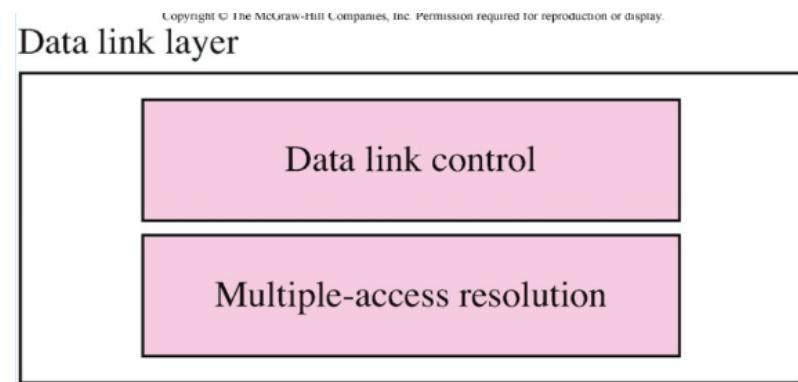


# 7-1 VB Katmanı ve Çoklu Erişim Sis. - Giriş

Ana konsept bir kabloyu kullanan birden fazla cihazın bulunduğu bir sistemde iki ya da daha fazla düğüm iletim yapmak istediginde kablonun bant genişliği nasıl kullanılacak buna çözüm üretir. Kablo kullanılmayan ortamlarda ise frekans spektrumunu birden fazla kullanıcı kullanmak istediginde bunu nasıl paylaşırız buna çözüm üretir. Bahsedilen sisteme çoklu erişim sistemi denir. Bu sistem OSI referansın 2. katmanını (veri bağı) kullanır.

## **Veri Bağı Katmanı Tanımı ve Hizmetleri**

Veri bağı katmanı, katmanlı mimaride ikinci katmana karşılık gelir. İki alt katmandan oluşur: Data Link Control (Veri Bağı Kontrolü) ve Multipleaccess Resolution (Çoklu erişim çözümü)



(önemli kısım çoklu erişim kısmı)

## **Veri Bağı Katmanı Ne Yapar?**

Ortam Erişim Kontrol Mekanizması: Bir kullanıcı ya da bilgisayar göndermek istediği veriyi göndermek istediginde iletim ortamının nasıl kullanılacağı ile alakalı yöntemleri tanımlar. (kanalın böümlere ayrılması konusunda detaylı anlatılıyor.)

Başlatma Denetimi : İki düğüm birbirleriyle haberleşebilmesi için başlangıçta bazı konfigürasyonların yapılması gereklidir. Örneğin ethernet bu konfigürasyonları otomatik olarak yapar. (bunlar iki cihazın ethernet kartının hızının farklı olması, hangi kontrol mekanizmaları desteklediği, kullanılan kodlama tekniklerinin farklı olması vb. olabilir.)

**Çerçeve Kurma** : Çerçevenin başına ve sonuna gerekli karakterlerin veya denetim bilgilerinin yerleştirilmesi

**Hat Denetimi** : Aynı anda sadece bir yönlü iletim olan yapılarda (half duplex) iletim sırasını karşı tarafa vermek için gerekli denetimin yapılması

**Hata Denetimi** : Alınan çerçevenin hatalı olup olmadığını kontrol etmek amacıyla kullanılır.

**Akiş Denetimi** : Gönderici ve alıcı arasındaki çerçeve akışının alıcı işlem hızına göre ayarlanması sağlar.

**Zaman Aşımı**: ACK mesajları tanımlanan zaman içerisinde ulaşıp ulaşmadığını kontrol eder.

## **Çoklu Erişim Sistemleri**

Veri Bağı katmanının alt 2. katmanı olarak ifade edilir. Veri bağı ne yapar konusunda bahsedilen ortam erişim kontrol mekanizması konusunda anlatılan şeyi bu konu altında anlatacağız.

### **Çoklu Erişim Protokollerı - Sınıflandırma**

**Rastgele Erişimli Protokoller (1)** : Kabaca tanımlamak adına iki cihaz random sayı üretir düşük üreten kanalı kullanma hakkına sahip olur. Baseband iletim kullanılır.

ALOHA

Dilimli ALOHA,

CSMA/CD

**Kanalın Böülümlere Ayrılması (3)** : Kanalı birden çok cihaz kullanır. Broadband iletim kullanılır.

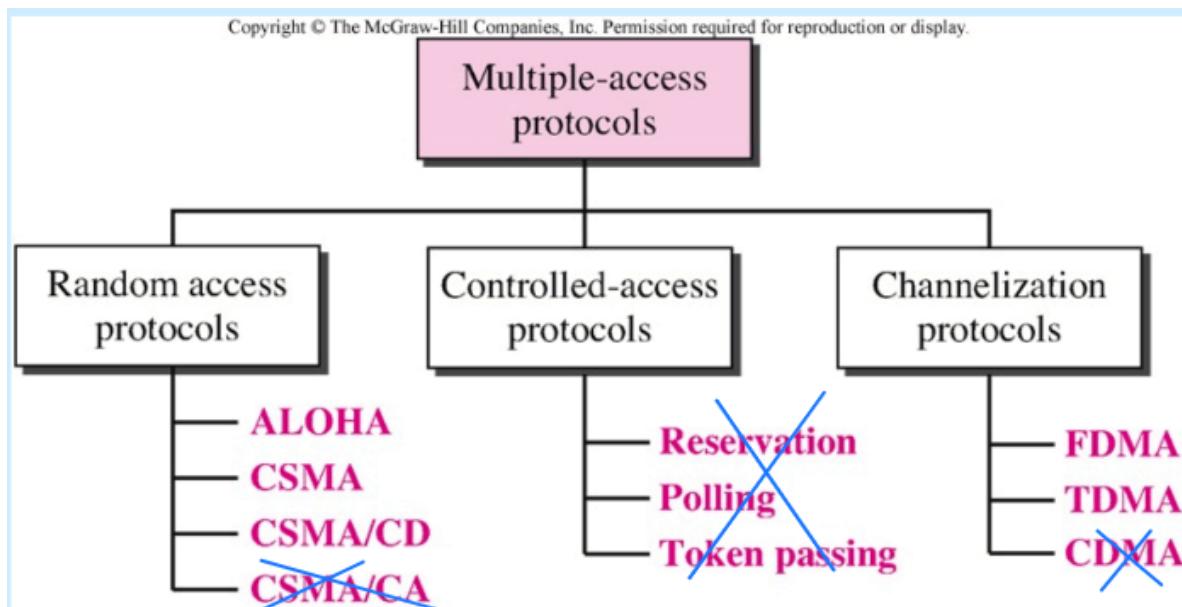
FDMA (Frekans Bölmeli Çoklu Erişim)

TDMA (Zaman Bölmeli Çoklu Erişim)

CDMA (Kod Bölmeli Çoklu Erişim)

Uygulanan Sistemler

*Kontrollü Erişimli Protokoller(2) : Bu protokollerde öncelik ve rezervasyon vardır. Yüksek öncelikli olan cihaz yolu kullanma hakkına sahip olur. Baseband iletim kullanılır. Bir istasyon diğer istasyonlar tarafından yetkilendirilmeden gönderim yapamaz*



## 7-2 VB Katmanı ve Çoklu Erişim Sis. - Kanalın Bölümlere Ayrılması

Kanallara ayırma (Channelization), bir hattın bandgenişliğini farklı istasyonlar arasında zaman, frekans ve kod vasıtasyyla paylaşılma işlemi yapan bir çoklu erişim metodudur.

İletim ortamının kapasitesi tek bir sinyalin iletimi için gerekli olan kapasiteden genellikle büyütür. Çoğullama, birden fazla sinyalin tek bir iletim ortamı üzerinden tek bir sinyal halinde birleştirilerek taşınmasını tanımlar. Yüksek hızlı telekomünikasyon hatlarının (Koaksiyel, fiber optik) etkili kullanımı için bazı çoğullama teknikleri kullanılır.

### Çoğullama Teknikleri

- Çoğuullama teknikleri, birden fazla kullanıcının aynı ortamı birbirlerini etkilemeden nasıl paylaşacaklarını belirler. Çoğuullama iletim ortamının kapasitesini farklı iletim kaynaklarına paylaştırmaya izin veren bir kavramdır ve üç çeşit kullanımı vardır.

Frekans Bölmeli Çoğuullama (FDM)

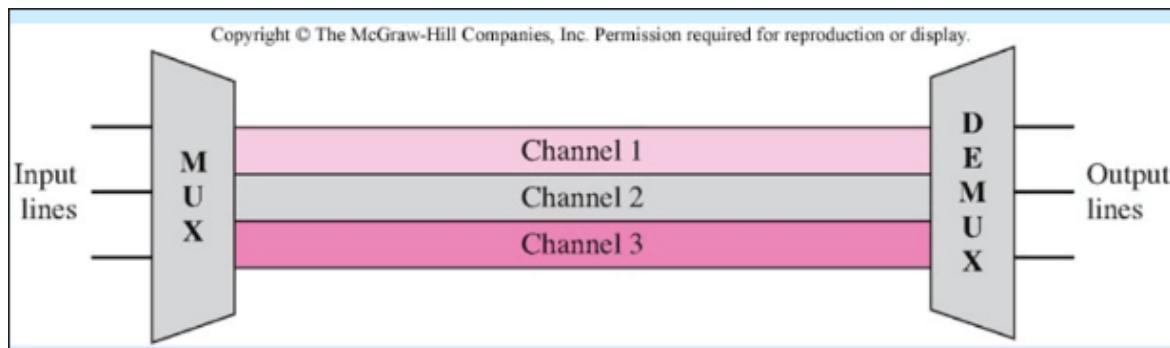
Zaman Bölmeli Çoğuullama (TDM)

Kod Bölmeli Çoğuullama (CDM) - işlenmiyor

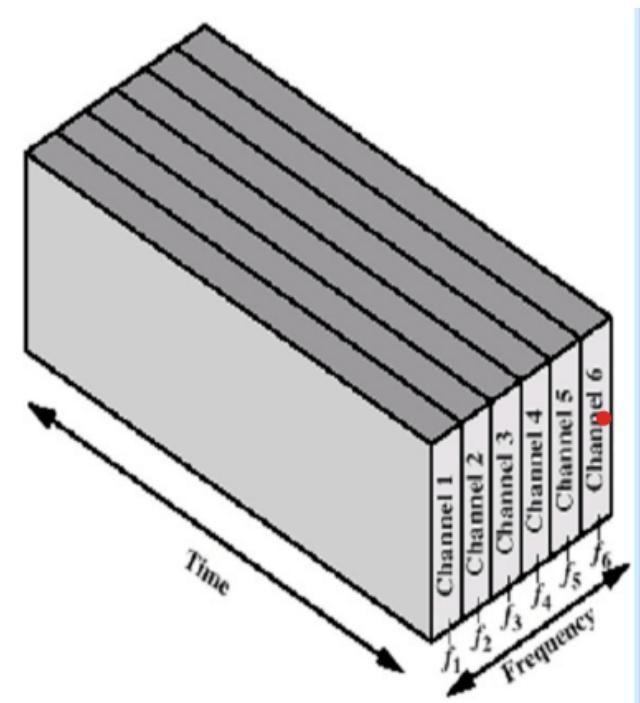
### ***Frekans Bölmeli Çoğuullama - Frequency Division Multiplexing - FDM***

Kanalın band genişliği kadarki frekansını paylaştırmadır. Her sinyalin iletimi için farklı bir frekans bandı kullanılarak sinyallerin birbirine karışması önlenirken (koruma bandları ile birlikte), aynı zamanda birden fazla analog sinyalin birleştirilerek aynı kanaldan iletilmesini de mümkün kılmaktadır.

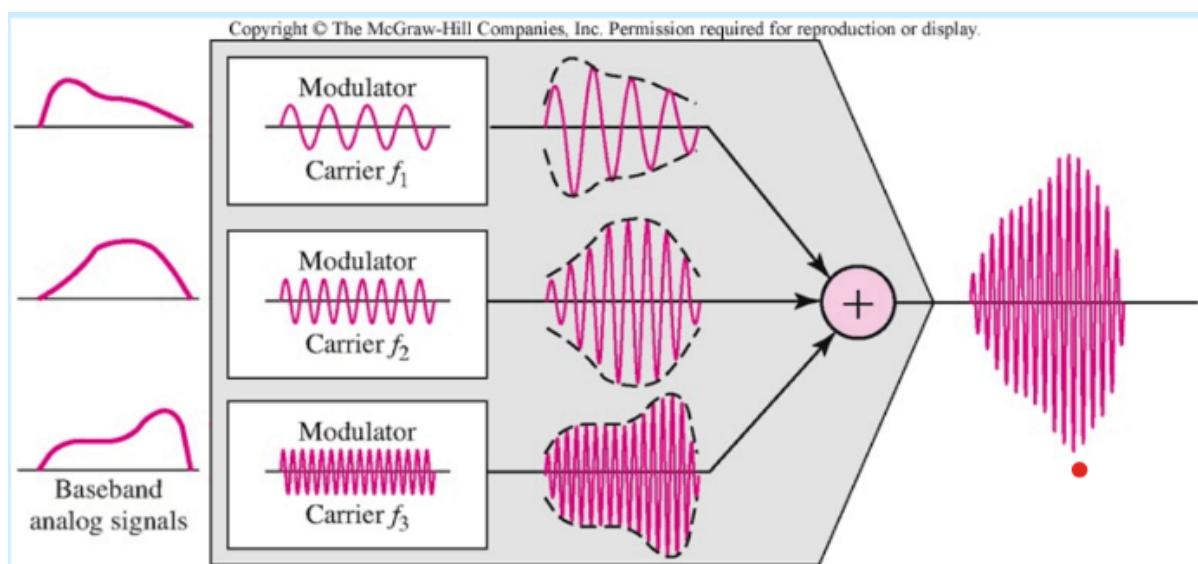
FDM analog işaretlerin çoğullanmasında kullanılır. Örnek: Radyo ve TV yayınları



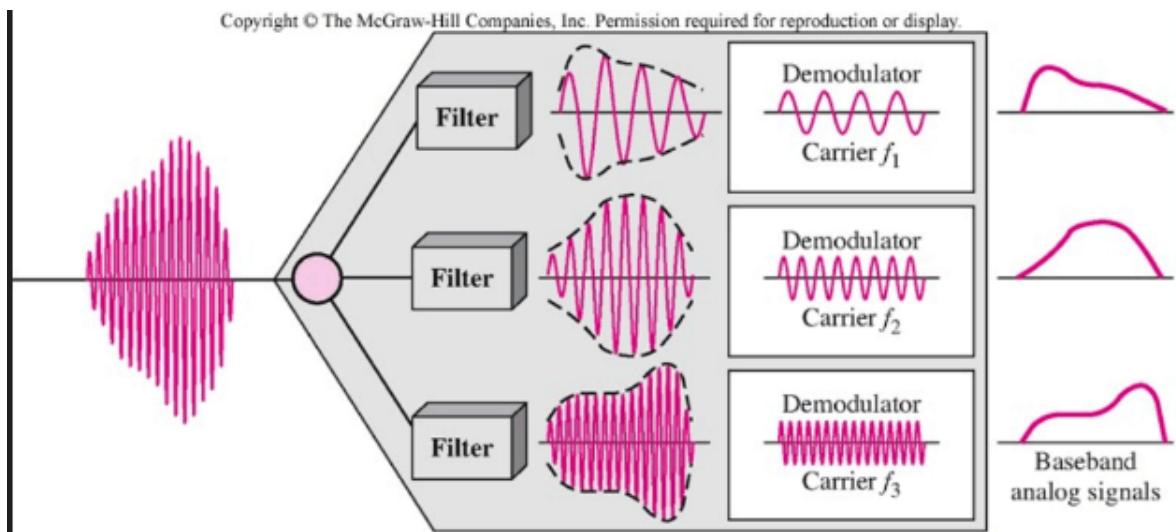
Frekans spektrumu belirli sayıdaki frekans bandına bölünerek, kullanıcıların iletim ihtiyacına göre frekans bantları atanmaktadır. Örneğin 150 MHz'lık bir spektrum bloğu, 25 MHz bölmelere ayrılarak aynı anda altı uçbirimin eş zamanlı haberleşmesi sağlanabilir. Her bir çağrı için frekansı ayrı bir taşıyıcı işaret bulunacaktır. Frekans bantları kullanıcı ihtiyacına göre genelde uzun süreli veya kalıcı olarak ayrılmaktadır.



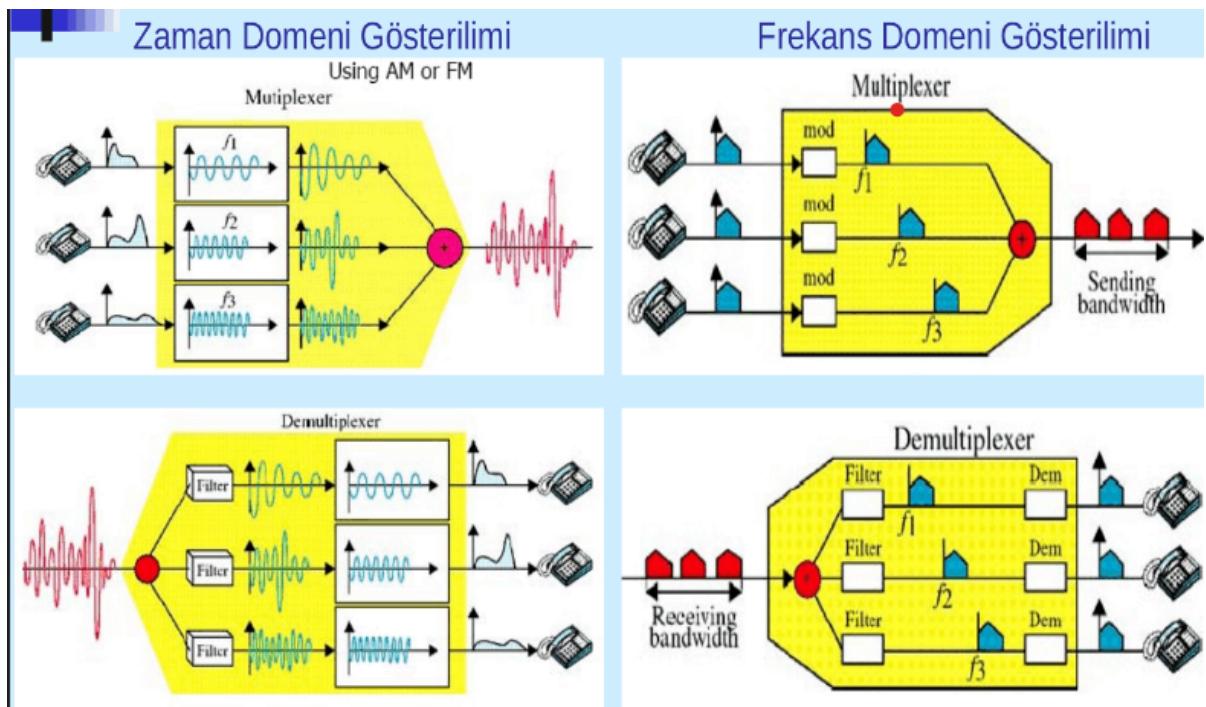
*Verici ve Modüle Edilen Sinyal :* Her bir sinyalin gerekli frekans bandına taşınabilmesi için ilk önce ayrı ayrı taşıyıcı frekanslarla modüle edilir, sonra, modüle edilen sinyalleri birleştirmek için de çoğullama cihazları (multiplexer) kullanılır.



*Alici :* Her alıcı kendisine gönderilen sinyalin hangi frekans bandından geleceğini bilmesi gereklidir. Fotoğraftaki filter yazan cihazların her biri farklı Hz leri dinlemektedirler. Gelen kompozit sinyalin içerisinde her Hz de veriler vardır kendisinin ihtiyacı olduğu veriyi dinlemek için uygun Hz ye ayarlanır ve ayarlanan Hz de hangi verilen varsa onlar gelir. Daha sonra radyo yayını olarak düşünürsek **88 mhz - 107.9 mhz** aralığında gelen verileri insan kulağına uygun 20Hz - 20000Hz şekilde demodüle edilir ve sesleri duyuyoruz.



### Frekans ve Zaman Domeni Gösterilimi

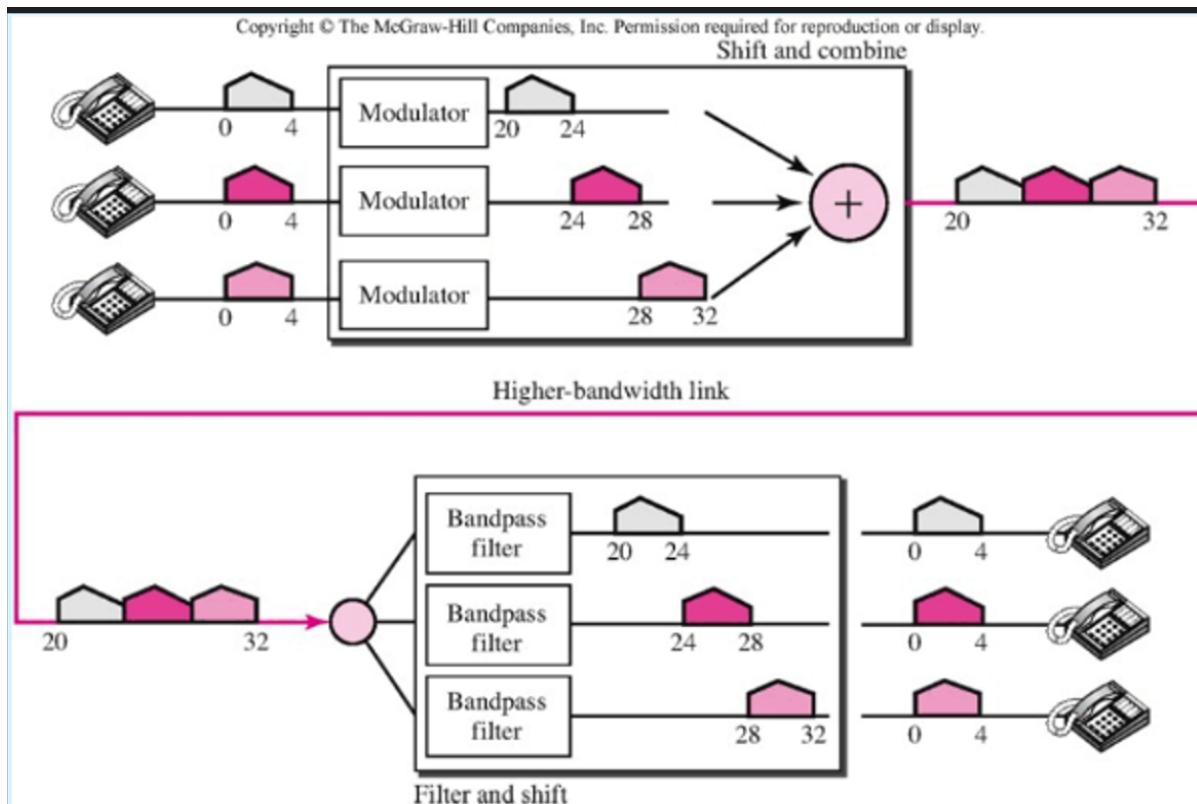


### Örnek 1

Üç ses kanalı 20 ile 32 KHz arasında olan 12 KHz'lik bir band genişliğine sahip bir hat üzerinde iletilmek istenmektedir. Bu konfigürasyonun koruma bandı kullanmadan frekans domenindeki gösterilişini çiziniz?

Telefon haberleşmesinde koruma bandı ile beraber band genişliği 4KHz dir. Bu sinyaller modüle edilerek uygun şekilde farklı frekanslara atanır. Tek bir mesaj halinde gönderilir. Alıcı tarafta band geçiren filtreler ayarlanan band genişliğinde gelen

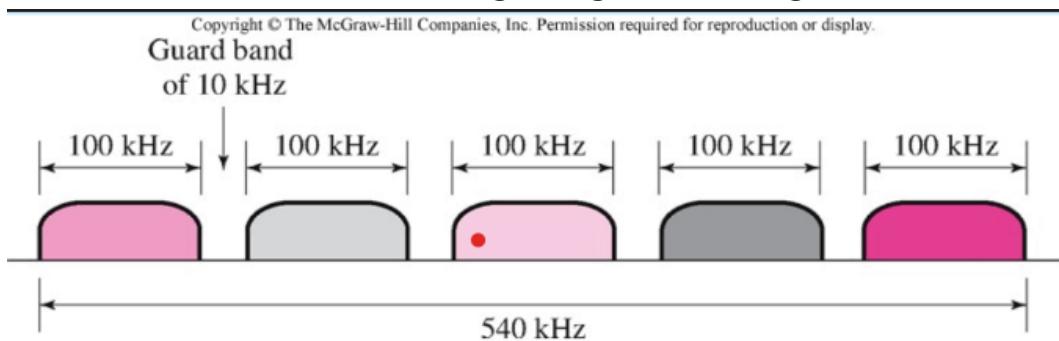
verileri dinler. Gelen frekanstaki sinyal demodüle edilerek uygun frekansa dönüştürülür ve alıcı cihazın anlayacağı biçimde getirilir.



### Örnek 2

100 KHz bandgenişlikli 5 kanal birlikte çoğullanmak istenmektedir. Kanallar arasındaki girişimi engellemek için 10 KHz'lik bir koruma bandına ihtiyaç varsa, hattın minimum bandgenişliği nedir?

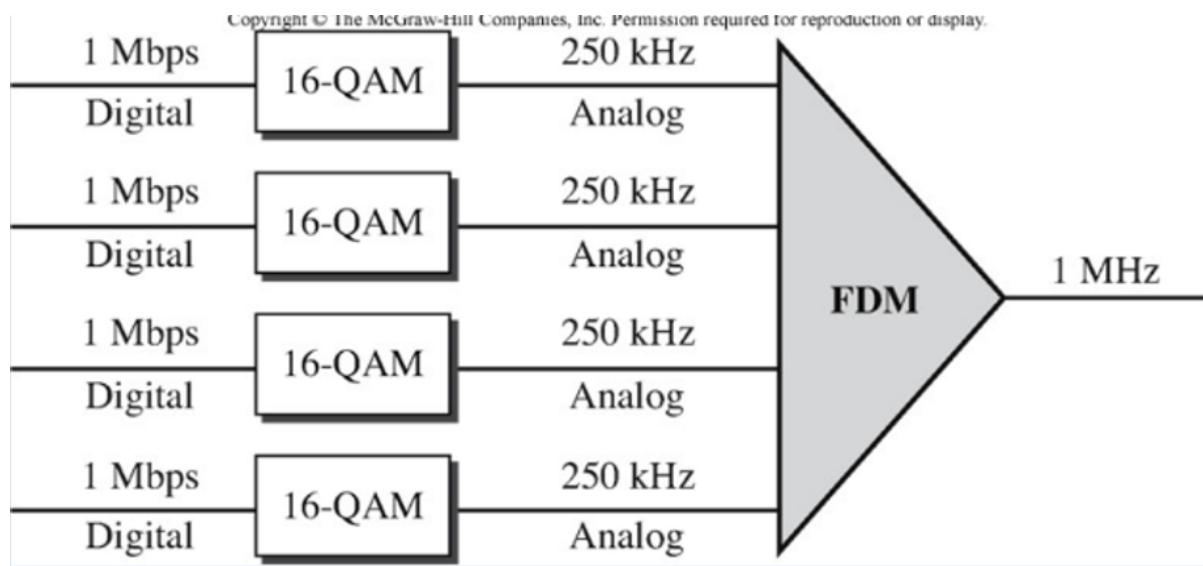
5 kanal için en az 4 koruma bandına ihtiyaç vardır. Bu, gerekli bandgenişliğinin en az  $5 \times 100 + 4 \times 10 = 540$  KHz olması gerektiğini anlamına gelir.



### Örnek 3

Her biri 1 Mbps hızda sahip dört veri kanalı (sayısal) 1 MHz'lık bir uydu kanalını kullanmaktadır. FDM kullanan uygun bir konfigürasyon tasarılayınız?  
Uydu kanalı (1 MHz) analog'tur. Dört kanaldan her bir kanal için bandgenişliği 250 KHz'dır. Göndermek istediğimiz veri 1Mbps hızda sahip bir sayısal veridir. Burada

sayısalan analoga dönüşüm gereklidir. 1Mbps 20kHz in 4 katı olduğu için 16-QAM kullanılarak sayısal veri 250 kHz lik analog veriye dönüştürülür.

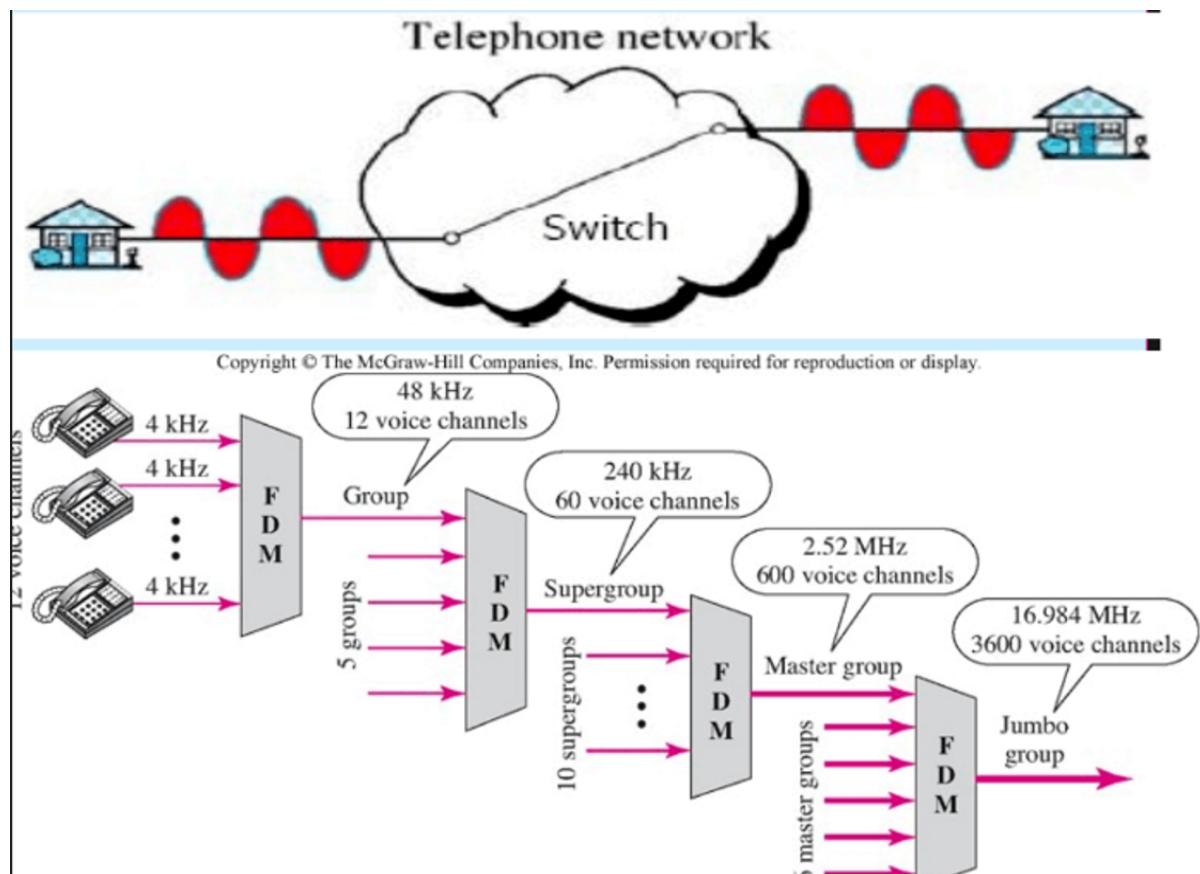


### **FDMA: Frekans Bölmeli Çoklu Erişim**

FDM üzerine dayalıdır. Her bir kullanıcı ayrı frekans bandını kullanarak iletim ortamına erişim yapar. Şekilde 4 kullanıcı farklı taşıyıcı frekansları kullanarak ortak bir kanalı paylaşmaktadır. Frekans bandları arasında koruma bandları da bulunabilir.

### **Analog Hiyerarşisi : Analog leased line – Analog kiralık hat**

Eski telefon sistemlerinde kullanılan yapılardır. Düşük bant genişliğine sahip ses kanalları daha yüksek bant genişliğine sahip kanallara çoğullanarak kullanıcılar adına çoklu erişim sağlanır. Biz bir telefonla konuşmak istediğimizde santralden kendimize bir frakans tahsis edilmesini bekleriz ve uygun olan bir frekans bize ayrıldıktan sonra telefon ile konuşabiliriz.



### AMPS (Advanced Mobile Phone Systems)

AMPS, FDMA kullanan analog bir hücresel bir telefon sistemidir. Mobil şebekelerde 1G teknolojisinin kullandığı yapıdır.

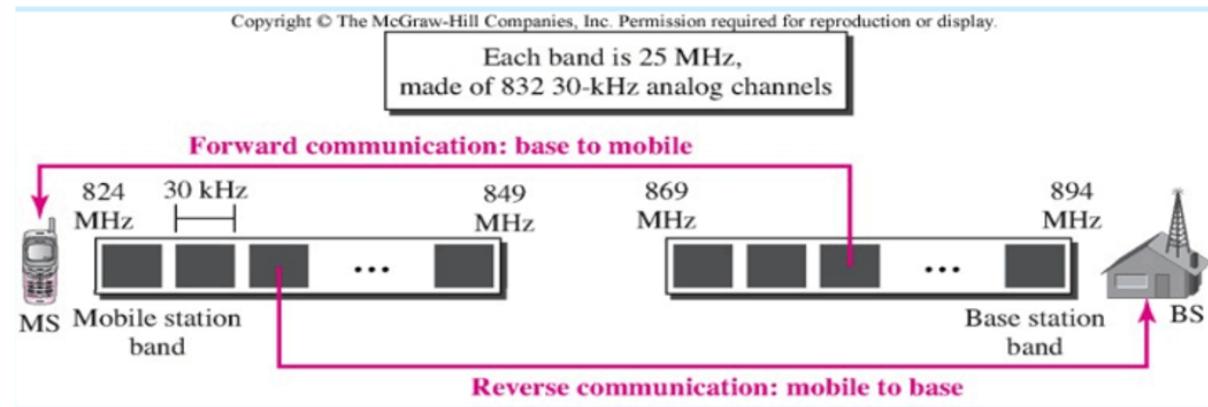
Full duplex bir iletişim olduğu için 2 ayrı kanal tanımlanmıştır. Biri telefondan baz istasyonuna diğer ise istasyondan telefonadır.

Ses sinyali için 3kHz lik bant genişliği kullanılır. Gönderilmek istenen veri ve sistem de analog olduğu için analogadan analoga bir dönüşüm gerçekleştirilmelidir. Ezber olarak 10 ile çarpıldığını bilmemiz yeterlidir.

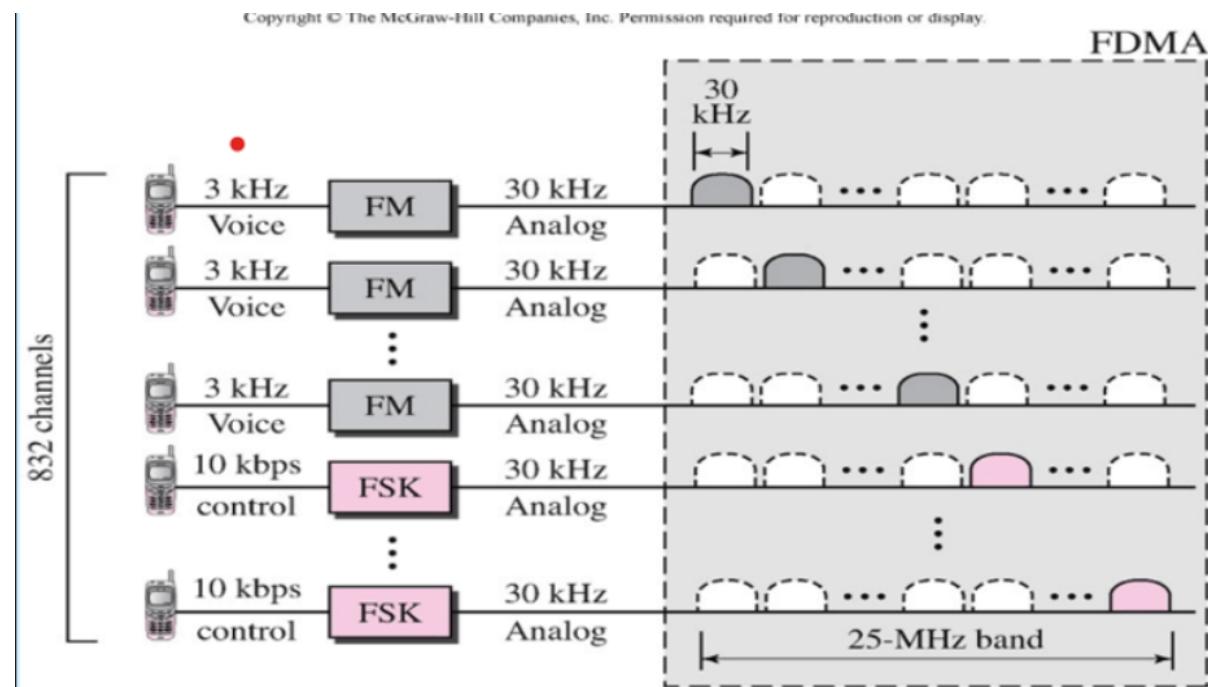
3kHz lik ses sinyali 10 ile çarpıldıktan sonra analog bir sistemde gönerilmek istenirse her bir sinyal için 30kHz lik band genişliğine ihtiyaç vardır.

Gönderme (cep telefonundan baz istasyonuna) için 824-849 MHz ve alma (baz istasyonundan cep telefonuna) için 869-894 MHz bantları kullanılır. Her kullanıcı bir yönde 30 kHz bant genişliği kullandığına göre, eş zamanlı olarak iletişim yapacak kullanıcı sayısı:  $25 \text{ MHz} / 30 \text{ kHz} = 833.33$  olur. Gerçekte her bant 832 kanala bölünür.

Toplam 42 kanal kontrol için kullanılır. 790 kanal kullanıcılar için ayrırlır. Her iki kanalda full-duplex eş zamanlı 790 kullanıcı iletişim yapabilir.

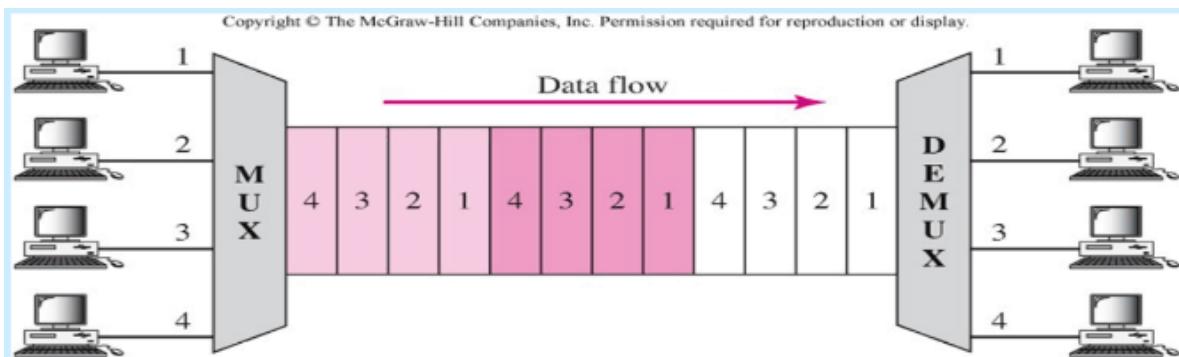


3 kHz lik ses frekans modülasyonu (fm) yapılarak 30kHz e dönüştürülür. Kullanıcılar için ayrılan alan 824 MHz - 847,7 MHz dir. Sistemin kontrol için kullanacağı alan ise 847,7 MHz - 849MHz dir.



### Zaman Bölmeli Çoğullama - Time Division Multiplexing – TDM

TDM yüksek bant genişliğine sahip bir linki birden çok bağlantıya paylaştırır. Birçok sayısal sinyal zaman boyutunda birbirinden ayırt edilir.



İki çeşidi vardır:

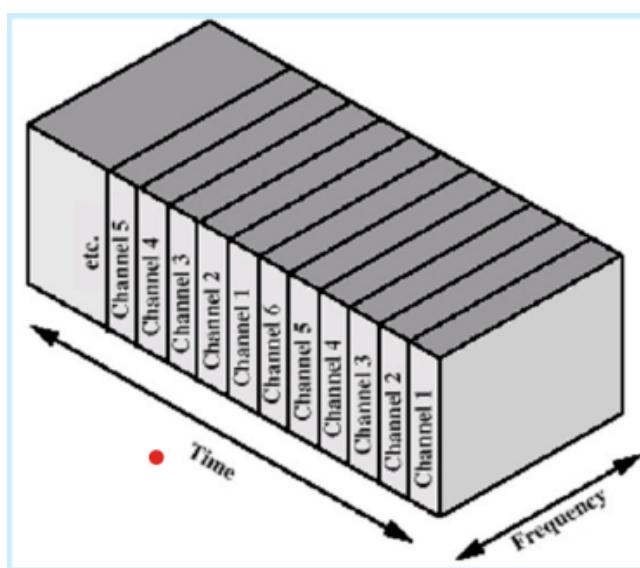
Senkron Zaman Bölmeli Çoğullama

Asenkron Zaman Bölmeli Çoğullama

### ***Senkron Zaman Bölmeli Çoğullama***

Tek frekans aralığı kullanımı ve zaman ekseninde bir paylaşım söz konusudur. Kanal için ayrılmış zaman aralığına slot denir.

Zaman aralıkları kaynaklara önceden tahsis edilir ve sabittir. Şekilde görüldüğü gibi zaman uzayı belirli uzunluktaki zaman dilimlerine (time-slot) bölünerek her bir sayısal işaretin örnekleri için farklı bir zaman diliminin kullanılması sonucu haberleşme kaynağının ortak kullanımı sağlanırken işaretlerin karışması önlenmektedir.



Bir önceki örnekteki 150 MHz'lik blok altı zaman bölmeli ve tekrar eden çerçevelere (frame) ayrılacak, çerçevenin her bir altı gözünde altı farklı çağrıya ait bitler yer

alacaktır. Başka bir deyişle üçbirimler eldeki spektrumun, birim zamanda kendilerine ait 1/6'lık zaman bölümüne sıra ile erişebileceklerdir.

Eğer çerçeveler yeterince hızlı tekrar edilirse üçbirimler haberleşme sırasında bir kesilme ve gecikmeyi hissetmeyeceklerdir. İşaretlerin çoğullanma zamanları arasında, sistemin zamanlamasında meydana gelebilecek ufak hatalara karşı bir güvenlik bandı bırakılmasında fayda vardır.

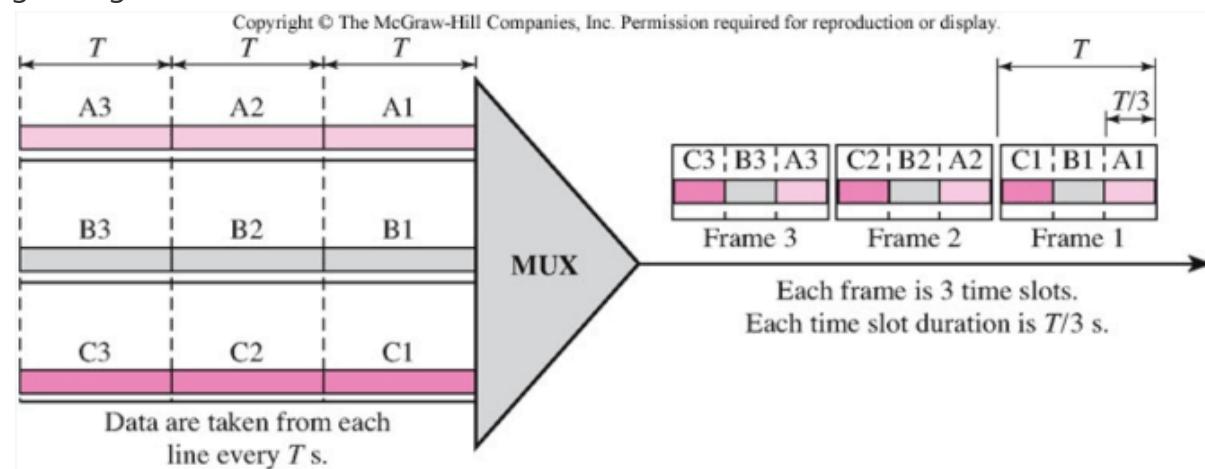
TDM'de frekans bandında bir çoğullama yapılmamakta, her işaret için mevcut frekans spektrumunun tamamı kullanıma sunulmaktadır.

Her alıcının kendisine gönderilmiş olan işaretin hangi zaman diliminde geleceğini bilmesi gerektiğinden haberleşme bağlantısının kurulum aşamasına gönderici ve alıcı arasında zamanlama senkronizasyonu kurulmakta, yani gönderici ve alıcıya hangi zaman diliminin onların kullanımına tahsis edildiği bildirilmektedir.

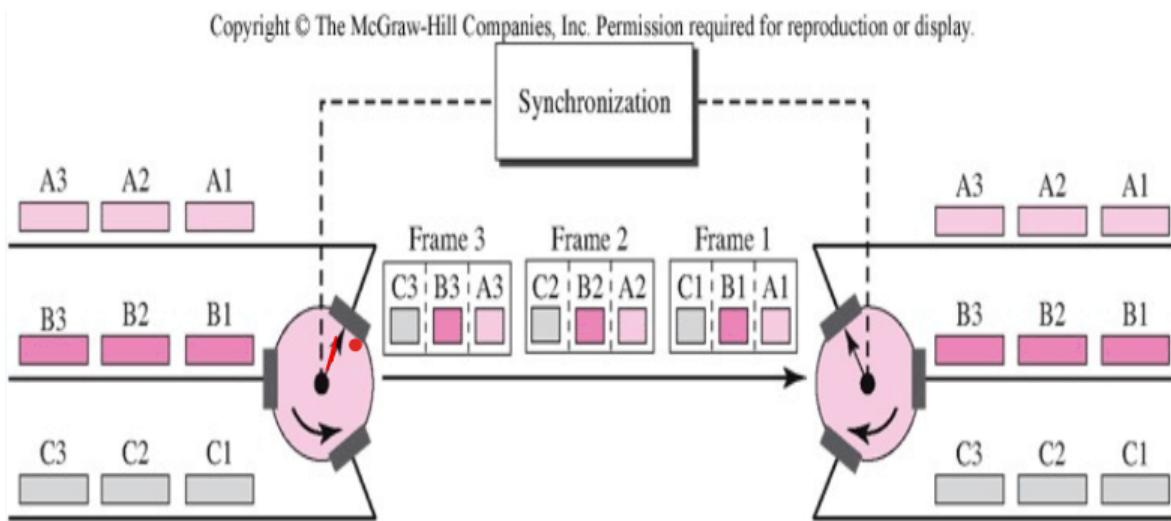
### **Senkron TDM Çerçeveesi**

MUX elemanına giren her girişin (kaynağın, kullanıcının) verisi birimlere ayrılır. Bu birimler örnekleme sonucu elde edilen verilerdir. Örneğin mikrofon ile konuşurken sizin sesinizi iletmek istiyoruz sesi 4kHz kabul edersek her 1 saniyede 8000 örnek almamız gereklidir. Bu örnekler A1 - A2 - A3 şeklinde devam eden yapıya denk gelmektedir.

İşaretlerin TDM ile çoğullanması sırasında zaman uzayında bir çakışma olmaması için işaretlerin örnekleme frekanslarının birbirine eşit veya birbirinin tamsayı katı olması gerektidir.

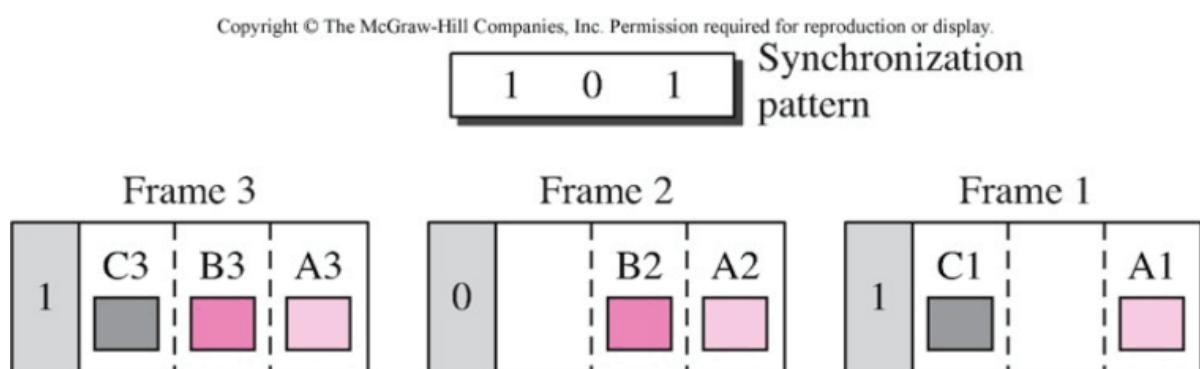


MUX sağ tarafta frame (TDM çerçevesi) olarak ifade edilen yapının slotlarına uygun sırayla yerleştirir. 1. kanalın ilk verisi ilk frame in ilk slotuna şeklinde devam ediyor.



Senkron TDM de aynı kanalı kullanan kaç tane kullanıcı var ise TDM çerçevesinde o kadar slot olur.

TDM, switch cihazları kullanılarak gerçekleştirir. Bu alıcı ve verici switchlerinin arasında bir senkronizasyon gerekir. Multiplexer ve demultiplexer arasında frame bazında senkronizasyon yapılmalıdır. Her çerçevenin başına senkronizasyon bitleri konur (framing bits). Genellikle her çerçeve başına 1 ve 0 değişimi yapan 1 bit konur.



Kaynakların gönderecek verisi olmayabilir. Bu durumda kaynak için atanan zaman aralığı boş kalır. Diğer kaynaklar kullanamaz. Bu durum hattın efektif kullanım oranını azaltır. Zaman aralıkları kaynaklara önceden tahsis edilir ve sabittir. Telefon konuşması buna örnek verilebilir. Biz karşısındaki kişiyi aradığımızda ve o da telefonu açtığında sistem bize bir slot sırası tahsis eder ve konuşma bitene kadar bu slot üzerinden haberleşilir.

### Örnek 1

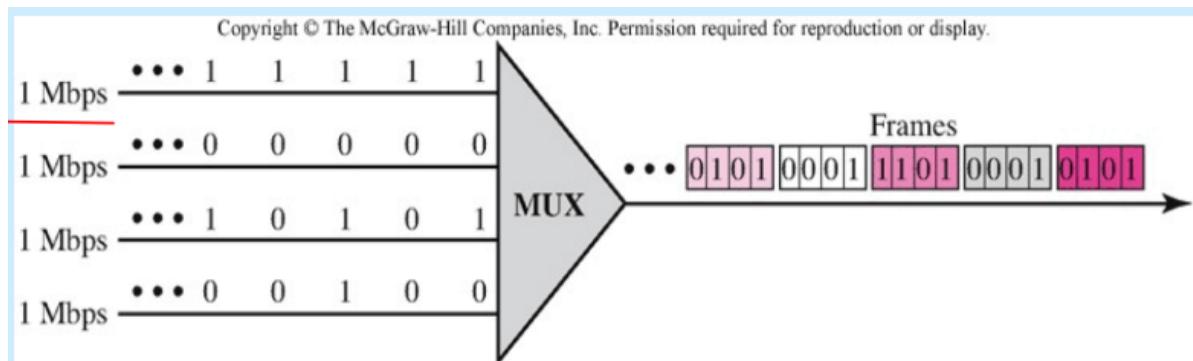
Şekilde her bir birim veri 1 bittir.

Her bir girişin bit hızı = 1 Mbps

Giriş bit süresi =  $1 / 1 \text{ Mbps} = 1 \mu\text{s}$

Çerçeve hızı (Frame rate) =  $10^6$  çerçeve/sn (bir kanaldan her saniyede 1Mb veri gelmektedir. bir çerçeve oluşturulduktan sonra kanalın 1. mikro saniyede gelen verileri o çerçeveye yerleştirir. bir sonraki mikro saniyede çerçeve oluşturulmalıdır ki veri yerleşebilsin. Bu yüzden 1mikro saniyede 1 çerçeve oluşturulmalıdır.)

Çıkış bit hızı =  $4 \times 1 \text{ Mbps} = 4 \text{ Mbps}$  (her çerçeveden saniyede  $10^6$  tane üretilmektedir. Her çerçeve ise 4 bitten oluştugu için çıkış hızı 4Mbps dir.)



### Örnek 2

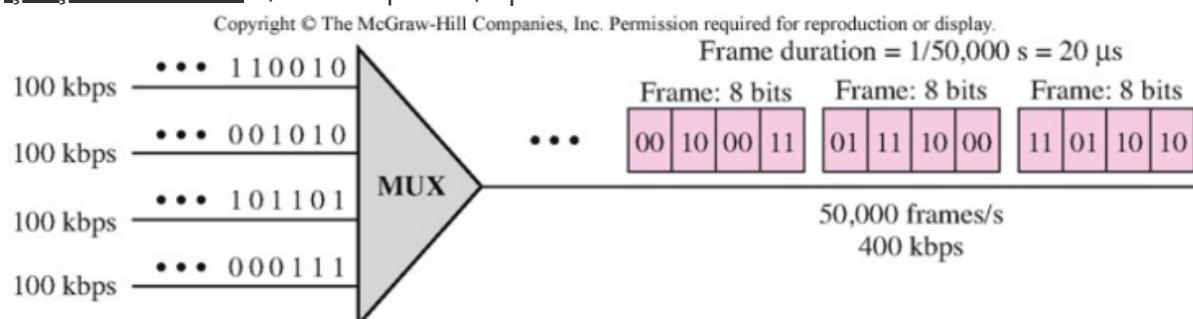
Bir çoğullayıcı 4 tane 100 kbps kanalı her zaman aralığında 2-bit alarak birleştiriyor.

Çerçeve hızı (Frame rate) = Her kanaldan 2 bit alındığından link  $100 \text{ kbps} / 2 = 50.000 \text{ frame/s}$  hızındadır. (bir saniyede 100 bin veri geliyor ama bu veriler ikili olarak yerleştirildiği için saniyede 50 bin frame oluşturulur.)

Çerçeve süresi =  $1 / 50.000 = 20 \mu\text{s}$ .

Çıkış bit hızı =  $50.000 * 8 = 400 \text{ kbps}$ .

Çıkış bit süresi =  $1 / 400 \text{ kbps} = 2,5 \mu\text{s}$ .



### Örnek 3

Soru: Dört kaynağın her biri saniyede 250 karakter üretmektedir. Eğer her kaynağın veri birimi 1 karakter ve her bir çerçeveye 1 senkronizasyon biti eklenirse, aşağıdaki değerleri bulunuz?

Her bir kaynağın veri hızı ? ( $2000 \text{ bps} = 2 \text{ Kbps}$ )

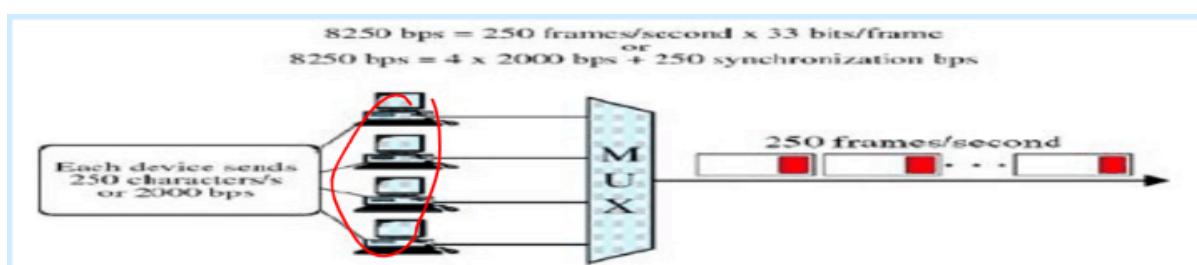
Kaynaktaki her bir karakterin süresini ? ( $1/250 = 4 \text{ ms}$ )

Çerçeve hızı ? (hat saniyede 250 çerçeve göndermektedir) (kaynaklar karakterleri bit bit göndermediğinden dolayı 2Kbps diyemeyiz buraya. Her 4ms de bir, bir karakter veri olarak gelirse 4ms de bir de çerçeve oluşturulmalıdır.)

Her bir çerçevenin süresi ? ( $1/250 = 4 \text{ ms}$ )

Her bir TDM çerçevesindeki bitlerin sayısını? ( $4 * 8 + 1 = 33 \text{ bit}$ )

Hattın veri hızını ? ( $250 * 33 = 8250 \text{ bps}$ )



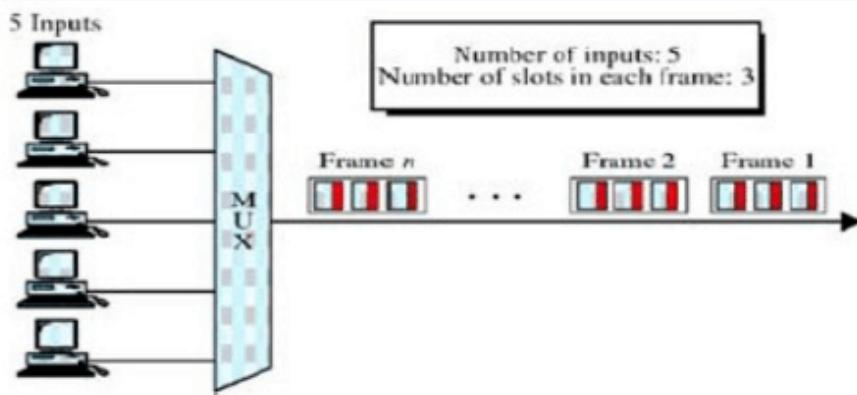
### **Aşenkron (İstatiksel) TDM**

Bir çerçevedeki zaman aralığı sayısı giriş sayısından daha azdır. Aşağıdaki örnekte 5 giriş vardır, fakat 3 zaman aralığı bulunmaktadır. Çoğullayıcı giriş hatlarını tarar ve TDM çerçevesi dolana kadar veriyi toplar.

Hat üzerindeki veri hızı giriş hatlarının oluşturduğu toplam (aggregate) hızdan daha düşüktür.

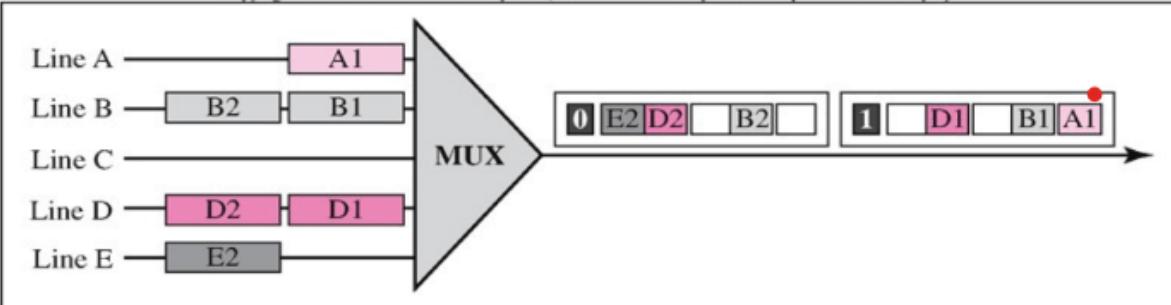
Senkron TDM'de çerçeveler sadece veri bulundurur. İstatistiksel TDM'de veri ile birlikte adres bilgisi de gönderilir. Bundan dolayı senkronizasyon bitlerine ihtiyaç yoktur. Alıcı hangi frame de kendi verisinin olduğunu bilemez ancak adres bilgisi sayesinde verinin kendine ait olup olmadığını bilgiyi verilebilir.

Senkron TDM ses iletişiminde kullanılırken aşenkron TDM veri iletişiminde kullanılır.

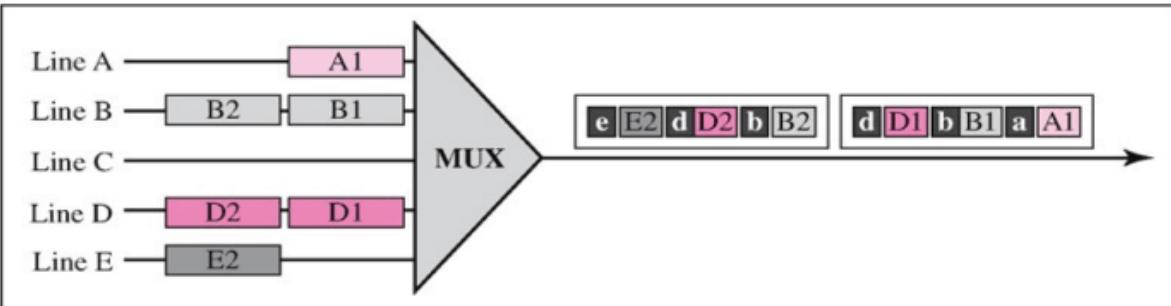


### Asenkron ve Senkron TDM Çerçeveleri Farkı

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



a. Synchronous TDM



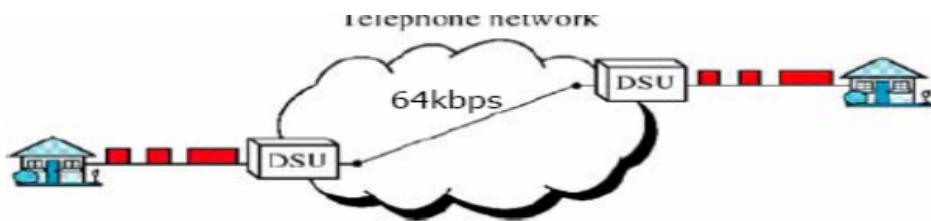
b. Statistical TDM

### TDMA: Zaman Bölmeli Çoklu Erişim

TDM teknigi üzerine dayalidir. Zaman bölmeli çoklu erişim sistemlerinde, farklı kullanıcılar ortak bir iletişim kanalını zaman düzleminde paylaşırlar. Sayısal sistemdir.

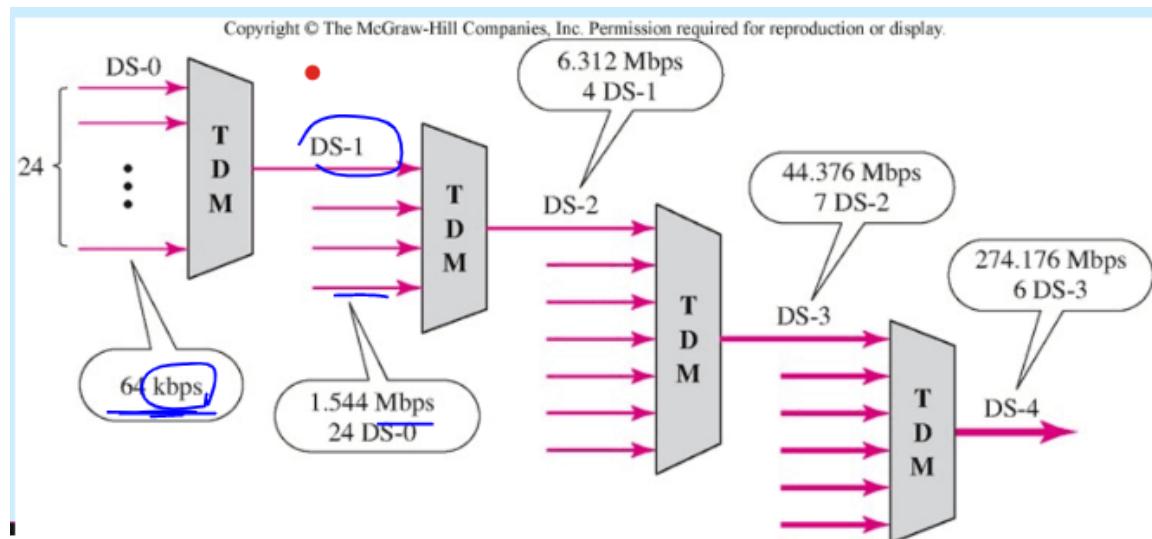
### Sayısal Taşıyıcı Sistemler

Analog kiralık hattın sayısal versiyonudur. Evlerdeki ev telefonları bu yapıyı kullanır.

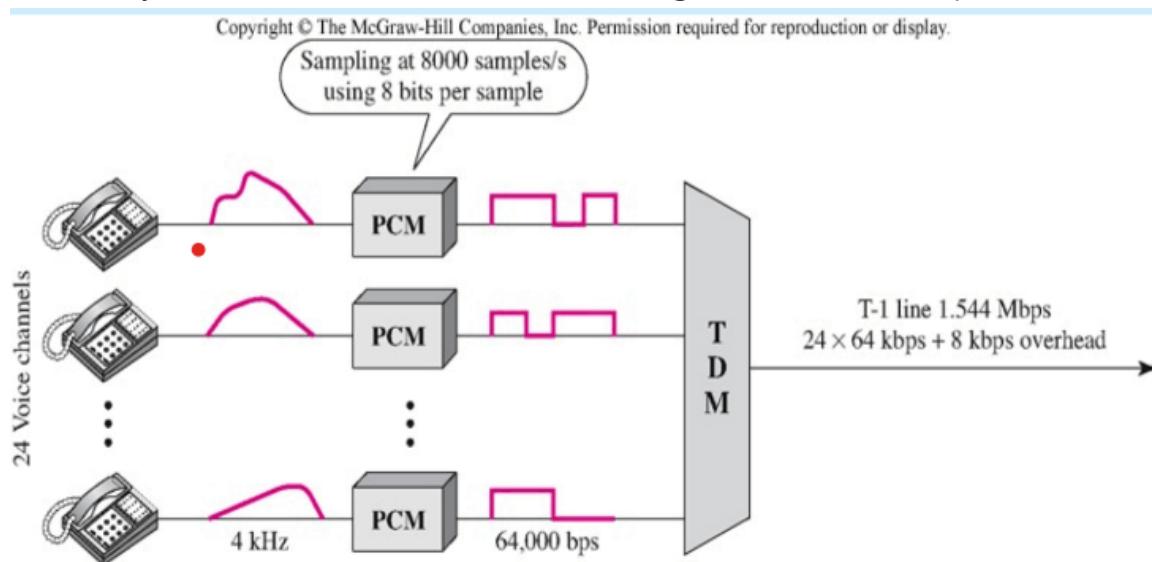


Digital version of analog leased line

24 kanal cogullanır. Her bir çerçeve her kanal için 8 bit ve 1 çerçeve eleme bitine sahiptir. Her çerçeve de 193 bit bulunmaktadır.

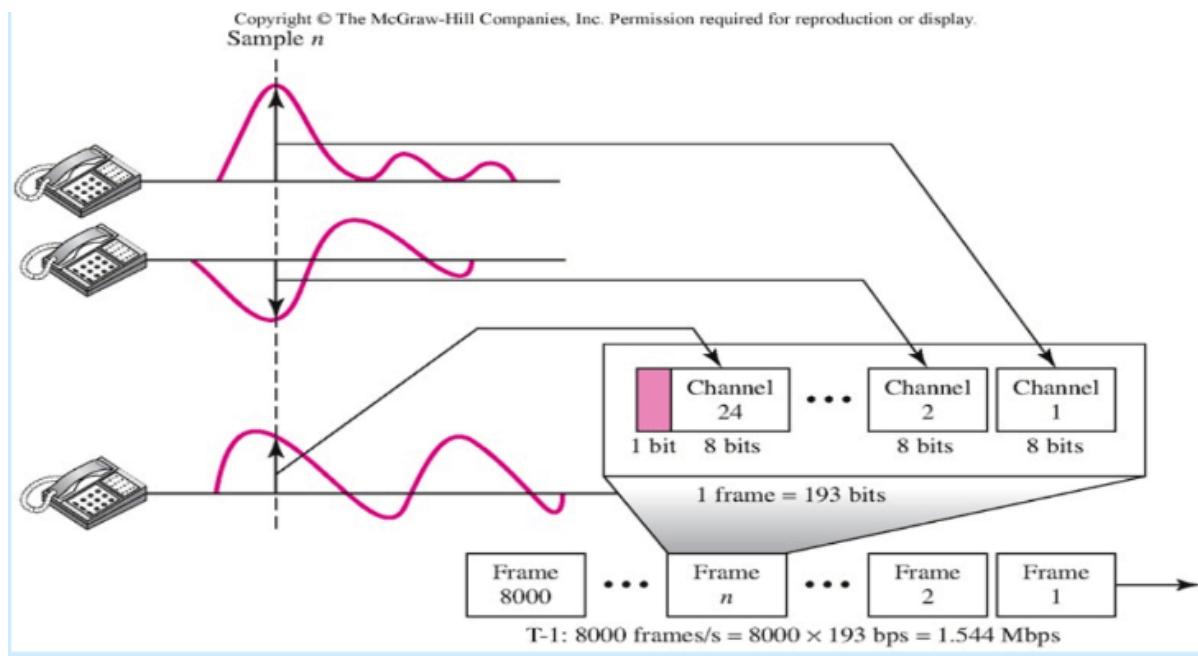


Analog örnekten saniyede 8000 örnek alınır. Her bir örnek 8 bittir. PCM analog sistemi sayısala dönüştürür. Her bir kanalın veri gönderim hızı 64 kbps dır.

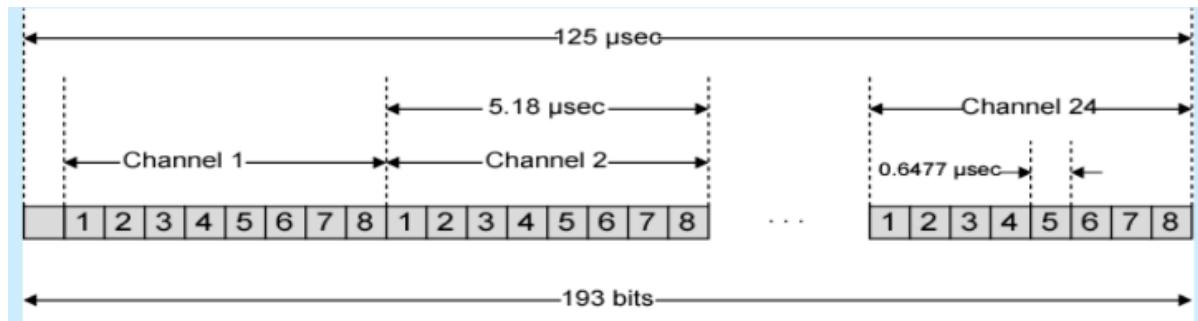


TDM makinesi saniyede 8000 tane çerçeve üretmesi gereklidir. Her çerçevede 24 tane slot olması gereklidir. Her çerçeveye de 1 tane senkronizasyon biti eklenir. Bu da bir frame de toplamda 193 bit olduğunu söyler.

$$\text{Çıkış hattının hızı} = 8000 * 193 \text{ bps} = 1.544 \text{ Mbps}$$

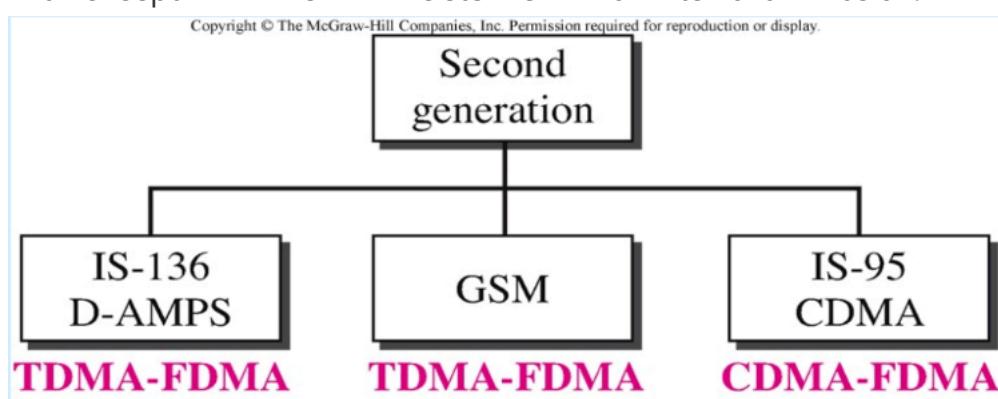


Bir çerçevenin iletilme hızı aşağıdaki gibidir.



### İkinci Nesil Hücresel Telefon Sistemleri (2G)

Ana konsept TDMA ve FDMA sistemlerinin birlikte kullanılmasıdır.

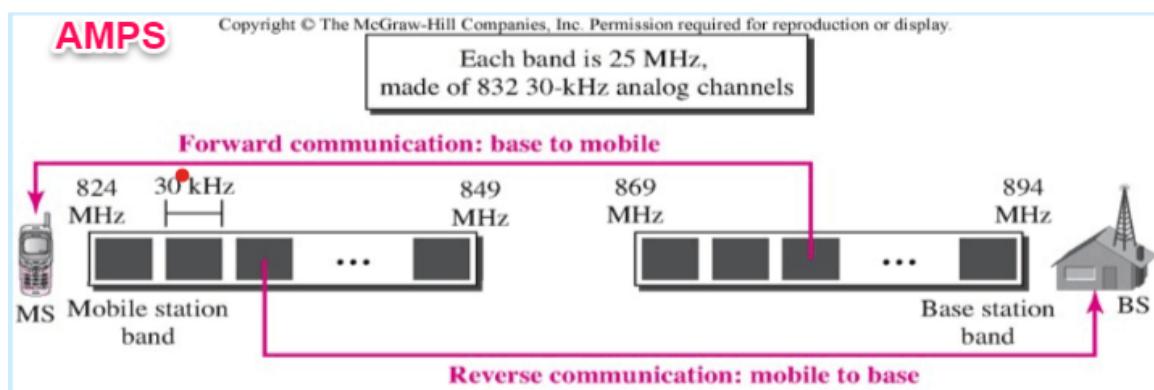


**IS-136 -> D-AMPS**

AMPS sistemi 1G yi ifade etmekteydi. Bir tarata TDMA bir tarafta da FDMA kullandığımız zaman bu yapı Digital AMPS haline geliyor.

D-AMPS, TDMA ve FDMA'yı birlikte kullanan sayısal bir hücresel telefon sistemidir

Aşağıda da belirtildiği gibi AMPS de kullanılan 25MHz lik bant genişliği 30kHz lik kanallara bölünmüştü. (bir kullanıcının ses sinyalini iletmesi için minimum aralık) Bu sistemde toplam 832 kanal vardı. D-AMPS de aynı yapıyı kullanıyor. Yine elimizde 25MHz lik bir band genişliği var ve 30kHz alan ayrılmış 832 kanalımız var.



Ancak AMPS de bir kullanıcıya ayrılan bu 30kHz lik kanalı D-AMPS de birden fazla kullanıcıya ayıriyoruz. Birden fazla kullanıcıya ayırmak için bir TDMA çerçevesi tasarlayalım. Bu çerçeveyi en fazla kaç kullanıcıya hizmet vereceğini hesaplamak için bir kullanıcının ne kadarlık bir alana ihtiyacı olduğunu hesaplayalım.

3 Khz'lik kullanıcı ses sinyali ilk önce ile sayısallaştırılır ve 7.95 kbps'lik bir veri hızı elde edilir.

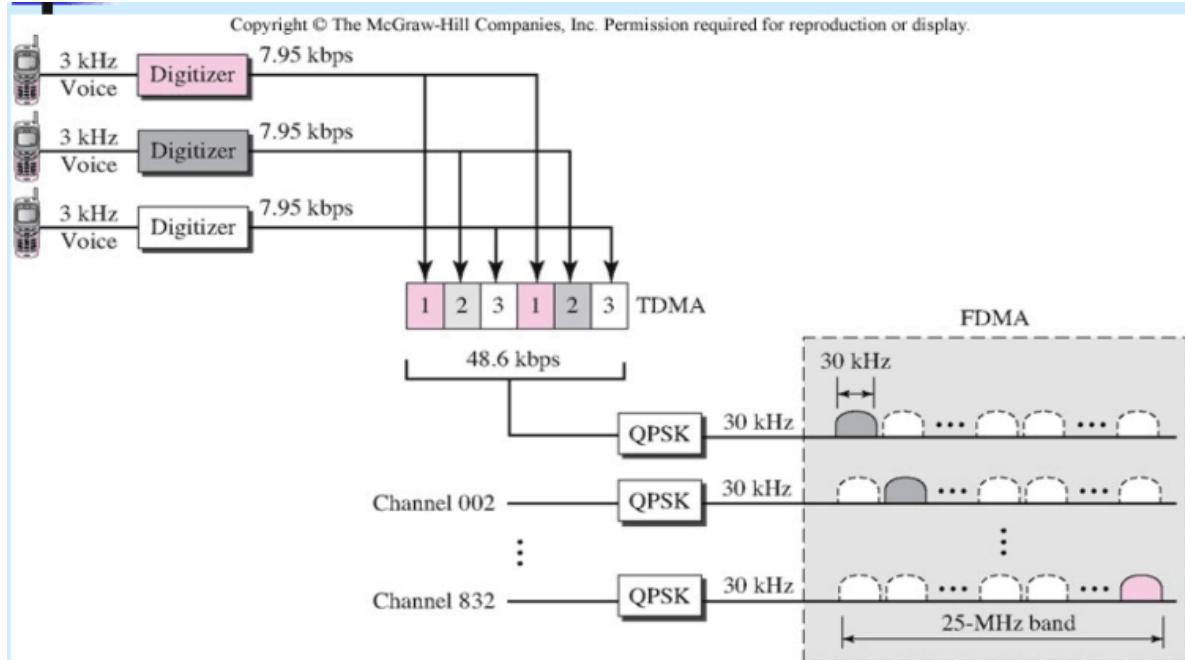
Mobil cihazlarda ses iletişimini için gereklili olan alan 3kHz olarak tanımlanıyor. Bu 3kHz analog sinyal Digitizer (Sayısallaştırıcı) ve PCM (analogdan sayısal dönüşüm) teknikleri kullanılarak sayısal bir veri haline dönüşüyor. Digitizer in burada yaptığı görev analog sinyal üzerinde örnekleme - kuantalama - sıkıştırma yapmaktadır. Bu işlemlerin sonucunda 3kHz lik bir analog ses sinyalinden 7.95 kbps lik bir hız ortaya çıkıyor.

Bu yapıya göre hesaplamalar sonucunda bir TDMA çerçevesi 6 slot'a sahip olabilir. (Aşağıdaki fotoğrafta 3 kullanıcılı sisteme bahsediliyor. 6 slotu 3 kullanıcı 2 şer defa veri koyarak dolduruyor. Sistemi kullanabilecek max kullanıcı sayısı 6 dir.)

Digitizerda oluşan örnekler sırasıyla slotlara yerleştiriliyor. TDMA çerçevesindeki veriler MUX ile toplanarak sayısal bir veri haline gelir. Ancak FDMA sisteminde iletim

yapabilmek için verinin analoga dönüştürülmesi gereklidir. Bu dönüşümü yapmak için QPSK tercih edilmiş. (dönüştürülen veriler arasındaki orana göre farklı modülasyon teknikleri tercih edilebilir.)

Dönüştürme esnasında taşıyıcı frekansı kullanılarak sinyal, ilgili kanal için belirlenen frekans bandına taşınmış olur. Her kanal, kendine ait bir frekans bandı kullandığından dolayı frekans düzleminde bir çoklu erişim sağlanmış olur.

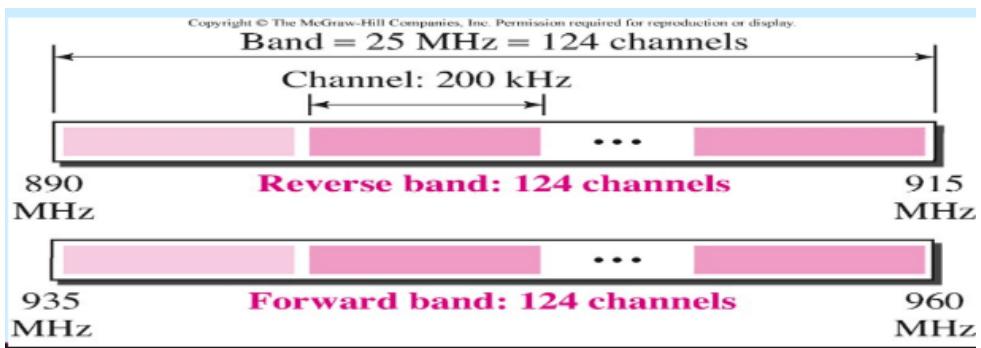


FDMA sisteminde 30kHz lik kanal kapasitesini 1 kullanıcı kullanarak toplamda 832 kullanıcıya hizmet verilmekteydi. D-AMPS kullanılarak her kanala 6 kullanıcı atandığında  $6 \times 832 = 4.992$  kullanıcıya hizmet verebilmiş oldu. Aynı zamanda kullanıcılar 48.6 kbps değerinde hız sağlanmış oldu.

## GSM

GSM, AMPS'de olduğu gibi iki bant kullanır. Fakat farklı frekans bölgeleri kullanılır. Gönderme (cep telefonundan baz istasyonuna) için 890- 915 MHz ve alma (baz istasyonundan cep telefonuna) için 935-960 MHz bantları kullanılır.

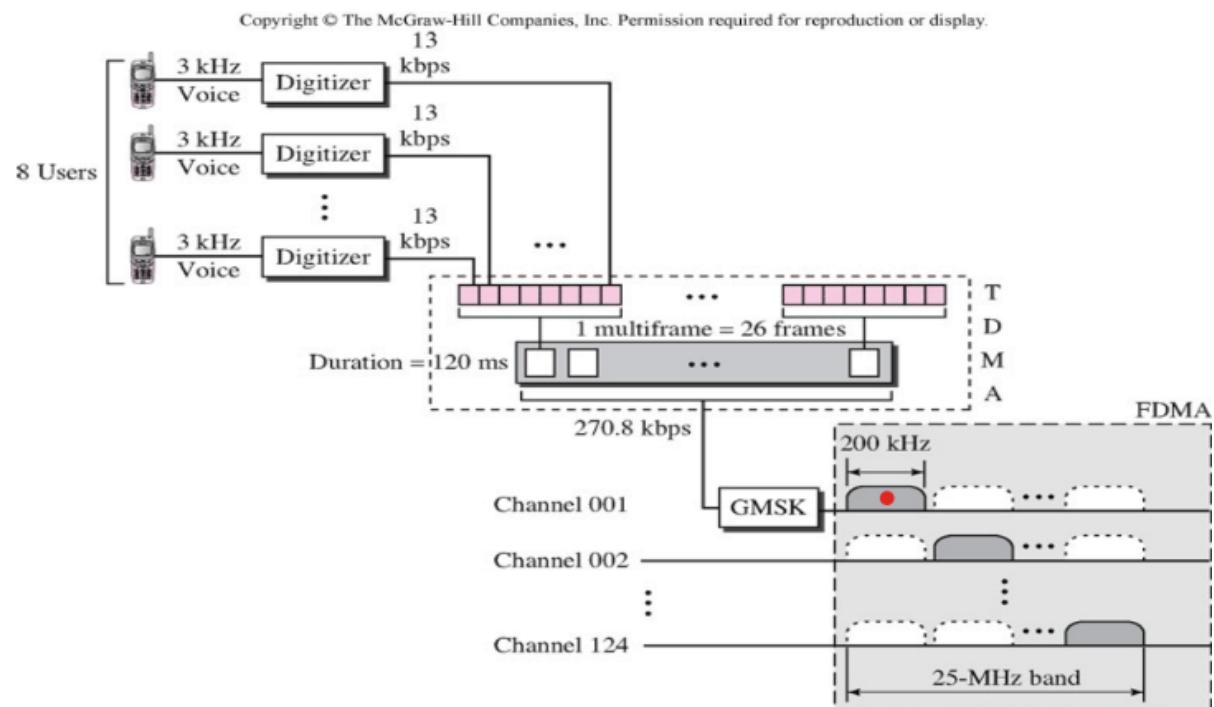
Her bant FDMA de olduğu gibi 25 MHz (915-890 ve 960-935) tir. Ancak FDMA dan farklı bu 25MHz i 30kHz lik bantlar yerine 200kHz lik bantlara bölelim. (İlerde sebebi anlatılıyor.) Bu yapı kullanıldığından kanal kapasitesi 124 kanala bölünür.



Digitizer 3kHz lik ses verisinden 13kbpslik hız ile örnekler alır. Yine bir önceki sistemdeki gibi kuantalama ve sıkıştırma yaparak elde ettiği sayısal veriyi TDMA çerçevesindeki kendisine tanımlanan slota yerleştiriyor.

Burada TDMA multiframe yapısı kullanılıyor. Bu multiframe içinde 26 tane frame içerir. Veri iletişiminde ses iletiminde bir sesin iletilmesinde insan kulağında gecikme algılanmaması için veri maximum 120 ms hızı sahip olmalıdır. Bu yüzden bir multi framein oluşturulması için 120 ms süre belirlenmiştir.

Yani 120 ms içerisinde 26 tane frame üretilir. Her bir frame içinde 8 slotu vardır. Oluşturulan bu multiframe sayısalan analoga GMSK modülasyon tekniği ile çevrilir ve uygun frekansta iletılır.



Multiframe'in içindeki 26 kanalın 2 tanesi kontrol frame i olarak kullanılır.  
Kullanıcılara tahsis edilen 24 frame olduğunu düşünürsek her biri 8 slottan 192 slota

sahibiz. FDMA sisteminde 124 kanaldan toplam kullanıcı sayısı 23.808 olur.

Bu yapıda bir slotun genişliği 156.25 bittir. Bunun 65 biti veri geri kalanı ise kullanılan protokolün gerektirdiği sistem tarafından kullanılan kontrol bitleridir. Kanalın hızını hesaplamak istediğimizde  $156.25 \text{ bit} * 8 \text{ slot} = 1250 \text{ bit}$  (TDM çerçevesi boyutu) bu çerçeveden 26 tane var.  $26 * 1250 = 32.500 \text{ bit}$  (multiframe boyutu) 120 ms de bir çerçeve oluşturuyorsa 1 s de iletilen bit sayısı 270.8 dir. Sistemin hızı 270.8 ms dir.

