

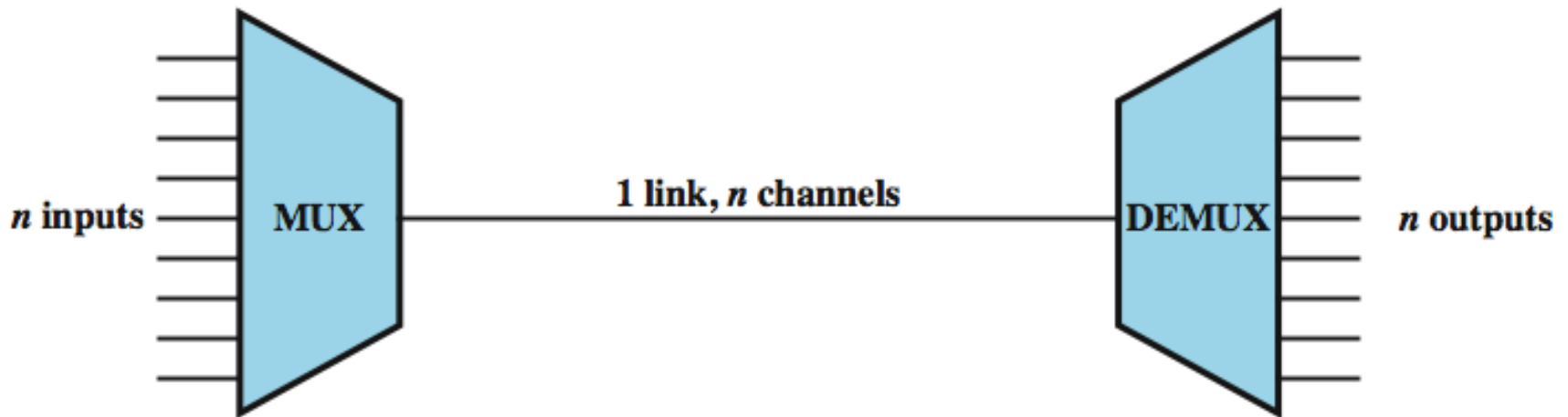
Data Communication

1

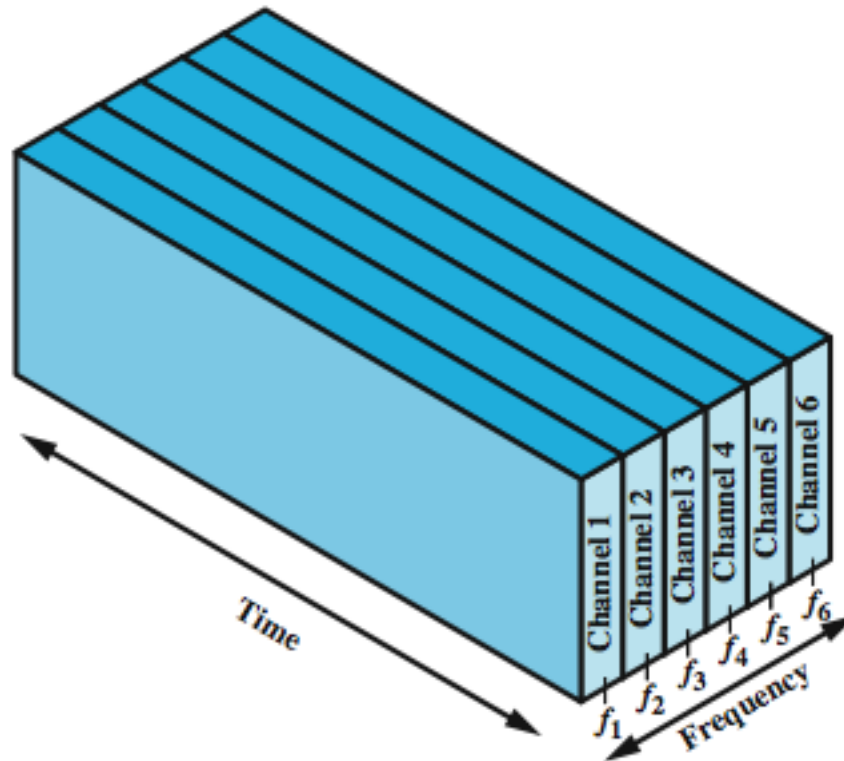
MULTİPLEXİNG

Multiplexing

- multiple links on 1 physical line
- common on long-haul, high capacity, links
- have FDM, TDM, STDM alternatives



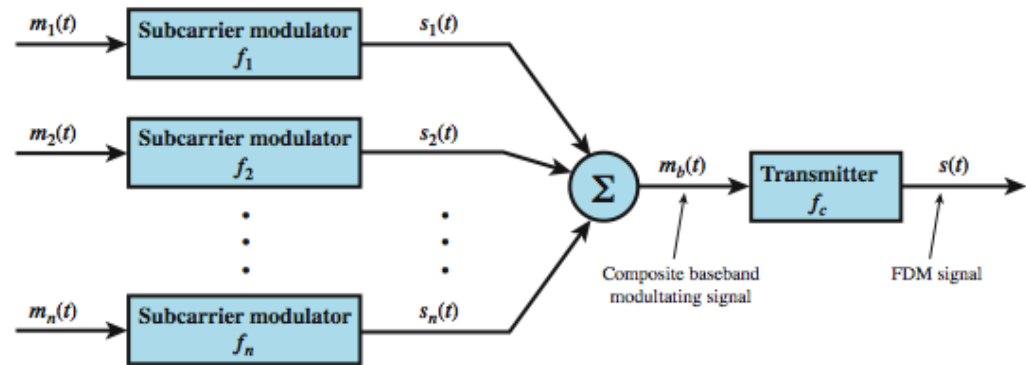
Frequency Division Multiplexing



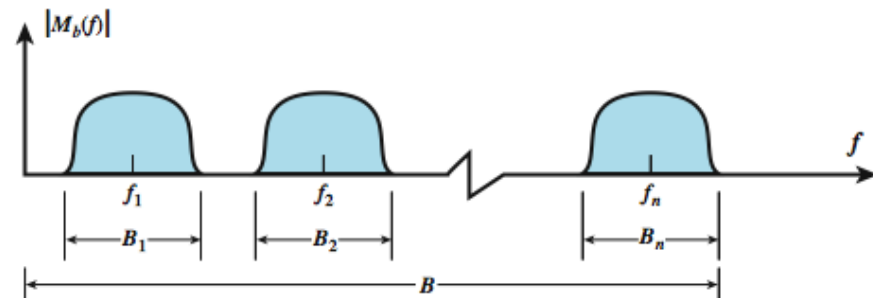
(a) Frequency division multiplexing

FDM can be used with analog signals. A number of signals are carried simultaneously on the same medium by allocating to each signal a different frequency band.

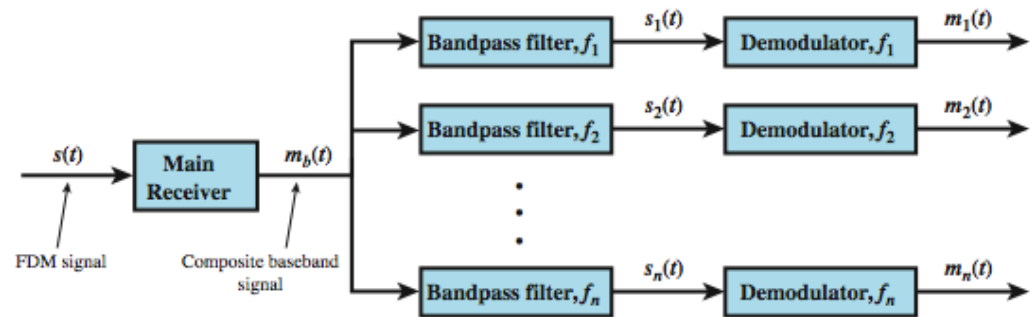
FDM System Overview



(a) Transmitter



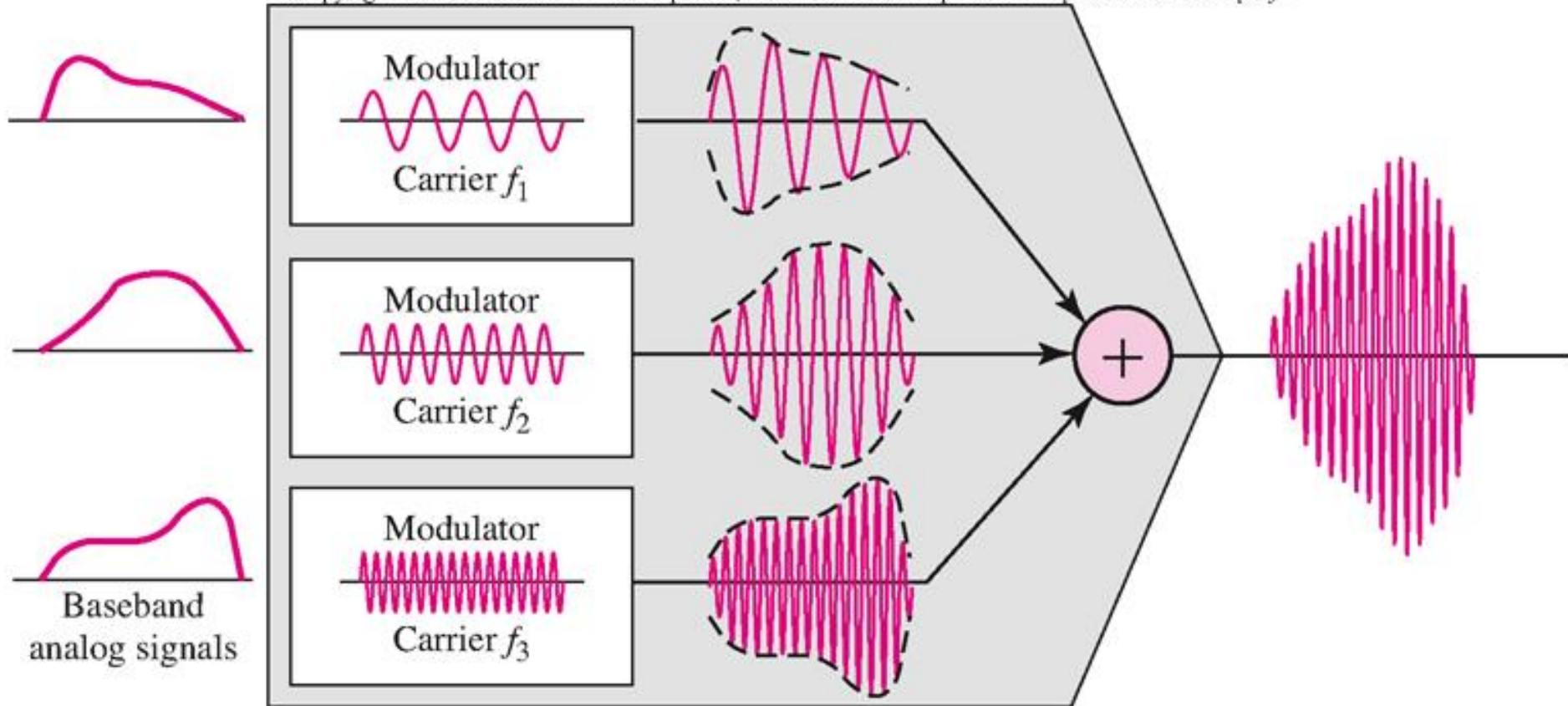
(b) Spectrum of composite baseband modulating signal



(c) Receiver

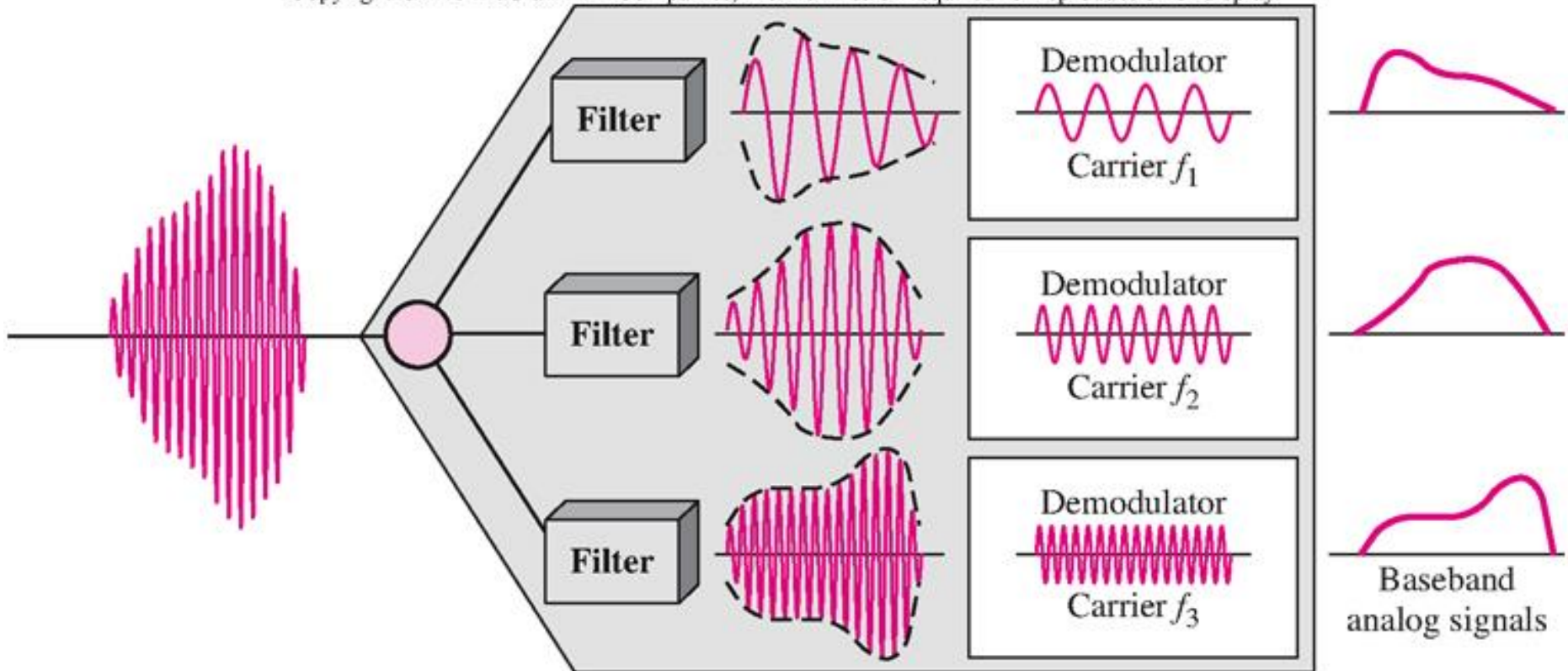
FDM Transmitter and Modulated Signal

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



FDM System Receiver

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

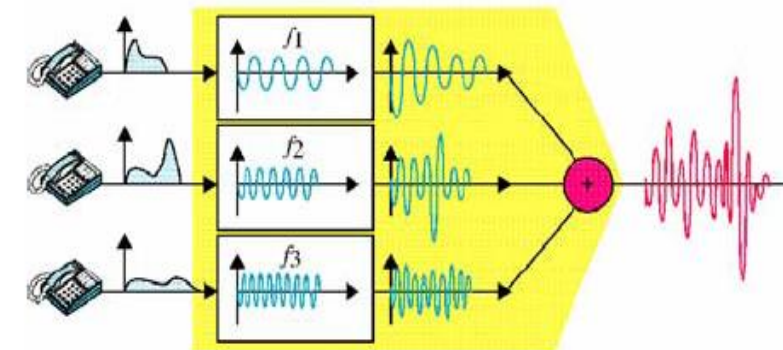


FDM – Frequency and Time domain representation

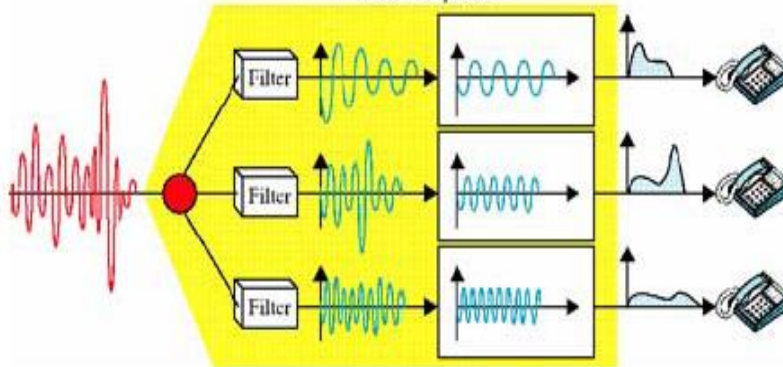
Time domain

Using AM or FM

Multiplexer

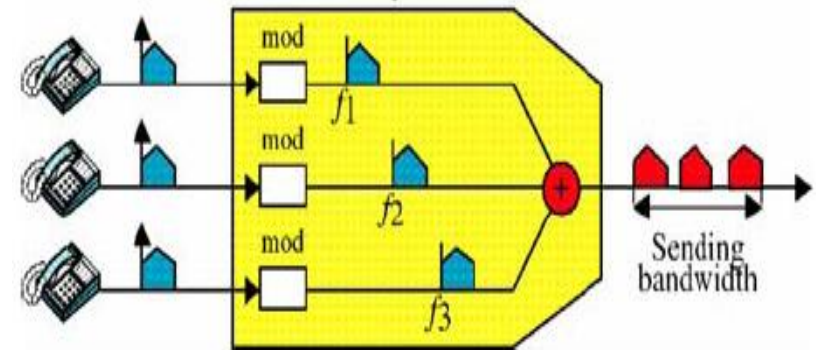


Demultiplexer

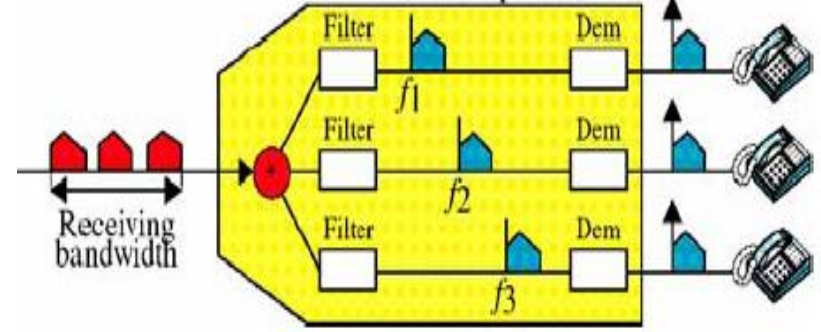


Frequency domain

Multiplexer

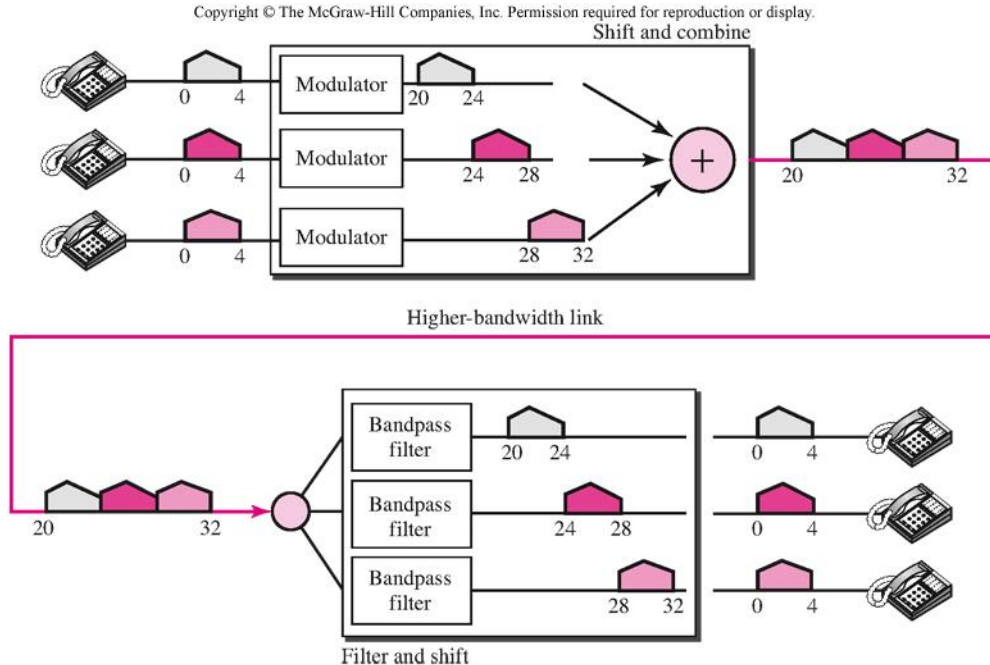


Demultiplexer



FDM – Örnek1

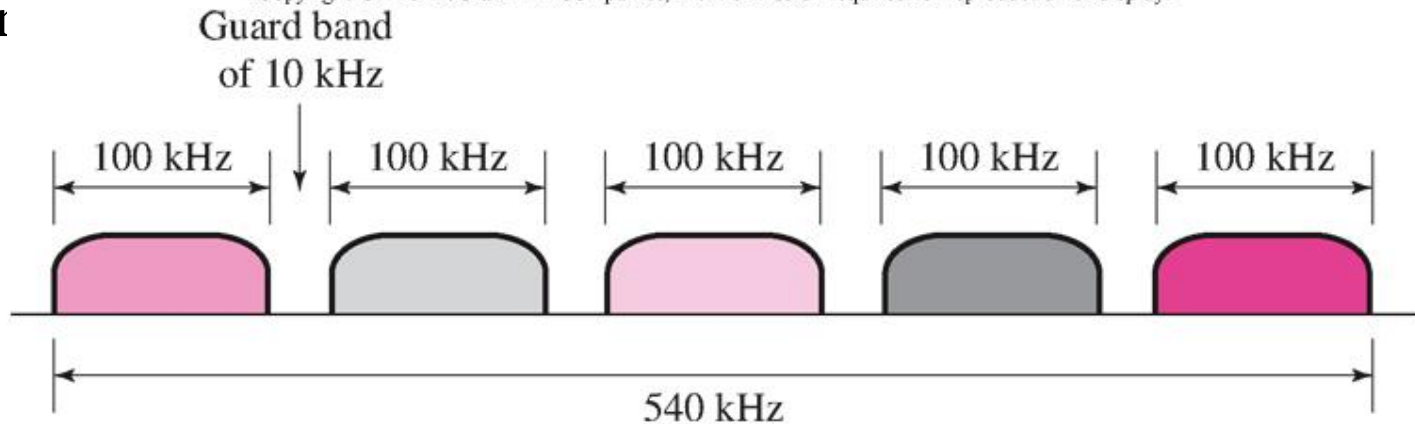
- Üç ses kanalı 20 ile 32 KHz arasında olan 12 KHz'lik bir band genişliğine sahip bir hat üzerinde iletilmek istenmektedir. Bu konfigürasyonun koruma bandı kullanmadan frekans domenindeki gösterilişini çiziniz?
- Üç ses kanalının her biri farklı bir bandgenişliğine aktarılır (modüle edilir)



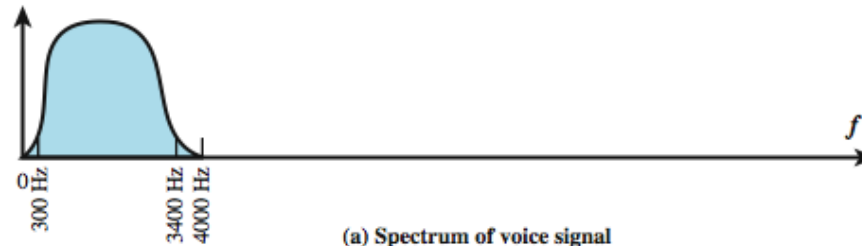
FDM – Örnek2

- 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 ger

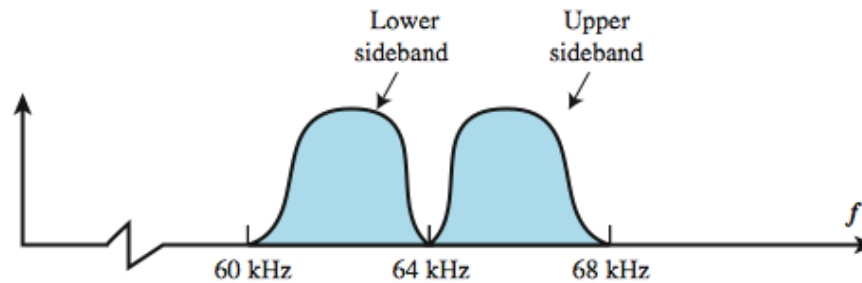
Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



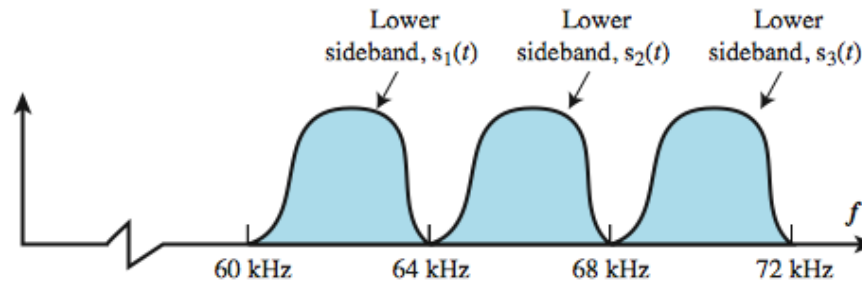
FDM Voiceband Example



(a) Spectrum of voice signal



(b) Spectrum of voice signal modulated on 64 kHz frequency



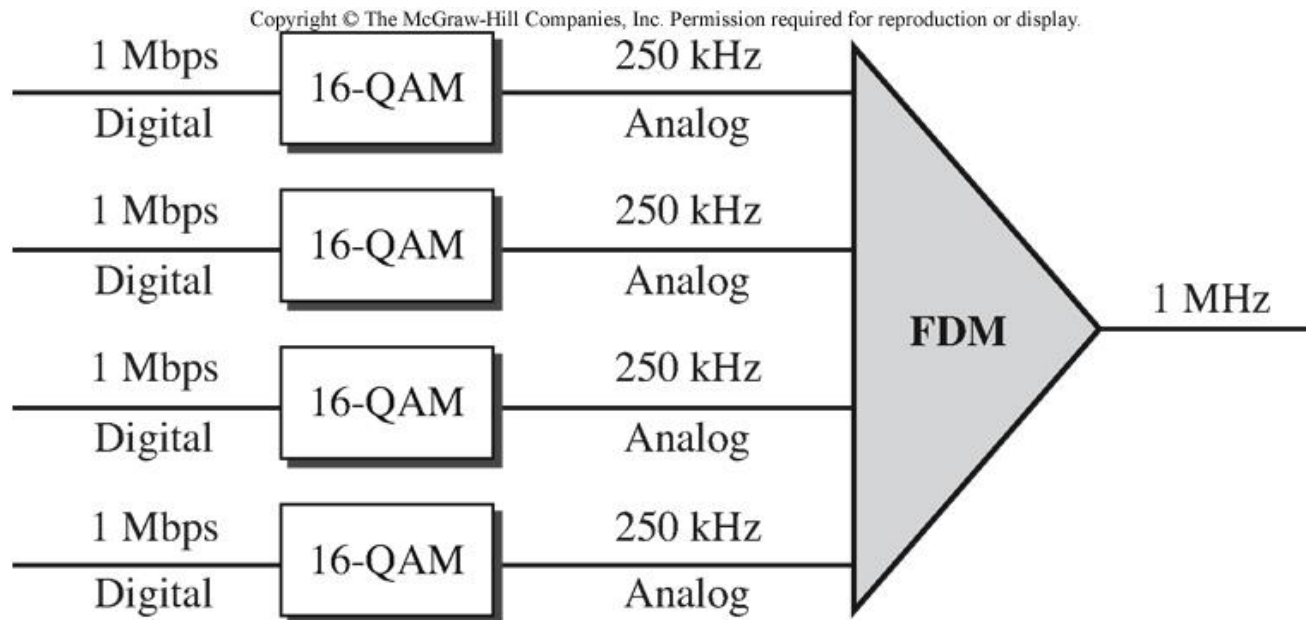
(c) Spectrum of composite signal using subcarriers at 64 kHz, 68 kHz, and 72 kHz

FDM Voiceband Example (Cont.)

- a simple example of transmitting three voice signals simultaneously over a medium. As was mentioned, the bandwidth of a voice signal is generally taken to be 4 kHz, with an effective spectrum of 300 to 3400 Hz (Figure a). If such a signal is used to amplitude-modulate a 64-kHz carrier, the spectrum of Figure b results. The modulated signal has a bandwidth of 8 kHz, extending from 60 to 68 kHz. To make efficient use of bandwidth, we elect to transmit only the lower sideband. If three voice signals are used to modulate carriers at 64, 68, and 72 kHz, and only the lower sideband of each is taken, the spectrum of Figure c results.

FDM Example-2

- Suppose each of digital data channel have a rate of 1 Mbps. Those channels use a satellite channel of 1 MHz. Configure this system using FDM.
- Satellite channel (1 MHz) is analog. So for each data channel it has a 250 KHz of bandwidth. Using 16-QAM, we can modulate 4 bits with 1 Hz.



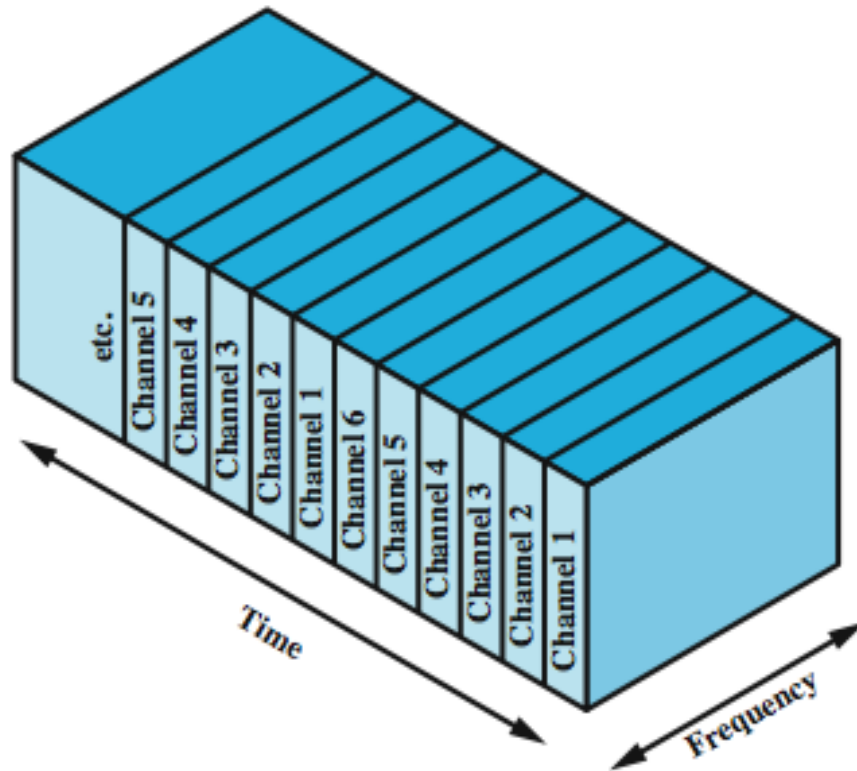
Analog Carrier Systems

- long-distance links use an FDM hierarchy
- AT&T (USA) and ITU-T (International) variants
- Group
 - 12 voice channels (4kHz each) = 48kHz
 - in range 60kHz to 108kHz
- Supergroup
 - FDM of 5 group signals supports 60 channels
 - on carriers between 420kHz and 612 kHz
- Mastergroup
 - FDM of 10 supergroups supports 600 channels
- so original signal can be modulated many times

Wavelength Division Multiplexing

- FDM with multiple beams of light at different freq
- carried over optical fiber links
 - commercial systems with 160 channels of 10 Gbps
 - lab demo of 256 channels 39.8 Gbps
- architecture similar to other FDM systems
 - multiplexer consolidates laser sources (1550nm) for transmission over single fiber
 - Optical amplifiers amplify all wavelengths
 - Demux separates channels at the destination
- also have Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)

Synchronous Time Division Multiplexing



(b) Time division multiplexing

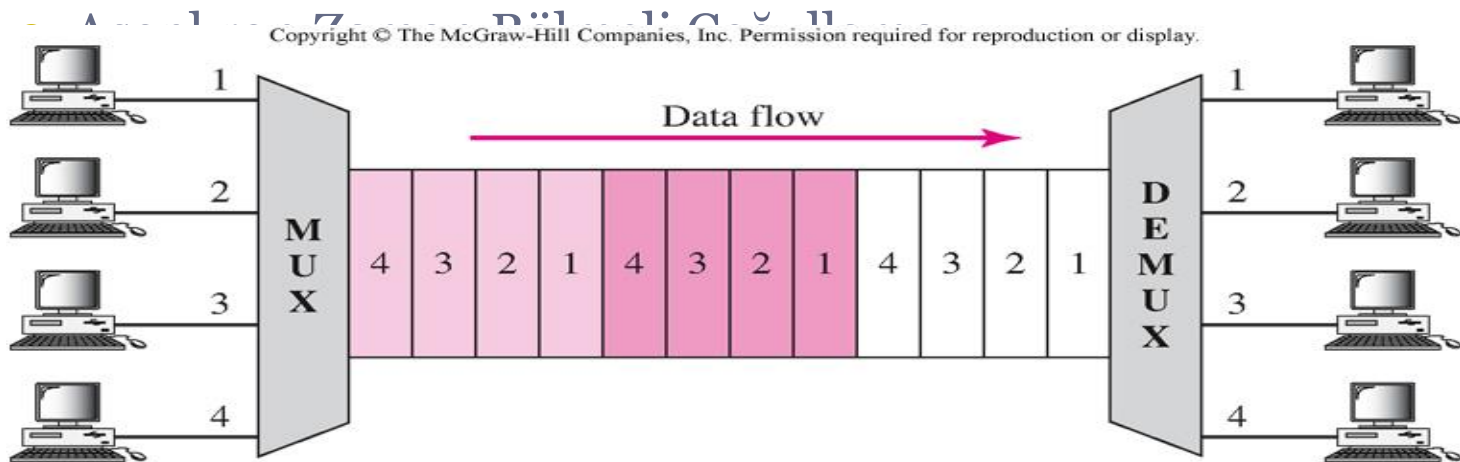
Figure has six inputs that might each be, e.g., 9.6 kbps. A single line with a capacity of at least 57.6 kbps (plus overhead capacity) could accommodate all six sources

TDM

- Synchronous TDM is called synchronous not because synchronous transmission is used, but because the time slots are preassigned to sources and fixed. The time slots for each source are transmitted whether or not the source has data to send

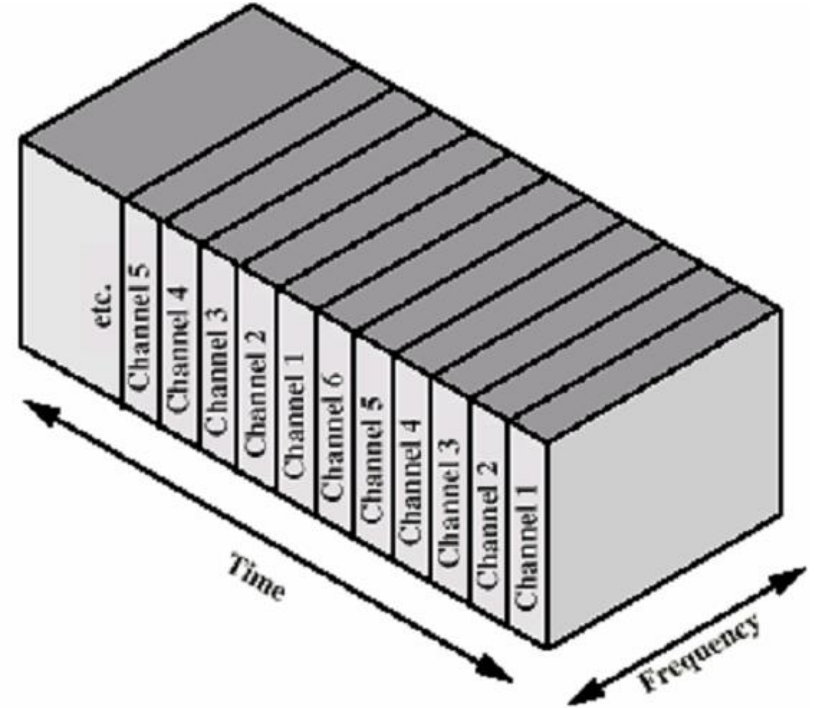
Zaman Bölmeli Çoğullama

- 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



Senkron TDM - 1

- Zaman aralıkları kaynaklara önceden tahsis edilir ve sabittir
- Veri olmasa bile zaman aralıkları tahsis edilir
- Zaman aralıkları kaynaklar arasında bir girişim oluşturmaz
- 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

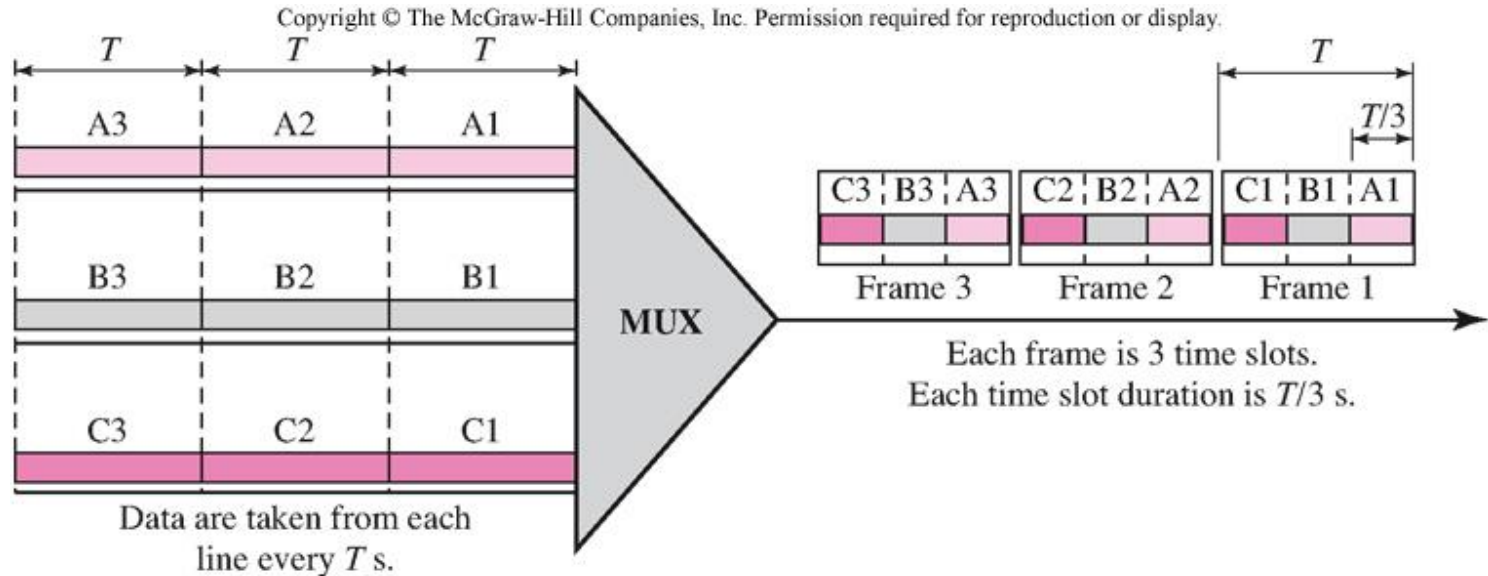


Senkron TDM - 2

- Bir önceki örnekteki 150 MHz'lik blok altı zaman bölmeli ve tekrar eden çerçevelere ayrılacak, çerçevenin her bir altı gözünde altı farklı çağrıya ait bitler yer alacaktır. Başka bir deyişle uçbirimler eldeki spektrumun, birim zamanda kendilerine ait $1/6$ 'lık zaman bölümüne sıra ile erişebileceklerdir.
- Eğer çerçeveler yeterince hızlı tekrar edilirse uçbirimler haberleşme sırasında bir kesilme ve gecikmeyi hissetmeyeceklerdir.
- TDM'de frekans bandında bir çoğullama yapılmamakta, her işaret için mevcut frekans spektrumunun tamamı kullanıma sunulmaktadır.
- İşaretlerin TDM ile çoğullanması sırasında zaman uzayında bir çakışma olmaması için işaretlerin örnekleme frekanslarının birbirine eşit veya birbirinin tamsayı katı olması gerektiğidir.
- İşaretlerin çoğullanma zamanları arasında, sistemin zamanlamasında meydana gelebilecek ufak hatalara karşı bir güvenlik bandı bırakılmasında fayda vardır.
- 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 Çerçevesi

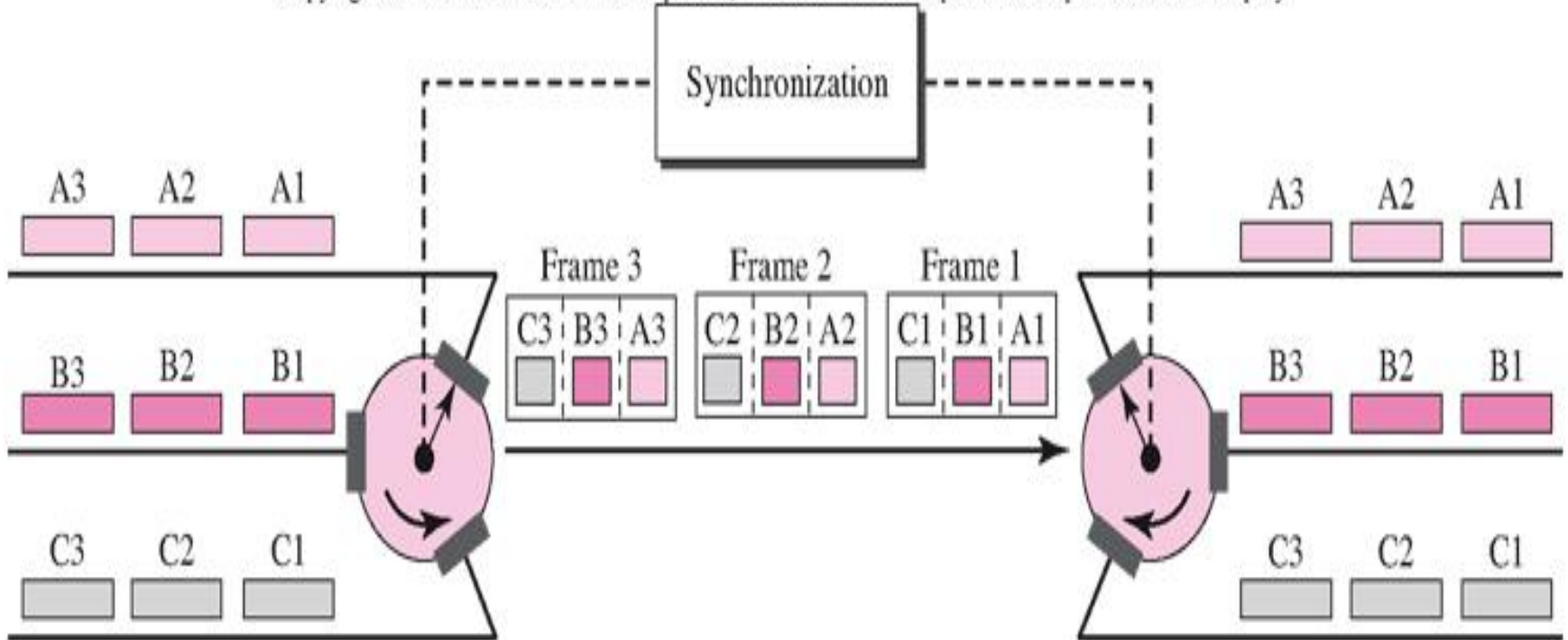
- Senkron TDM’de her kaynağın (girişin) verisi birimlere ayrılır.
- Kaynak verilerinin iletim ortamında kullandıkları zaman aralıklarının toplamı TDM çerçevesini oluşturur. Yani, bir TDM çerçevesi, tüm kaynakların 1 birim verisinin birleşiminden oluşur.



Senkron TDM Sistemi – Verici ve Alıcı

- TDM, switch cihazları kullanılarak gerçekleştirilir. Bu cihazlar arasında bir senkronizasyon gerekir.

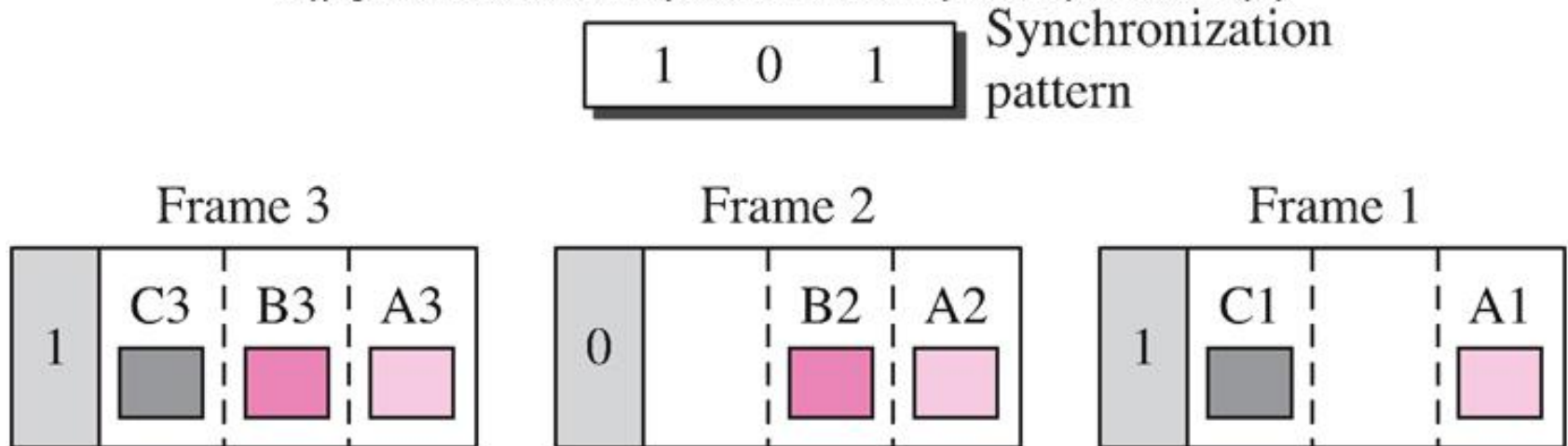
Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



TDM Senkronizasyonu

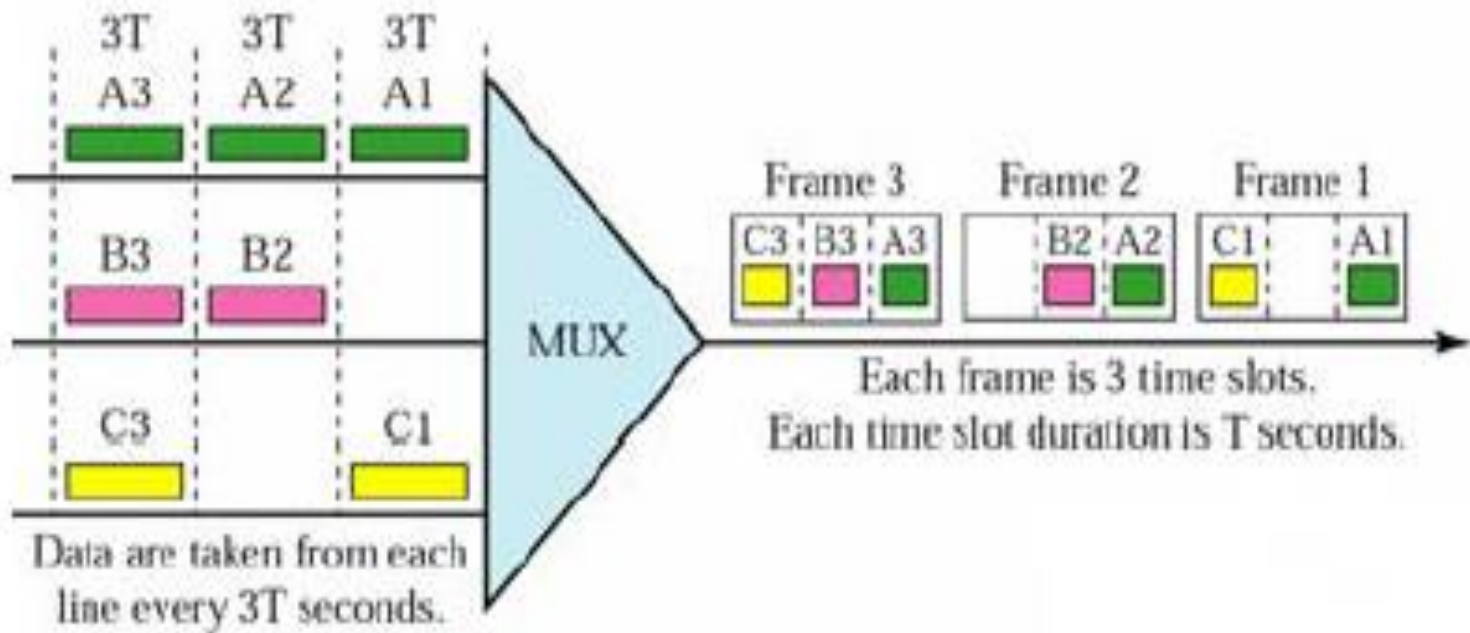
- Multiplexer ve demultiplexer arasında frame bazında senkronizasyon yapılmalıdır.
- Her çerçevenin başına senkronizasyon bitleri konur (framing bits).
- Genellikle her çerçeve başına 1 ve 0 değişimi yapan 1 bit konur.

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



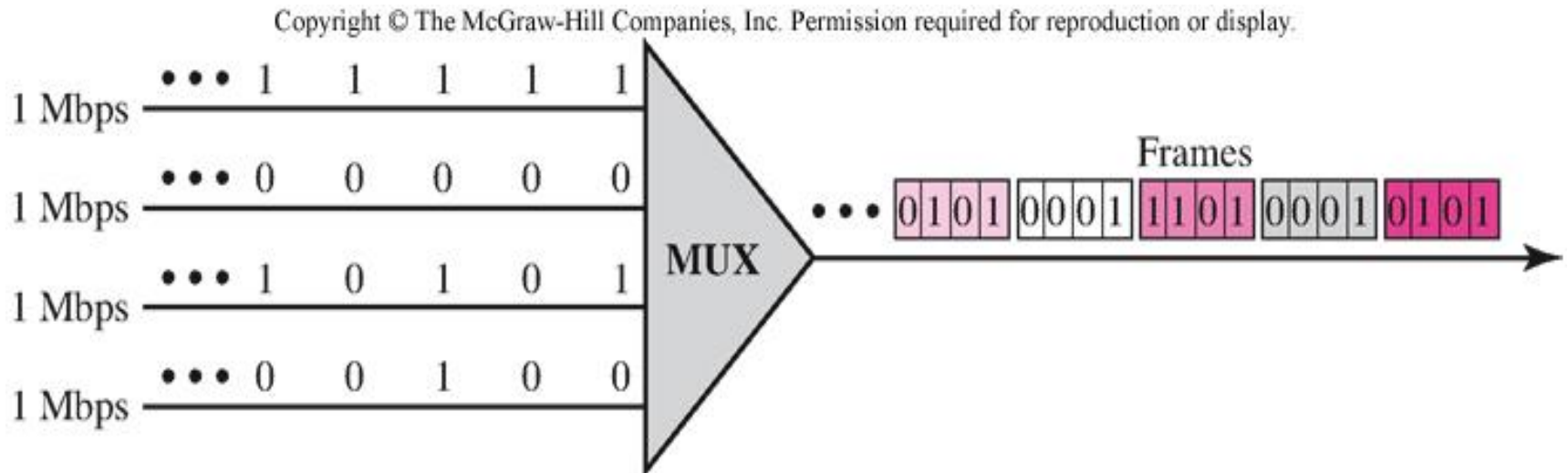
Senkron TDM – Boş Slotlar

- Kaynakların gönderecek verisi olmayabilir. Bu durumda kaynak için atanan zaman aralığı boş kalır. Diğer kaynaklar kullanamaz.
- Bu durum hattın efektif kullanım oranını azaltır.



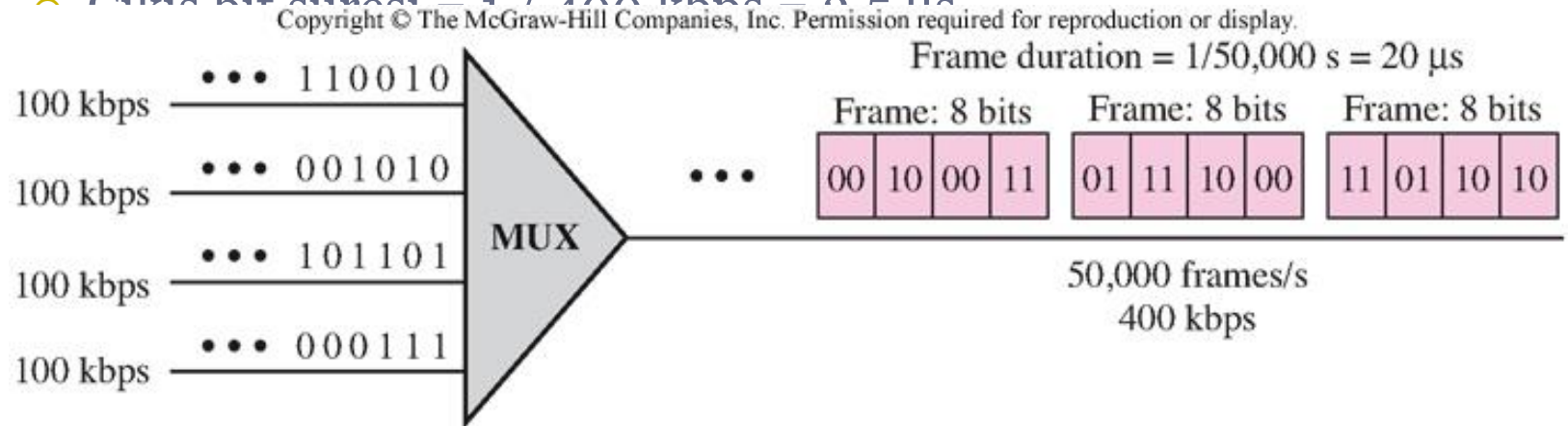
Senkron TDM Örnek-1

- Şekilde 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 (1 girişin bit hızı değeridir - saniyede 1 Mbps veri üretiliyor ve veri birimi 1 bit)
 - Çıkış bit hızı = $4 \times 1 \text{ Mbps} = 4 \text{ Mbps}$



Senkron TDM Örnek-2

- Bir çoğullayıcı 4 tane 100 kbps kanalı her zaman aralığında 2-bit alarak birleştiriyor.
 - Her kanaldan 2 bit alındığından link $100 \text{ kbps} / 2 = 50.000 \text{ frame/s}$ hızındadır.
 - Çerçeve süresi $= 1 / 50.000 = 20 \mu\text{s}$.
 - Çıkış bit hızı $= 50.000 * 8 = 400 \text{ kbps}$.
 - Çıkış bit süresi $= 1 / 400 \text{ kbps} = 2,5 \mu\text{s}$.



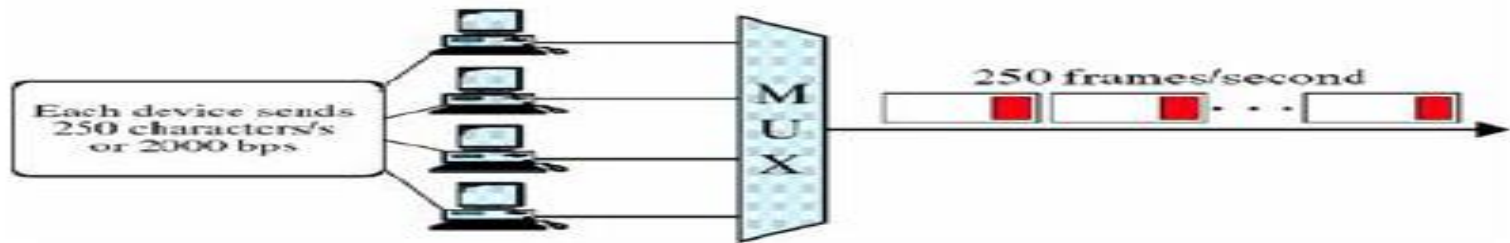
Senkron TDM Örnek-3

- 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 bps = 2 Kbps)
 - Kaynaktaki her bir karakterin süresini ? ($1/250 = 4$ ms)
 - Çerçeve hızı ? (hat saniyede 250 çerçeve göndermektedir)
 - Her bir çerçevenin süresi ? ($1/250 = 4$ ms)
 - Her bir TDM çerçevesindeki bitlerin sayısını? ($4 \times 8 + 1 = 33$ bit)
 - Hattın veri hızını ? ($250 \times 33 = 8250$ bps)

$$8250 \text{ bps} = 250 \text{ frames/second} \times 33 \text{ bits/frame}$$

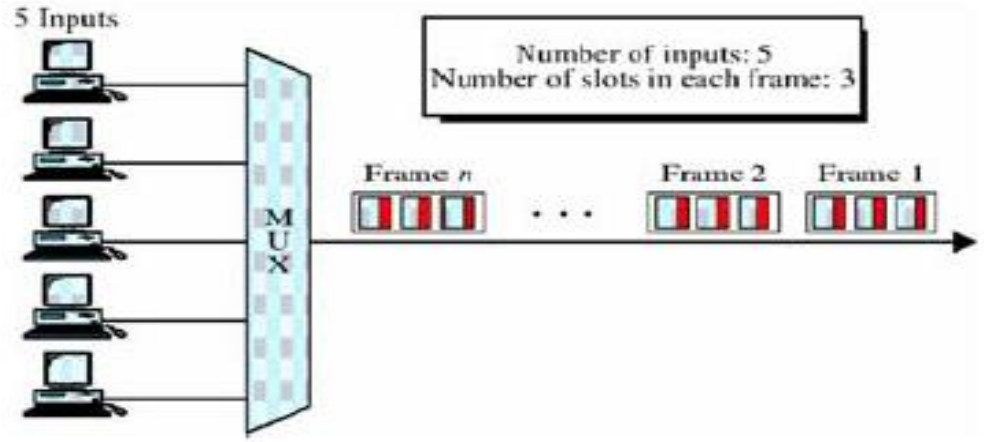
or

$$8250 \text{ bps} = 4 \times 2000 \text{ bps} + 250 \text{ synchronization bps}$$



İstatiksel TDM

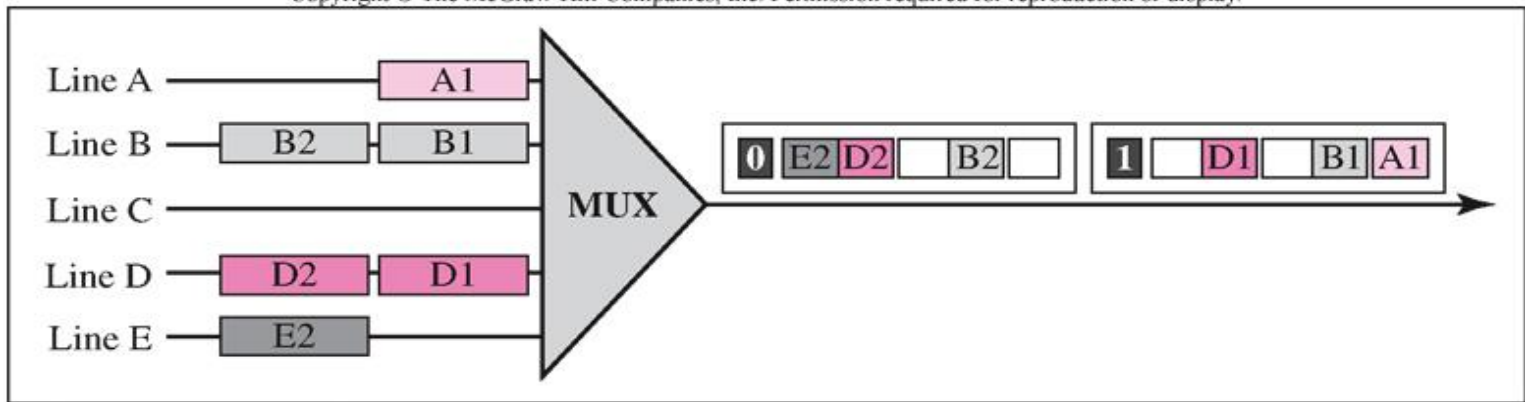
- Senkron TDM'de bir çok zaman aralığı (slot) kullanılamamaktadır.
- Bundan dolayı istatiksel TDM, verisi olan girişe zaman aralığı tahsis eder.
- Bir çerçevedeki zaman aralığı sayısı giriş sayısından daha azdır. Aşağıdaki örnekte 5 giriş vardır, fakat 3 zaman aralığı bulunmaktadır.
- Çoğullayıcı giriş hatlarını tarar ve TDM çerçevesi dolana kadar veriyi toplar
- Hat üzerindeki veri hızı giriş hatlarının oluşturduğu toplam (aggregate) hızdan daha (düşüktür).
- Senkron TDM'de çerçeve sadece veri bulundurur. İstatistiksel TDM'de veri ile birlikte adres bilgisi de gönderilir. Bundan dolayı senkronizasyon bitlerine ihtiyaç yoktur.



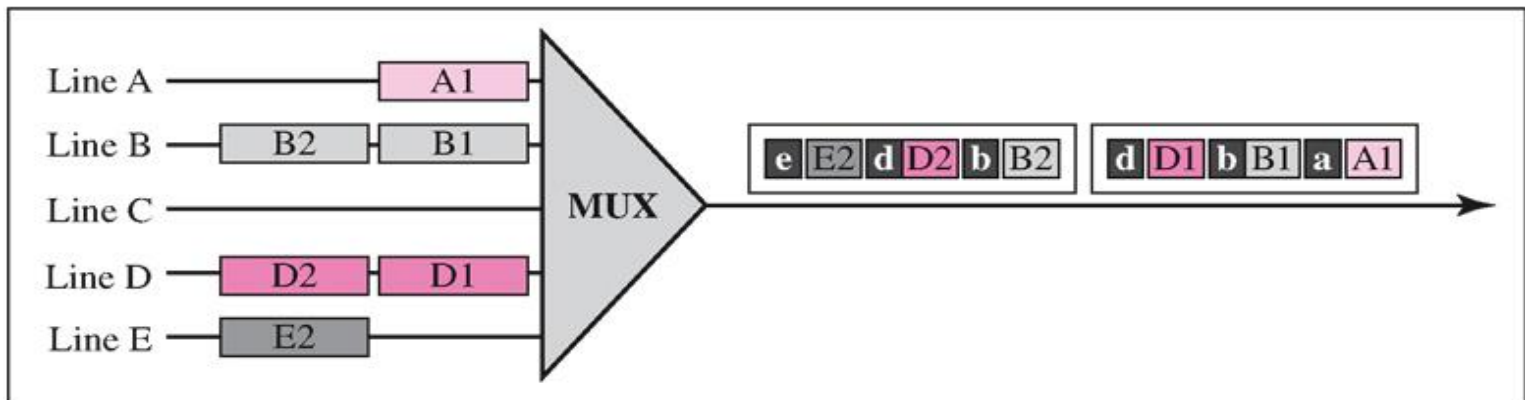
Asenkron ve Senkron TDM Çerçevesi

28

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

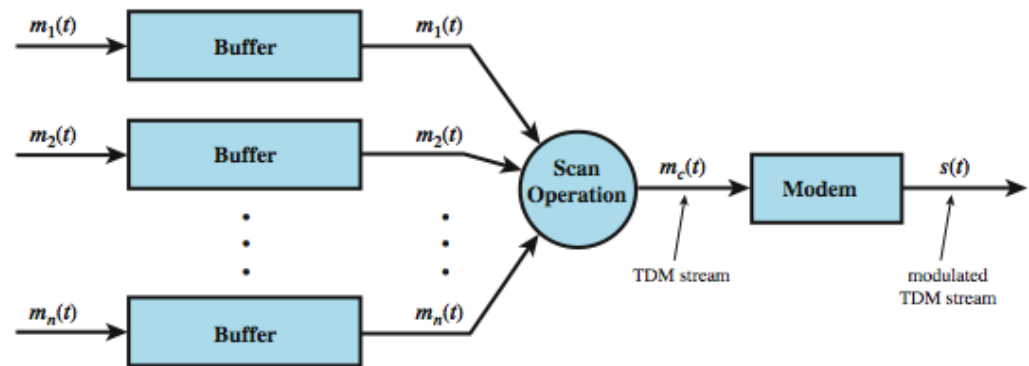


a. Synchronous TDM

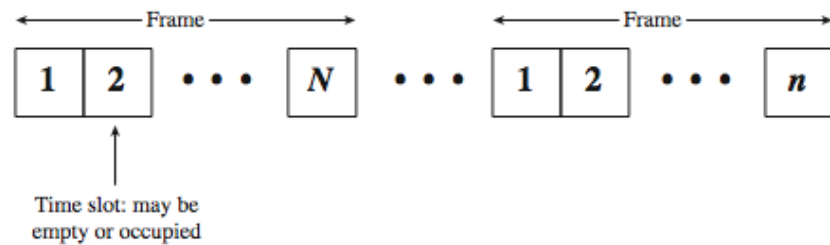


b. Statistical TDM

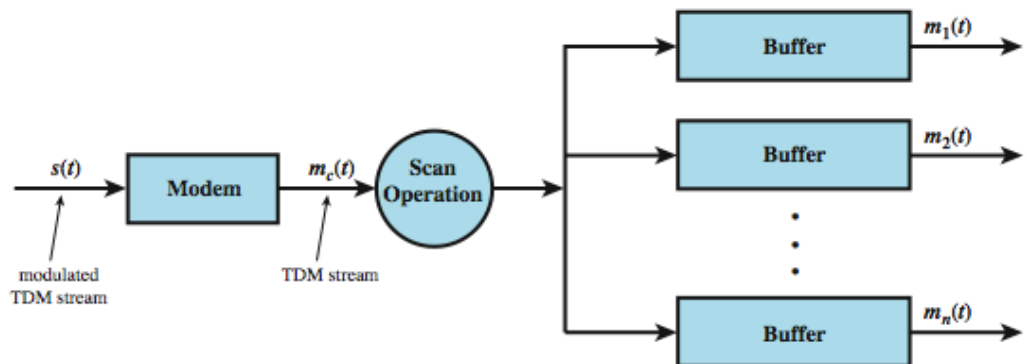
TDM System Overview



(a) Transmitter



(b) TDM Frames



(c) Receiver

TDM Link Control

- no headers and trailers
- data link control protocols not needed
- flow control
 - data rate of multiplexed line is fixed
 - if one channel receiver can not receive data, the others must carry on
 - corresponding source must be quenched
 - leaving empty slots
- error control
 - errors detected & handled on individual channel

TDM Example

- Each of four sources generate 250 character per second. If data unit of each source is 1 character and 1 synchronization bit is added to each frame find the values of given parameters.
- Data rate of each source? ($2000 \text{ bps} = 2 \text{ Kbps}$)
- Time of each character at source? ($1/250 = 4 \text{ ms}$)
- Frame data rate? (line sends 250 frame per sec)
- Time of each frame? ($1/250 = 4 \text{ ms}$)
- Number of bits in each TDM frame? ($4 * 8 + 1 = 33 \text{ bits}$)
- Data rate of line? ($250 * 33 = 8250 \text{ bps}$)

Digital Carrier Systems

- long-distance links use an TDM hierarchy
- AT&T (USA) and ITU-T (International) variants
- US system based on DS-1 format
- can carry mixed voice and data signals
- 24 channels used for total data rate 1.544Mbps
- each voice channel contains one word of digitized data (PCM, 8000 samples per sec)
- same format for 56kbps digital data
- can interleave DS-1 channels for higher rates
 - DS-2 is four DS-1 at 6.312Mbps

Statistical TDM

- in Synch TDM many slots are wasted
- Statistical TDM allocates time slots dynamically based on demand
- multiplexer scans input lines and collects data until frame full
- line data rate lower than aggregate input line rates
- may have problems during peak periods
 - must buffer inputs