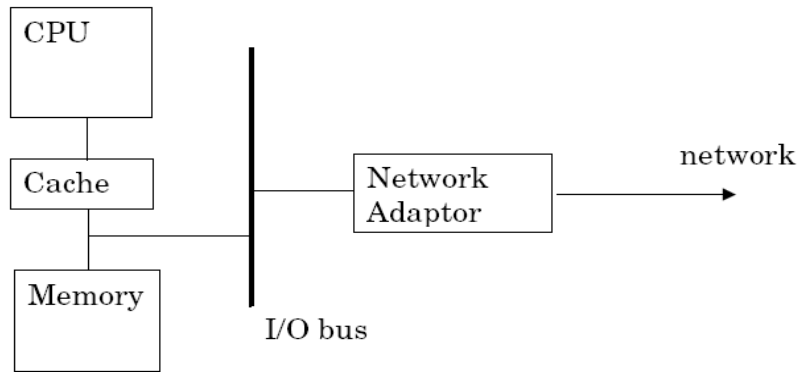
- Mesaj boyutu kısa, bant genişliği yüksek olduğu için dominant (baskın) faktör yayılım gecikmesidir. İletim gecikmesi ihmal edilebilir.

Örnek2: 5Mbyte bir resim için 1Mbps bant genişliği olan ağda yayılım ve iletim gecikmesi değerleri nedir? Alıcı verici arası mesafe 12000km ve yayılım hızı $2.4 \cdot 10^8$ m/s'dir.

- Yayılım gecikmesi = $(12000 \cdot 10^3) / 2.4 \cdot 10^8 = 50$ ms
- İletim gecikmesi = $(5000000 \cdot 8) / 10^6 = 40$ s
- Mesaj boyutu büyük, bant genişliği düşük olduğu için dominant (baskın) faktör iletim gecikmesidir. Yayılım gecikmesi ihmal edilebilir.

İşlem Gecikmesi: Bir paketin iletilmesinden önce herhangi bir işlem için gerekli olan zamanı tanımlar. Verici ve alıcı tarafının her ikisinde de mevcuttur. Ağa bağlı olan bir düğüm için tipik bir mimari şekil 4.7'de gösterilmiştir.

- Fiziksel katman ve veri bağı katmanı genellikle ağ adaptör kartı üzerindeki donanımda gerçekleşir. Ağ kartı, sistem I/O veriyoluna bağlı olur.
- Veri, düğümün ana belleğinden / belleğine I/O veriyolu üzerinden transfer edilir.



Şekil 4.7

- Ağdan bir paket geldiğinde CPU üzerinden bir uygulamaya teslim edilmeden önce çeşitli gecikme kaynaklarından etkilenir. Bunlar:
 - İlgili protokolü gerçeklemek için gerekli saat çevrimlerinin sayısı
 - Ağ adaptör kartının hat hızına ayak uydurmak için tamponlama
 - I/O veriyolunu kazanmak için harcanan zaman
 - I/O veriyolu üzerindeki iletim zamanı
 - Bellek erişim hızı
 - Kesme işlem zamanı
- Bilgisayar mimarileri ve protokolleri, bu tür gecikmeleri minimize etmek için optimize edilmektedir. (İşlemci hızı, I/O veriyolu hızı, veri iletim yapıları, adresleme mekanizmaları, ..)

Kuyruk Gecikmesi: Kuyruk gecikmesi bir paketin işlenmesinden ve iletilmesinden önce bellekte beklediği zamanı tanımlar.

- Gecikmenin nedeni; diğer paketin ya aynı kaynak tarafından ya da diğer kaynak tarafından iletiliyor olmasından dolayıdır.
- Örnek: 1 Mbps'lık hıza sahip bir iletim hattı düşünülürse;

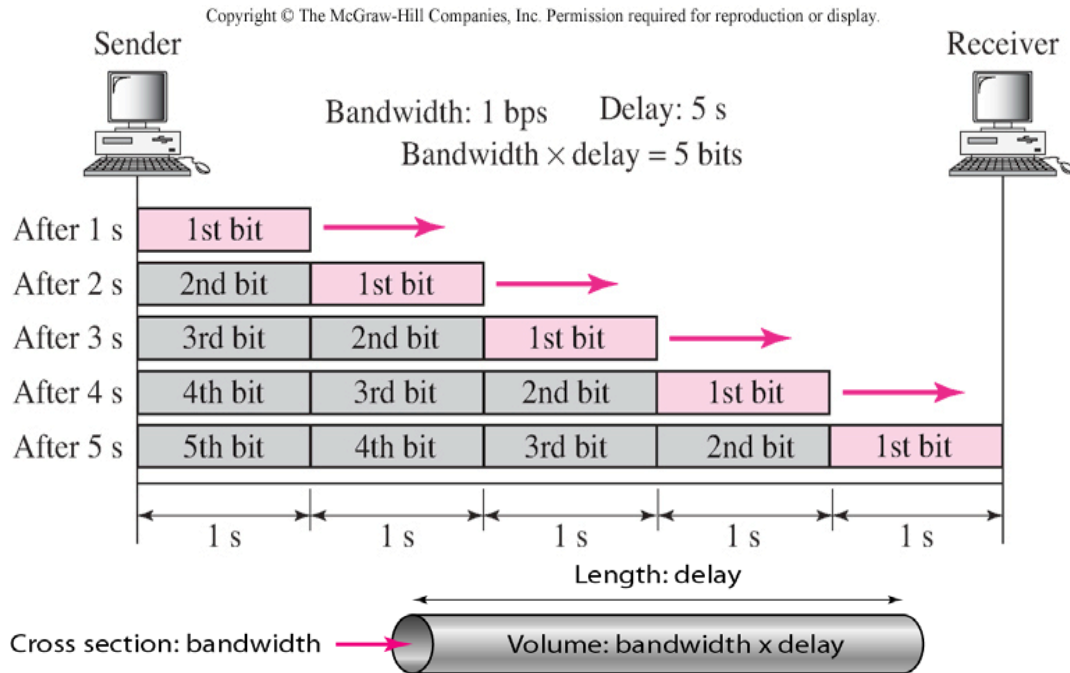
- 1000 bitlik paketlerin iletim hattı üzerinden iletilmek istenirse, böyle her bir paketin iletimini 1ms'lik bir zaman alır
- Paket varışları arasındaki zaman 1 ms'den daha büyükse kuyruk oluşmayacaktır
- Paket1 t=0 anında, Paket2'nin de t=0.4ms'de vardığını (geldiğini) kabul edelim. Paket1'in iletimini 1ms alacaktır. Bundan dolayı paket2 iletilmeden önce tamponda 0.6 ms kadar bekleyecektir. Bu gecikmeye kuyruk gecikmesi denir

Ağlarda kuyruk gecikmeleri/modelleri matematiksel olarak analiz edilebilir. Bu gecikmeler /modeller üzerinde yapılan çalışma Kuyruk Teorisi olarak adlandırılır.

Yeniden İletim Gecikmesi: Ağ içerisinde düğümler arasında güvenli veri iletiminin sağlanamaması (verilerin bozulması, zamanında hedefine ulaşmaması) durumunda ilgili paketin/çerçevenin tekrar iletimi gerekir.

- Idle RQ
 - Send and Wait (Stop and Wait)
- Continuous RQ
 - Selective Repeat
 - Go Back N

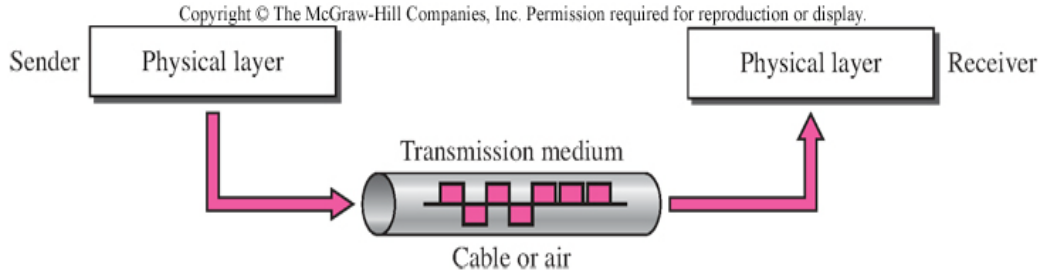
Bandgenişliği ve Gecikme: Bant genişliği-gecikme (Bandwidth-Latency) çarpımı, hat (kanal) üzerinde aynı anda bulunan bit sayısını gösterir. Şekil 4.8'de bandgenişliği bit iletim hızı açısından 1 bps, fakat alıcıya ulaşması 5 sn sürdüğünden kanal üzerinde aynı anda bulunan bit sayısı 5 bit olmaktadır.



Şekil 4.8

4.4 İLETİM ORTAMLARI

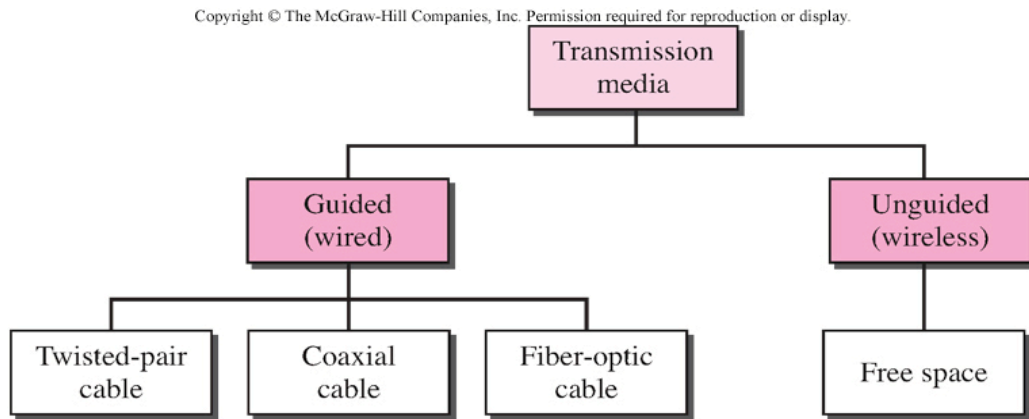
İletim ortamı verici ve alıcı arasındaki fiziksel yolu tanımlar (şekil 4.9). İletim ortamı, fiziksel katmanın altında yer alır ve fiziksel katman tarafından kontrol edilir. İletim ortamındaki anahtar konular, veri hızı ve mesafedir.



Şekil 4.9

İletim ortamları kılavuzlanmış (kablolu) ve kılavuzlanmamış (kablosuz) ortam olarak ikiye ayrılır (şekil 4.10):

- Kılavuzlanmış ortamda veri elektrik sinyalleri vasıtasıyla iletilir ve bu ortamda kullanılan ortam türü daha önemlidir
- Kılavuzlanmamış ortamda ise veri elektromanyetik dalgalar (sinyal) vasıtasıyla iletilir ve bu ortamda anten tarafından sunulan bandgenişliği daha önemlidir



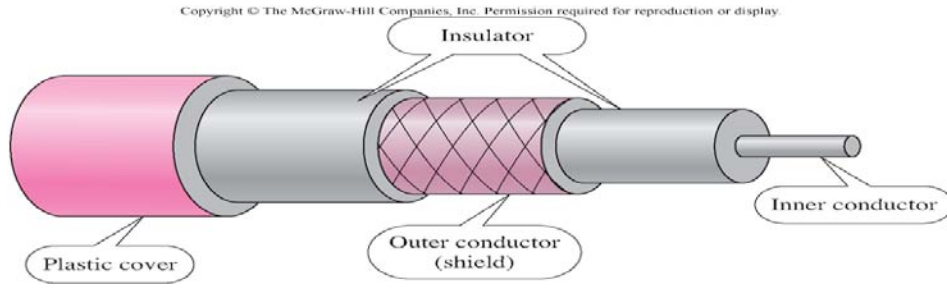
Şekil 4.10

4.4.1 Kablolu (Kılavuzlu) İletim Ortamları

Dalgalar katı bir ortam boyunca hareket eder. Üç çeşit kablolu iletim ortamı vardır:

1. Eş Eksenli (koaksiyel) Kablo: Koaksiyel kablo merkezde bir iletken bulundurur (şekil 4.11).
 - Analog ve Sayısal sinyallerin iletimlerinde kullanılır.
 - Burulmuş çift kablodan daha yüksek frekans aralığındaki sinyalleri taşır.
 - Koaksiyel kablo, analog telefon ağlarında kullanılır (bir coax kablo 10.000 ses sinyali taşır).
 - Sayısal telefon ağlarında kullanılır bir coax kablo 600 Mbps sayısal veri taşır).
 - Kablo TV ağlarında coax kablo (RG-59) kullanılır.

- Ethernet ağlarda kullanılır (10Base-2 ve thin ethernet RG-58 kullanır (10Mbps, 185m), 10Base-5 ve thick ethernet RG-11 kullanır (10Mbps, 5.000m)).



Şekil 4.11

2. Burulmuş Çift Kablo: Çok yaygın olarak kullanılan bir iletim ortamıdır ve burulmuş bir kablo yapısındadır (şekil 4.12). Telefon hatlarında ses ve veri iletişimiinde ve yerel alan ağ bağlantıları (10Base-T, 100Base-Tx, 1000Base-T) kullanılır.

- Avantaj ve Dezavantajları
 - Diğer iletim ortamlarına göre ucuz
 - Çalışılması kolay
 - Kısa mesafe
- İletim Karakteristikleri
 - Analog ve Sayısal sinyallerin iletiminde kullanılabilir
 - Mesafeye uzatmak için yükselteç ya da tekrarlayıcı kullanılır
 - Gürültü büküm içerisindeki kabloları aynı oranda etkiler. Alıcı iki tel arasındaki farkı değerlendirir.

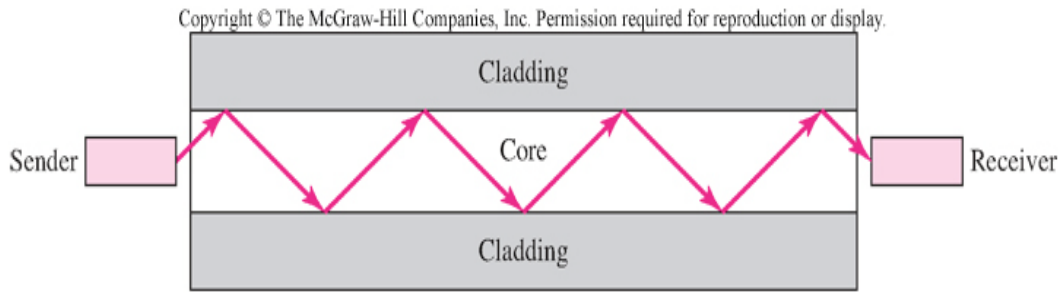


Şekil 4.12

- UTP kablo kendi içinde güvenli olarak aktarabileceği veri miktarına göre kategorilere sahiptir. Bu kategoriler aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Kategori	Özellik	Bant Genişliği (Hz)	Veri Hızı (Mbps)	Kullanım Yeri
1	Kapı Zili veya Speaker için kullanılan UTP	100KHz	<0.1	Kapı Zili ve Speaker
2	T hatlarda kullanılan UTP	1Mhz	2	T-1 hatları
3	LAN'larda kullanılan CAT 2'nin gelişmiş halidir	16 MHz	10	LAN
4	Token Ring ağlarda kullanılan CAT3'ün gelişmiş halidir	20 Mhz	20	LAN
5	Kırlı 24 AWG (American Wire Gauge) kablodur	100 Mhz	100	LAN
5E	Crosstalk ve enterferansı azaltılmış CAT5'tir	100 MHz	125	LAN
6	200 Mbps hız testinden geçen kablodur	250 Mhz	200	LAN
7	4 çiftin ayrı ayrı ekranlandığı STP kablodur.	600 MHz	>600	LAN

3. Fiber Optik Kablo: Işığın iletimi esası üzerine dayalıdır (şekil 4.13). Daha yüksek iletim hızları sağlar. Boyut ve ağırlık diğer kablolu iletim ortamlarına göre çok azdır. Zayıflama daha azdır ve daha uzak tekrarlayıcı mesafesi sağlar.



Şekil 4.13

- İletim karakteristikleri
 - Diğer iletim ortamlarına göre çok yüksek frekansa sahiptir - 10^{14} to 10^{15} Hz
 - Cam ya da plastikten yapılırlar
- Fiber optik kablo Kullanım Alanları
 - Geniş bant genişliğinden dolayı backbone ağlarda kullanılır.
 - WDM ile 1600 Gbps(1,6 Tbps) hızında iletişim yapılabilir.
 - SONET(Synchronous Optical NETwork) ağlarda kullanılır.
 - Yerel alan ağlarında (100Base-FX ve 1000Base-X) fiber optik kablo kullanılır
- Fiber optik kablo – avantajları
 - Yüksek bantgenişliği
 - Düşük sinyal attenuation
 - Elektromanyetik gürültüden etkilenmez
 - Korozyona karşı daha dirençlidir.
 - Ağırlığı hafiftir.
 - Bağlantı noktalarında, bakır kablolardaki gibi anten etkisi oluşturmaz.
- Fiber optik kablo – dezavantajları
 - Kurulum ve işletim için uzman personel gerekir.
 - Işık tek yönlüdür, iki yönlü iletişim için iki fiber optik kablo gerekir.
 - Maliyet yüksektir.

4.4.2 Kablosuz (Kılavuzsuz) İletim Ortamları

Atmosfer vasıtasıyla yayımlanan elektromanyetik sinyallerin gönderilmesi ve alınması bir anten vasıtasıyla gerçekleşir. Kablosuz iletim için konfigürasyonlar iki çeşittir:

- Tek yönlü sinyal gönderme (directional)
- Çok yönlü sinyal gönderme (omnidirectional)

Kablosuz iletim ortamı olarak tek hava (atmosfer) olmasına rağmen, sahip oldukları frekans bandları ve kullandıkları uygulama alanlarına bağlı olarak aşağıdaki gibi kablosuz (kılavuzlanmamış) iletim ortamları bulunmaktadır:

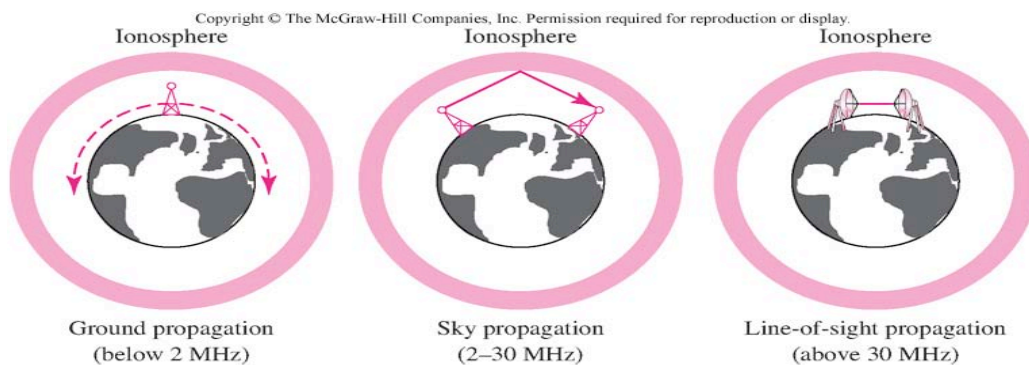
- Radyo İletişimi
 - Radyo Dalga
 - Mikrodalga
 - Karasal Mikrodalga
 - Uydu Mikrodalga
- Infrared

Kablosuz sinyallerin frekans spektrumları aşağıdaki gibidir:

- Radyo Dalga Frekans Aralığı: 3 kHz - 1 GHz
 - Çok yönlü uygulamalar için uygundur
- Mikrodalga Frekans Aralığı: 1 GHz - 300 GHz
 - Tek yönlü ışınlar mümkündür
 - Noktadan noktaya iletim için uygundur
- Infrared Frekans Aralığı: 3×10^{11} - 4×10^{14} Hz (300 GHz - 400 THz)
 - Kısıtlı alan içerisinde noktadan noktaya ve çoklu nokta uygulamalar için kullanılışlıdır

Kablosuz sinyaller, kablosuz ortamda 3 farklı yayılım şekli ile hareket ederler (şekil 4.14)

- Yer Dalgası Yayılımı - Ground-wave propagation – Surface
- Gök Dalgası Yayılımı- Sky-wave propagation
- Görüş Açısı Yayılımı - Line-of-sight (LOS) propagation



Şekil 4.14

Kablosuz iletim ortamları, iletim bozulmaları bölümünde (4.1) anlaşılan bozulma çeşitlerine ek olarak bozulamlara maruz kalabilir. Bunları çeşitleri aşağıda sıralanmıştır:

- Serbest Uzay Kaybolması – Free Space Loss
- Atmosferik Emme – Atmosphere Absorbe
- Çoklu Yol - Multipath
- Kırılma - Refraction