

Veri İletişimi

Hafta 8

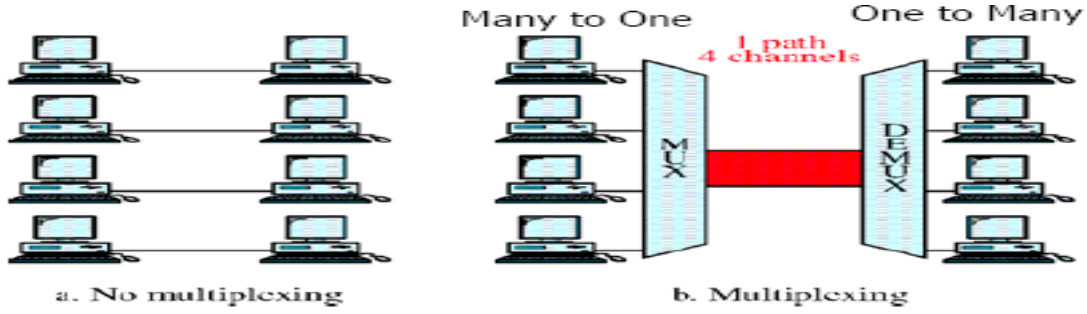
Yrd.Doç.Dr. İbrahim ÖZÇELİK



HAFTA8: ÇOĞULLAMA (MULTIPLEXING)

8.1 GİRİŞ

İletim ortamının kapasitesi tek bir sinyalin iletimi için gerekli olan kapasiteden genellikle büyüktür. Çoğullama, birden fazla sinyalin tek bir iletim ortamı üzerinden tek bir sinyal halinde birleştirilerek taşınmasını tanımlar (Şekil 8.1). Yüksek hızlı telekomünikasyon hatlarının (Koaksiyel, fiber optik) etkili kullanımı için bazı çoğullama teknikleri kullanılır. Kablosuz sistemlerde paylaşılacak ortam havadır



Şekil 8.1

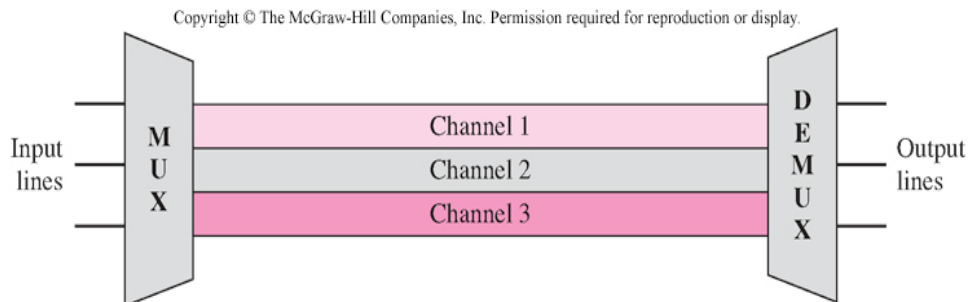
Çoğullama teknikleri, birden fazla kullanıcının aynı ortamı birbirlerini etkilemeden nasıl paylaşacaklarını belirler. Çoğullama iletim ortamının kapasitesini farklı iletim kaynaklarına paylaştırmaya izin veren bir kavramdır ve üç çeşit kullanımı vardır:

- Frekans Bölmeli Çoğullama (FDM)
- Zaman Bölmeli Çoğullama (TDM)
- Kod Bölmeli Çoğullama (CDM)

8.2 FREKANS BÖLMELİ ÇOĞULLAMA

Frekans Bölmeli Çoğullama (Frequency Division Multiplexing – FDM), iletişim kanallarında frekans paylaşımını öngörmektedir. Her bir sinyal farklı bir taşıyıcı frekansı ile modüle edilir.

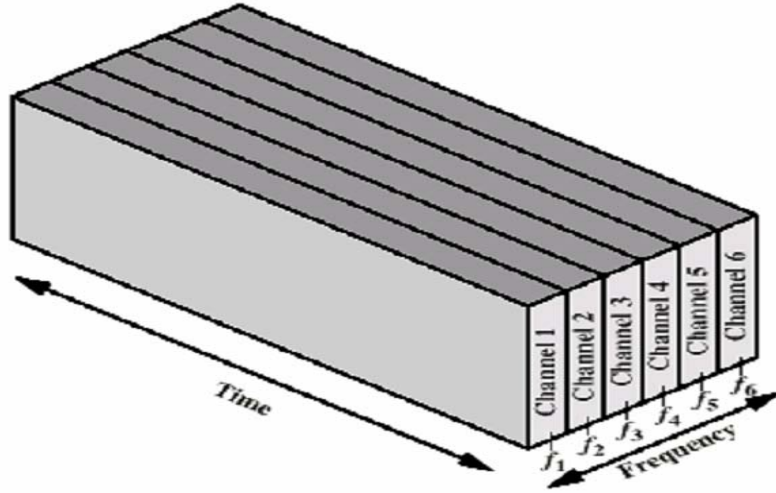
- Her sinyalin iletimi için farklı bir frekans bandı kullanılarak sinyallerin birbirine karışması önlenirken (koruma bandları ile birlikte), aynı zamanda birden fazla analog sinyalin birleştirilerek aynı kanaldan iletilmesini de mümkün kılınmaktadır (şekil 8.2).
- Veri olmasa bile kanal tahsis edilir.
- FDM analog işaretlerin çoğullanmasında kullanılır. Örnek: Radyo ve TV yayınları.



Şekil 8.2

Frekans bölmeli çoğullamanın Frekans-zaman uzayı gösterilimi şekil 8.3'teki gibidir.

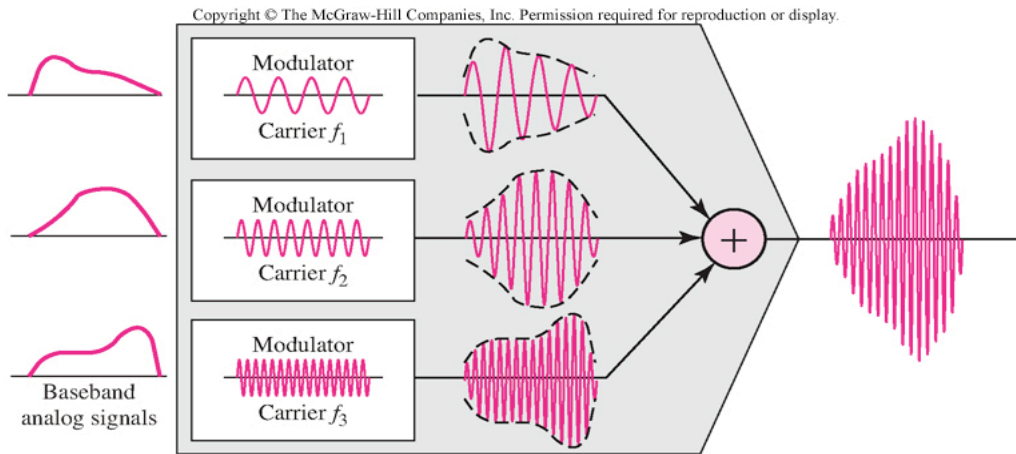
- Frekans spektrumu belirli sayıdaki frekans bandına bölünerek, kullanıcıların iletim ihtiyacına göre frekans bantları atanmaktadır.
- Örneğin 150 MHz'lık bir spektrum bloğu, 25 MHz bölmelere ayrılarak aynı anda altı uçbirimin eş zamanlı haberleşmesi sağlanabilir. Her bir çağrı için frekansı ayrı bir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



Şekil 8.3

Verici Tarafı:

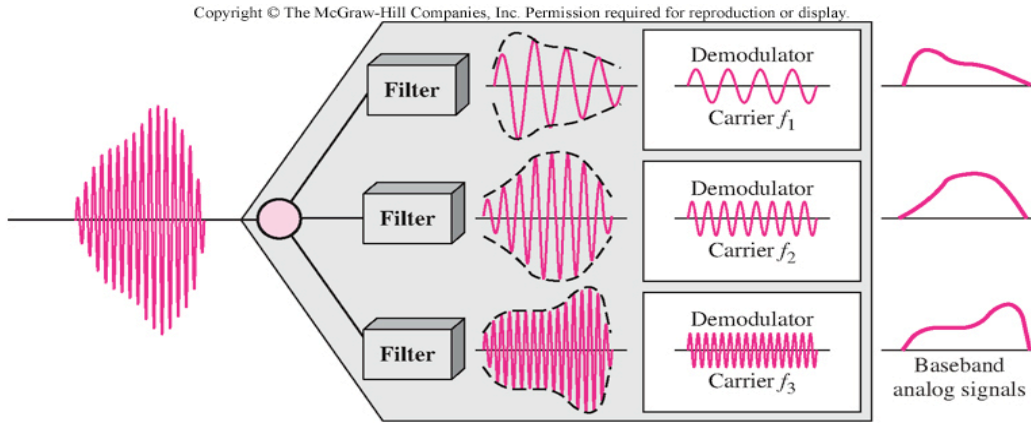
Her bir sinyalin gerekli frekans bandına taşınabilmesi için ilk önce ayrı ayrı taşıyıcı frekanslarla modüle edilmesi, sonra da modüle edilen sinyalleri birleştirmek için de çoğullama cihazlarının (multiplexer) kullanılması gerekir (şekil 8.4).



Şekil 8.4

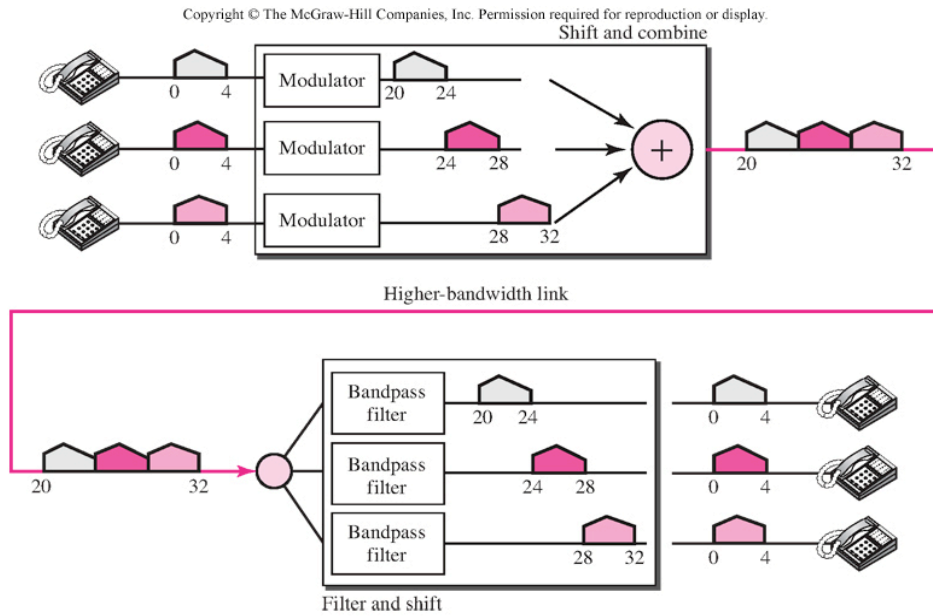
Alıcı Tarafı:

Her alıcı kendisine gönderilen sinyalin hangi frekans bandından geleceğini bilmesi gerekir. Bu, hangi frekansları geçireceği belli olan bant geçiren filtre ile sağlanır. Band geçiren bir filtre, ilgilendiği işareti diğer işaretlerden ayırır. Filtreleme işleminin ardından demodülasyon işlemi ile orijinal sinyal geri elde edilir (şekil 8.5).



Şekil 8.5

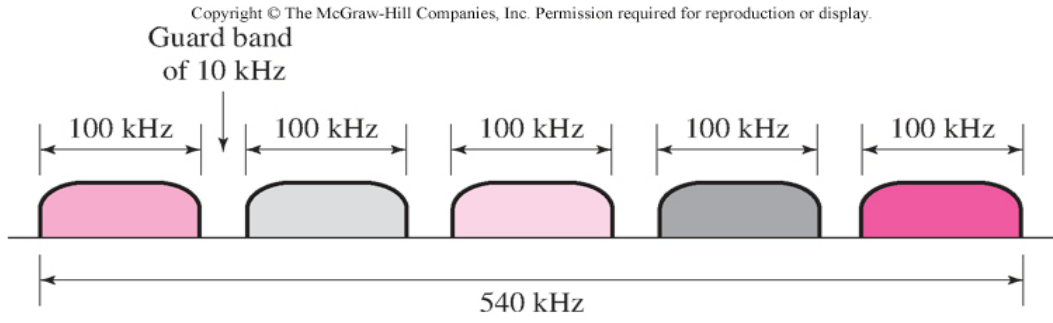
Örnek1: Üç ses kanalı 20 ile 32 KHz arasında olan 12 KHz'lik bir band genişliğine sahip bir hat üzerinde iletilmek istenmektedir. Bu konfigürasyonun koruma bandı kullanmadan frekans domenindeki gösterilişini çiziniz? Üç ses kanalının her biri farklı bir bandgenişliğine aktarılır (modüle edilir). Çözüm şekil 8.6'da verilmiştir.



Şekil 8.6

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?

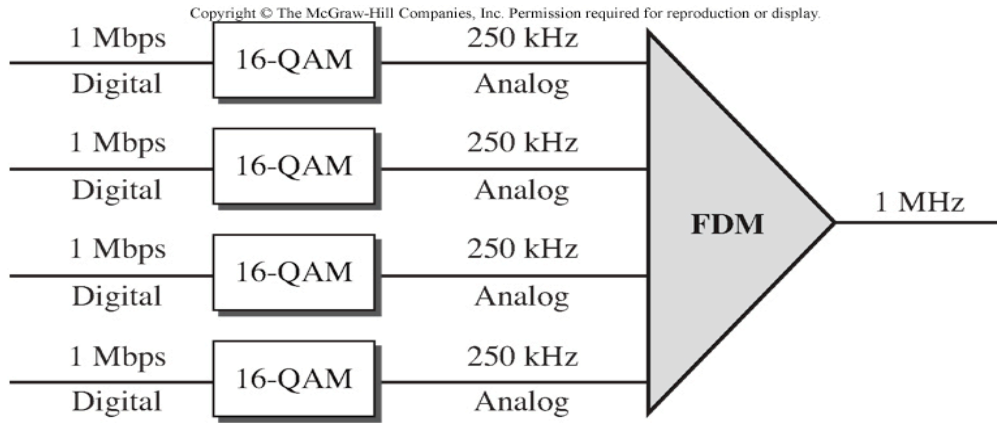
- 5 kanal için en az 4 koruma bandına ihtiyaç vardır. Bu, gerekli bandgenişliğinin en az $5 \times 100 + 4 \times 10 = 540$ KHz olması gerektiğini anlamına gelir (şekil 8.7).



Şekil 8.7

Örnek3: Her biri 1 Mbps hıza sahip dört veri kanalı (sayısal) 1 MHz'lık bir uydu kanalını kullanmaktadırlar. FDM kullanan uygun bir konfigürasyon tasarlayınız?

- Uydu kanalı (1 MHz) analog'tur. Dört kanaldan her bir kanal için bandgenişliği 250 KHz'dir. 16-QAM kullanılarak 1 Hz ile 4 bit modüle edilir. Buna göre çözüm şekil 8.8'de verilmiştir.



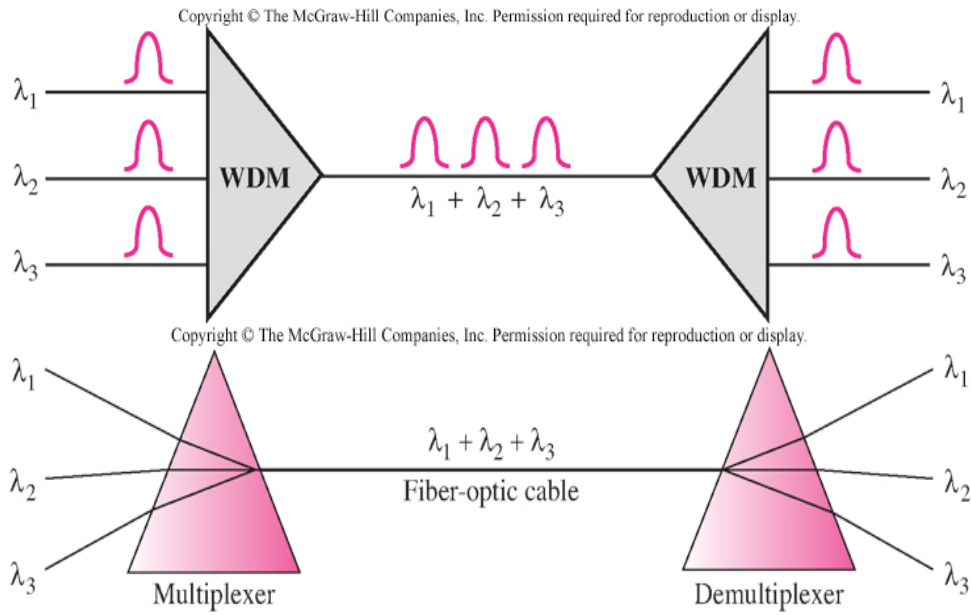
Şekil 8.8

8.2.1 Dalga Uzunluğu Bölmeli Çoğullama

Dalga Uzunluğu Bölmeli Çoğullama (Wavelength Division Multiplexing – WDM), fiber optik kablunun yüksek bant genişliğini kullanmak için tasarlanmıştır (Şekil 8.9).

- WDM, optik sinyalleri birleştiren bir multiplexing tekniğidir.
- Birden fazla ışık hüzmesinin farklı frekanslarda aynı fiber üzerinden iletilmesi tekniğidir
- Işığın her bir rengi (dalga uzunluğu) ayrı veri kanalı üzerinden taşınır
- 1997 Bell Lab.da; herbiri 10 Gbps bandgenişlikli 100 ışık hüzmesi ile 1 Terabitlik bir iletim gerçekleştirilmiştir
- Şu anda 10 Gbps bandgenişliğine sahip 160 kanallık ticari ürünler bulunmaktadır
- Alcatel, Lab ortamında her biri 39,8 Gbps bandgenişliğine sahip 256 kanalla 10.1 Tbps'lık bir iletimi 100 km'lik bir mesafede gerçekleştirmiştir
- WDM, SONET(Synchronous Optical Network) ağlarda kullanılır.
- Dense WDM (DWDM), kanalları birbirine çok yakın çoğullayarak daha çok kanalı birleştirir.

- FDM'e benzer, fakat daha yüksek frekanslara sahiptir. Çoğu 1550 nm dalga uzunluğu aralığında (~194 THz).
- Birçok kaynaktan farklı frekanslarda laser ışını üretilir
- Çoğullayıcı kaynakları tek bir fiber üzerinden iletim için birleştirir
- Optik yükselteçler tüm dalga uzunluklarını güçlendirir (tipik olarak 10km uzağa gidebilecek şekilde)
- Demux hedefte kanalları ayrıştırır
- WDM'de her kanal için 50 GHz
- Dense WDM – yaklaşık 200 GHz

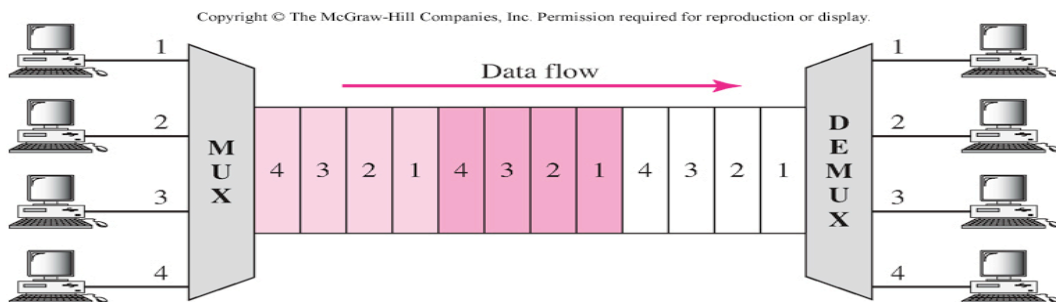


Şekil 8.9

8.3 ZAMAN BÖLMELİ ÇOĞULLAMA

Zaman Bölmeli Çoğullama (Time Division Multiplexing – TDM), yüksek bant genişliğine sahip bir linki birden çok bağlantıya paylaştırır. Birçok sayısal sinyal zaman boyutunda birbirinden ayırt edilir (şekil 8.10). İki çeşidi vardır:

- Senkron Zaman Bölmeli Çoğullama
- Asenkron Zaman Bölmeli Çoğullama

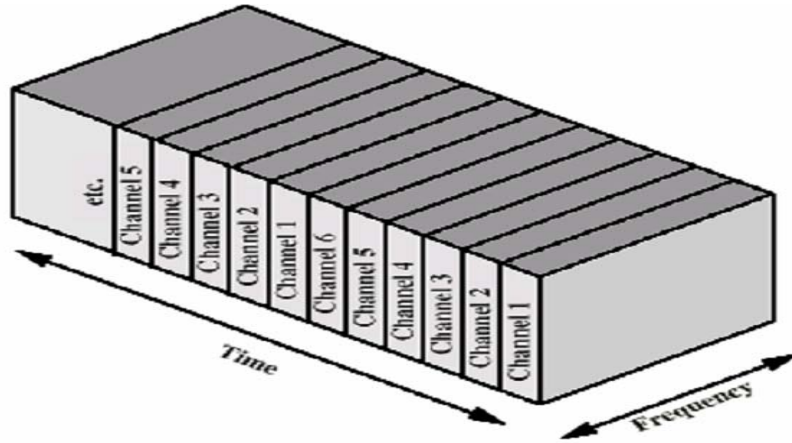


Şekil 8.10

8.3.1 Senkron Zaman Bölmeli Çoğullama

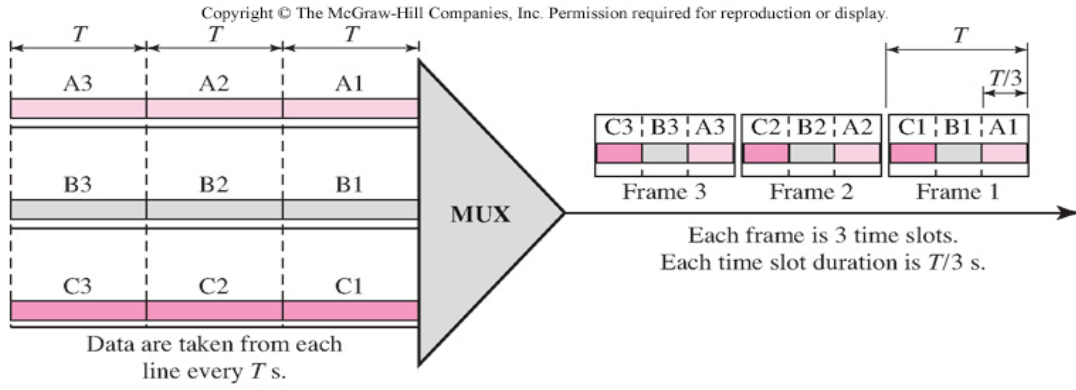
Senkron zaman bölmeli çoğullamanın özellikleri aşağıda özetlenmiştir:

- Zaman aralıkları kaynaklara önceden tahsis edilir ve sabittir
- Veri olmasa bile zaman aralıkları tahsis edilir.
- Zaman aralıkları kaynaklar arasında bir girişim oluşturmayacaktır.
- 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 (şekil 8.11).
- 150 MHz'lık 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 gerektirir.
- 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.



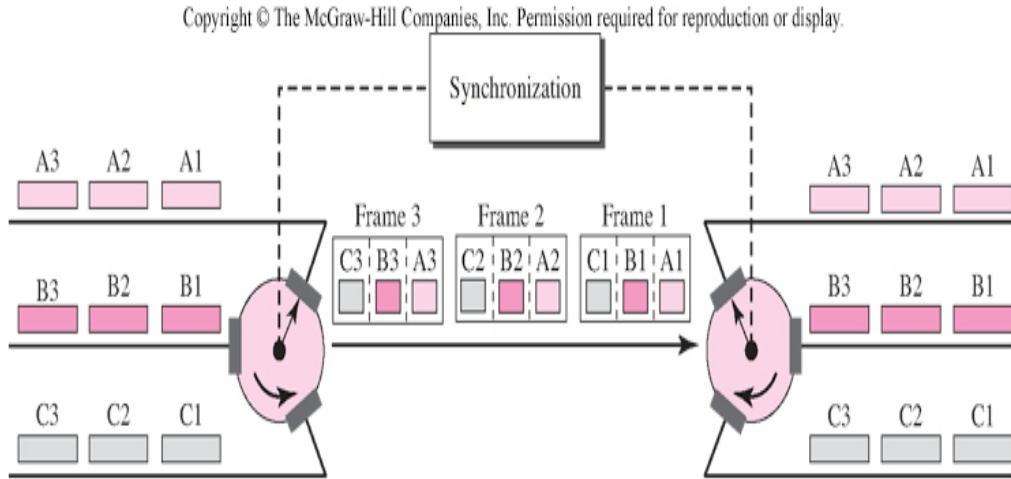
Şekil 8.11

- 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.



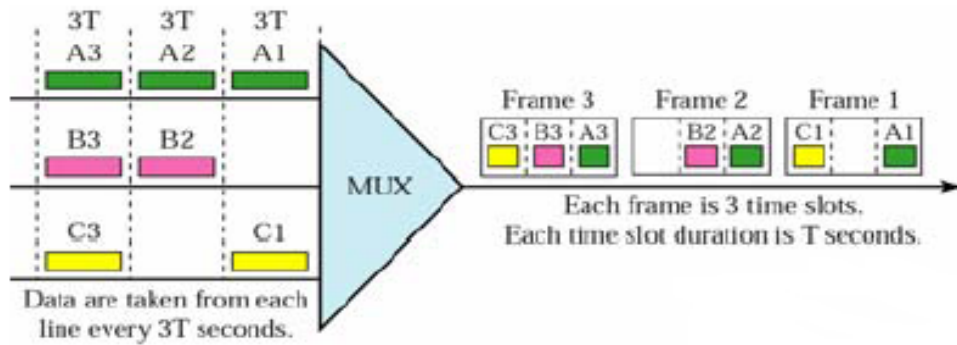
Şekil 8.12

TDM, switch cihazları kullanılarak gerçekleştirilir. Bu cihazlar arasında da bir senkronizasyon gerekir (Şekil 8.13). 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.



Şekil 8.13

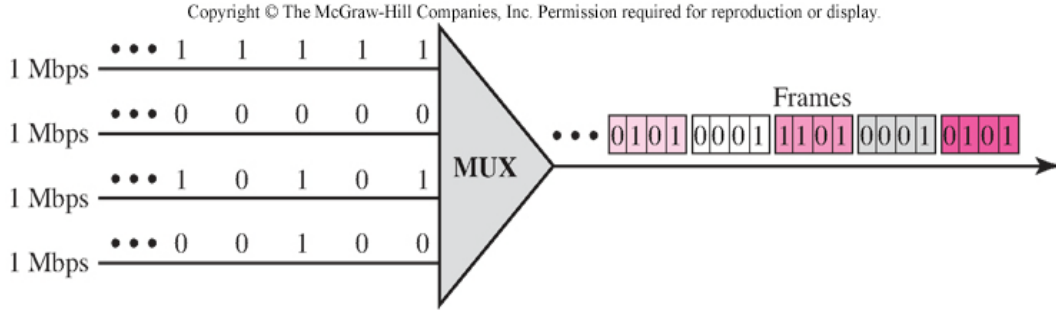
Kaynakların gönderecek verisi olmayabilir. Bu durumda kaynak için atanan zaman aralığı boş kalır (Şekil 8.14). Diğer kaynaklar kullanamaz. Bu durum hattın efektif kullanım oranını azaltır.



Şekil 8.14

Örnek1: Şekil 8.15’de bir birim veri 1 bittir.

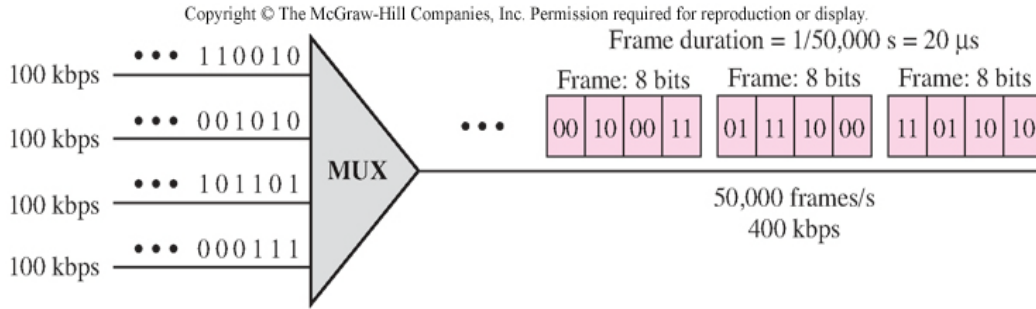
- Her bir girişin bit hızı = 1 Mbps
- Giriş bit süresi = $1 / 1 \text{ Mbps} = 1 \mu\text{s}$.
- Çerçeve hızı (Frame rate) = 10^6 çerçeve/sn (1 girişin bit hızı değeridir - saniyede 1 Mbps veri üretiliyor ve veri birimi 1 bit)
- Çıkış bit hızı = $4 \times 1 \text{ Mbps} = 4 \text{ Mbps}$



Şekil 8.15

Örnek2: Bir çoğullayıcı 4 tane 100 kbps kanalı her zaman aralığında 2-bit alarak birleştiriyor (şekil 8.16).

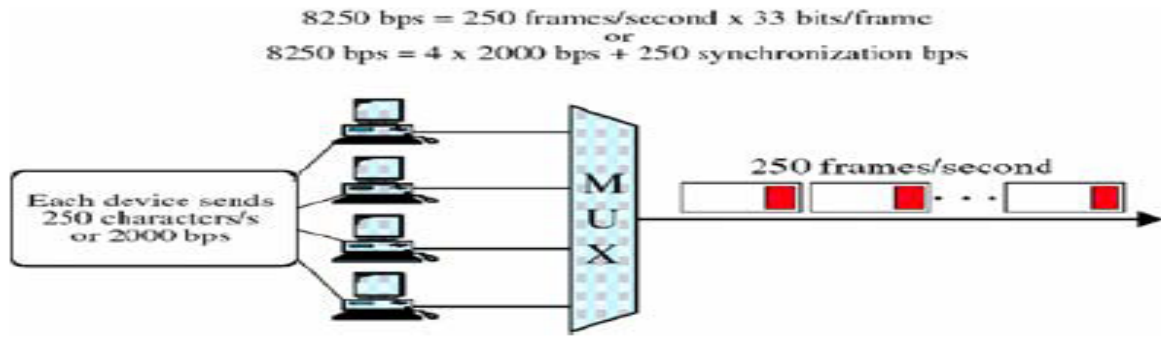
- Her kanaldan 2 bit alındığından link $100 \text{ kbps} / 2 = 50.000 \text{ frame/s}$ hızındadır.
- Çerçeve süresi = $1 / 50.000 = 20 \mu\text{s}$.
- Çıkış bit hızı = $50.000 \times 8 = 400 \text{ kbps}$.
- Çıkış bit süresi = $1 / 400 \text{ kbps} = 2,5 \mu\text{s}$.



Şekil 8.16

Örnek3: Dört kaynağın her biri saniyede 250 karakter üretmektedir. Eğer her kaynağın veri birimi 1 karakter ve her bir çerçeveye 1 senkronizasyon biti eklenirse (şekil 8.17), aşağıdaki değerleri bulunuz?

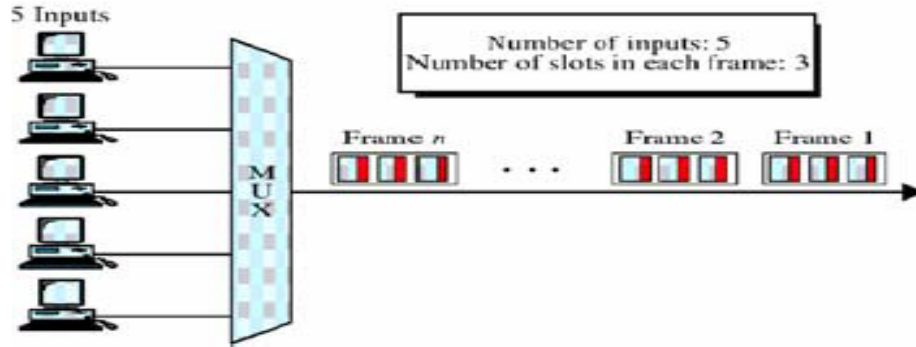
- Her bir kaynağın veri hızı ? ($2000 \text{ bps} = 2 \text{ Kbps}$)
- Kaynaktaki her bir karakterin süresini ? ($1/250 = 4 \text{ ms}$)
- Çerçeve hızı ? (hat saniyede 250 çerçeve göndermektedir)
- Her bir çerçevenin süresi ? ($1/250 = 4 \text{ ms}$)
- Her bir TDM çerçevesindeki bitlerin sayısını? ($4 \times 8 + 1 = 33 \text{ bit}$)
- Hattın veri hızını ? ($250 \times 33 = 8250 \text{ bps}$)



Şekil 8.17

8.3.2 Asenkron (İstatistiksel) Zaman Bölmeli Çoğullama

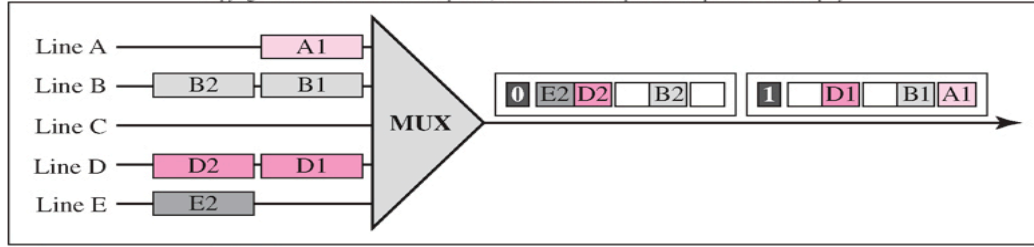
Senkron TDM’de bir çok zaman aralığı (slot) kullanılamamaktadır. Bundan dolayı istatistiksel TDM, verisi olan girişe zaman aralığı tahsis eder. Bir çerçevedeki zaman aralığı sayısı giriş sayısından daha azdır.



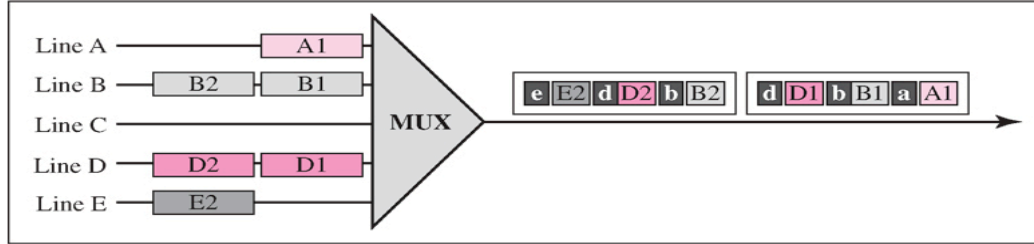
Şekil 8.18

Şekil 8.18’de 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.

Şekil 8.19’da Senkron ve Asenkron TDM yapıları birlikte verilmiştir.



a. Synchronous TDM



b. Statistical TDM

Şekil 8.19