



SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
Bilgisayar ve Bilişim Bilimleri Fakültesi
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

BSM 422
KABLOSUZ AĞ TEKNOLOJİLERİ VE UYGULAMALARI

Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama (OFDM)
ve
Dikgen Frekans Bölmeli Çoklu Erişim (OFDMA)

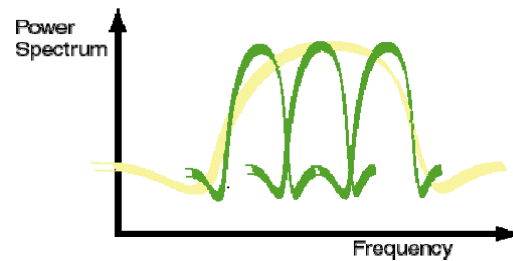
Prof. Dr. Cüneyt BAYILMIŞ



Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama

(Orthogonal Frequency Division Multiplex, OFDM)

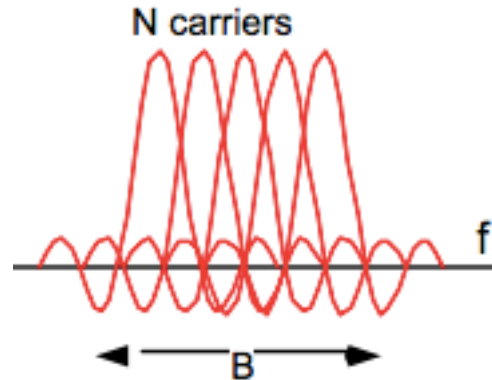
- ❑ Frekans bölmeli çoğullamanın özel bir türüdür.
- ❑ Çok taşıyıcılı iletim teknolojisidir. Taşıyıcılar arasında koruma (guard) bandına ihtiyaç yoktur. Taşıyıcılar birbirine diktir.
- ❑ Farklı frekanslarda eş zamanlı olarak çok sayıda taşıyıcı kullanarak daha yüksek veri iletimi sağlanmaktadır.
- ❑ İlk olarak 1966 yılında Bell Laboratuvarında R. W. Chang tarafından tanımlanmış ve 1970 yılında patenti alınmıştır.
- ❑ İlk ticari uygulaması Sayısal Ses Yayıncılığı alanında 1987 yılında görülmüştür.
- ❑ 1994 yılında standartlaşmıştır.



Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama

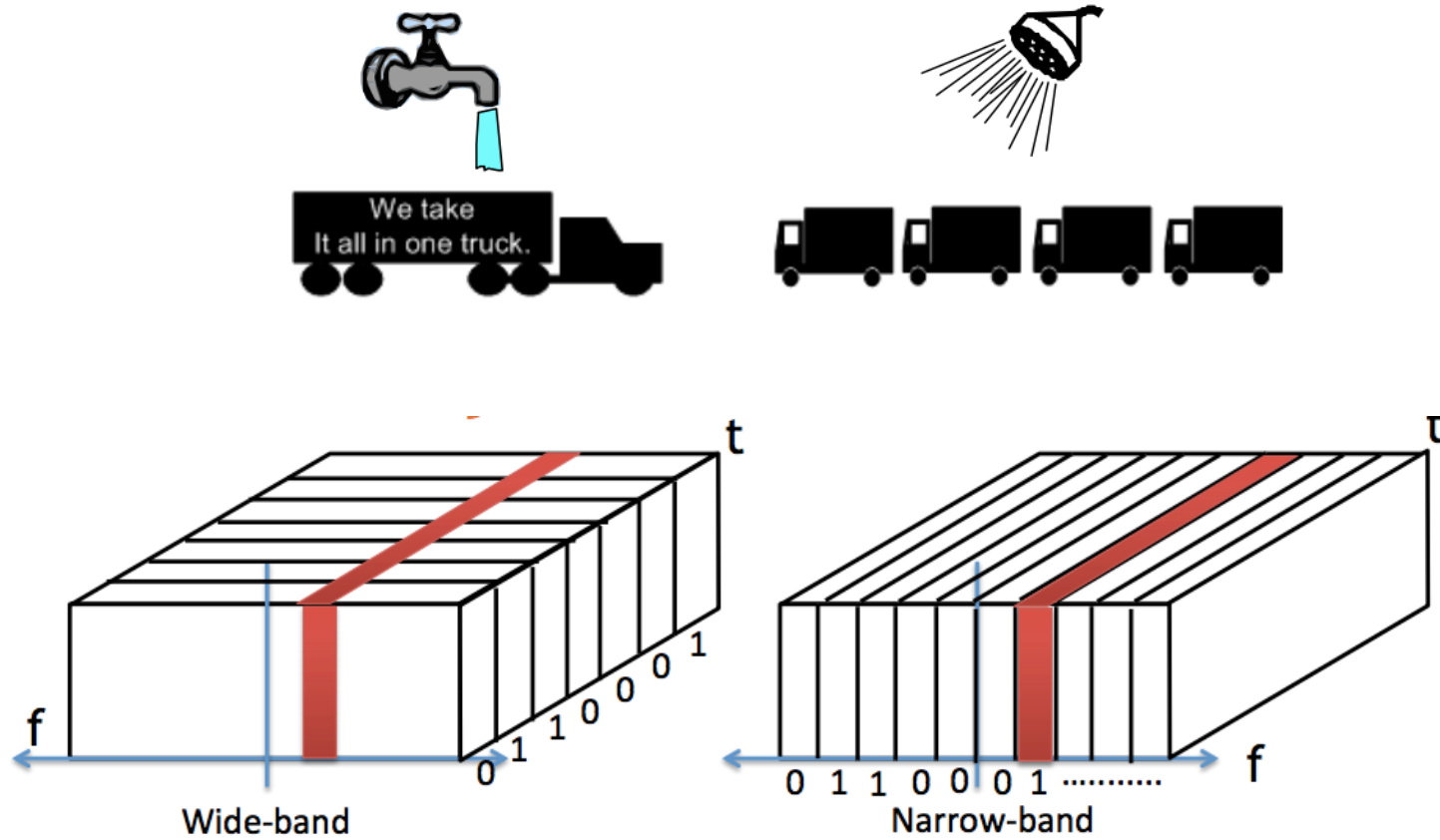
(Orthogonal Frequency Division Multiplex, OFDM)

- ❑ Çok taşıyıcı modülasyon tekniği olarak ta adlandırılır.
- ❑ Çoklu yol bozulmalarına karşı dayanıklılığı yüksektir. Kanal içi semboller arası girişimi engelleyen bir tekniktir.
- ❑ Anlık gürültü ve çoklu yol bozulmalarından kaçınarak izin verilen bant genişliğinin tamamını kullanır.
- ❑ İlk OFDM çok sayıda osilatör ile gerçekleştirilmekteydi. 1980 yılında Ruiz ve Pelet IFFT (Ters FFT) işlemi sonrasında OFDM sembolüne çevrimsel ön ek (cyclic prefix, CP) kullanımıyla semboller arası girişimi engellemiştir.
- ❑ Semboller arası boş süre ayrılması yerine sembolün bir çevrimsel ön ek alanı iletildiğinden enerji verimliliği düşük olsa da OFDM sistemin karmaşıklığını azaltmaktadır.



Günümüzdeki haberleşme sistemlerinde en çok tercih edilen altyapıdır.

Niçin OFDM?

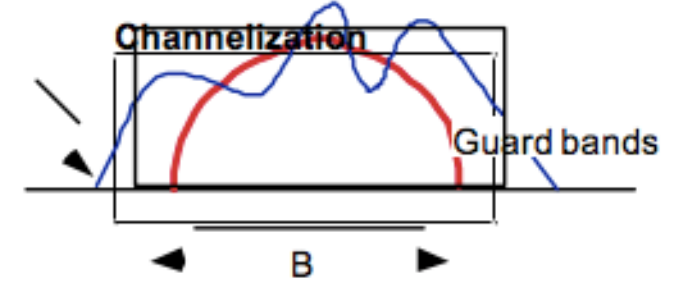


Tek Taşıyıcı ve Çok Taşıyıcı

(Monocarrier and Multicarrier)

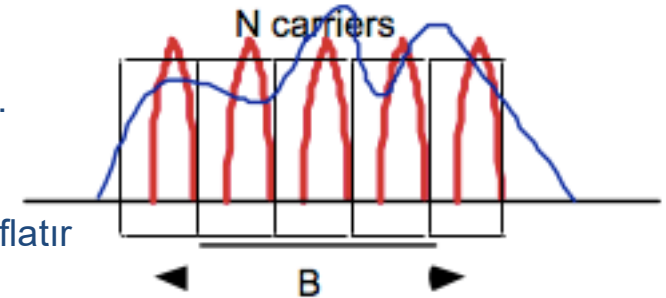
❑ Tek taşıyıcı

- ❑ Veri tek bir taşıyıcı ile iletilir.
- ❑ Darbe genişliği $\sim 1 / B$
- ❑ Koruma bandı ihtiyacından dolayı spektral verimlilik zayıf



❑ Çok taşıyıcı

- ❑ FDM'e benzer bir tekniktir.
- ❑ Veri birden fazla taşıyıcı arasında paylaşılır ve eşzamanlı iletilir.
- ❑ Darbe genişliği $\sim N / B$
- ❑ Alt taşıyıcılar arasında koruma bandı yine spektral verimliliği zayıflatır



Spektral verimliliği arttırmak için taşıyıcılar arasındaki koruma bantları elimine edilmelidir. Bu durumda da, taşıyıcı bantların üstüste binmesini (**overlapping**) engellemek için, **dikgen** (**orthogonal**) alt taşıyıcılar kullanılmalıdır.

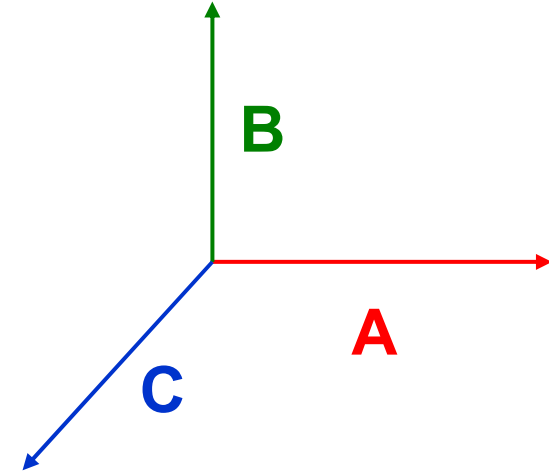


Dikgen Kavramı

(Orthogonal Principle)

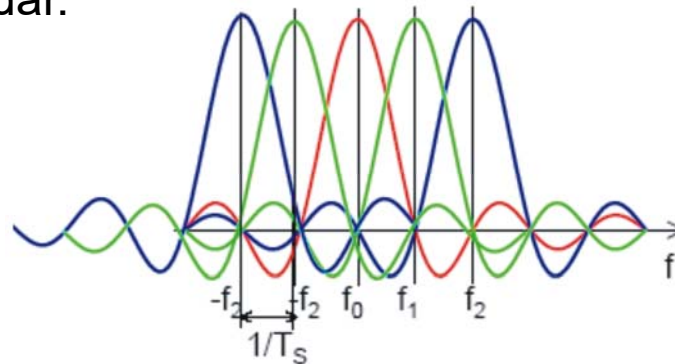
❑ **A**, **B** ve **C** vektörleri uzayda birbirlerine diktir.

❑ $A \cdot B = B \cdot C = C \cdot A = 0$

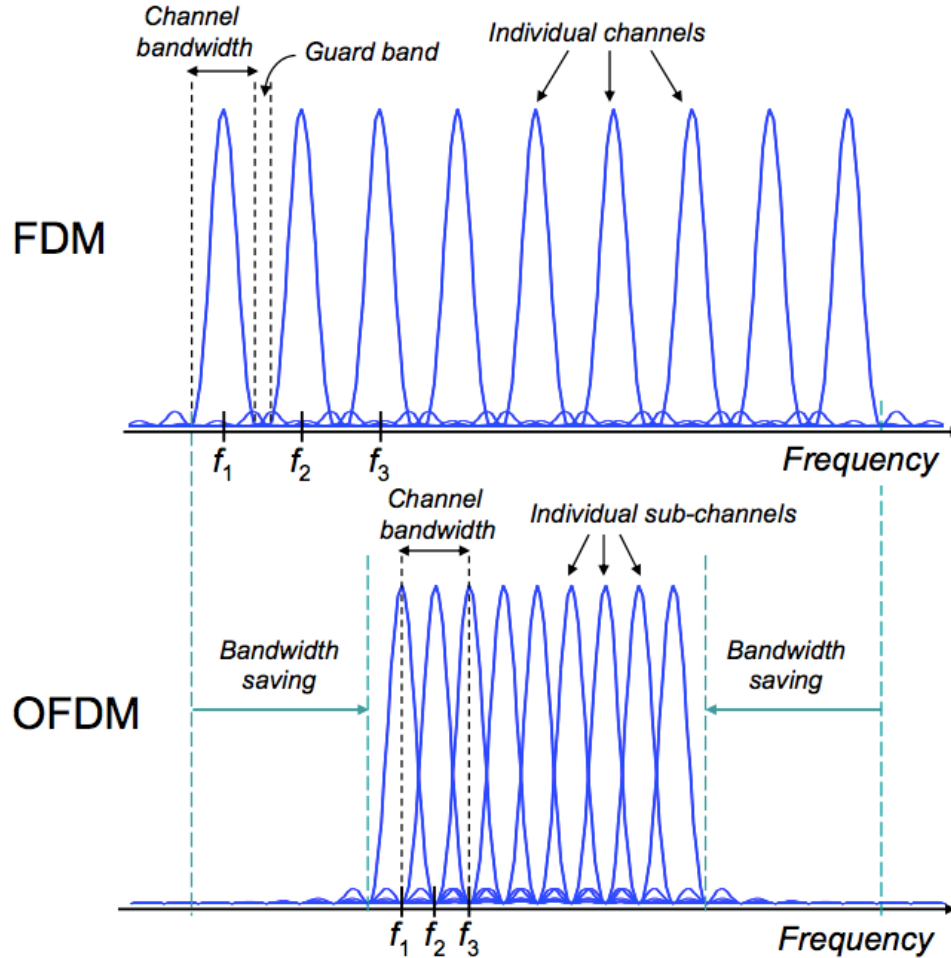


❑ Bir sinyalin peak yaptığı noktada diğer sinyalin başlaması. Sinyal denkleminin gösterimi

❑ $f(t) = A + B \sin(\omega t)$ şeklinde olduğundan Sinyallerin peak noktaları arasındaki açı $\pi/2$ kadar.



OFDM ile FDM arasındaki fark



❑ FDM'de, alt kanallar birbiri ile örtüşmez ve koruma bandına sahiptirler

❑ OFDM'de ise komşu kanallar arasında boşluk yoktur. Komşu kanallar birbirleri ile örtüşmektedir. Ancak, taşıyıcıların birbirine dik olması nedeniyle bu sorun oluşturmamaktadır.

❑ % 50'e kadar bant genişliği tasarrufu.



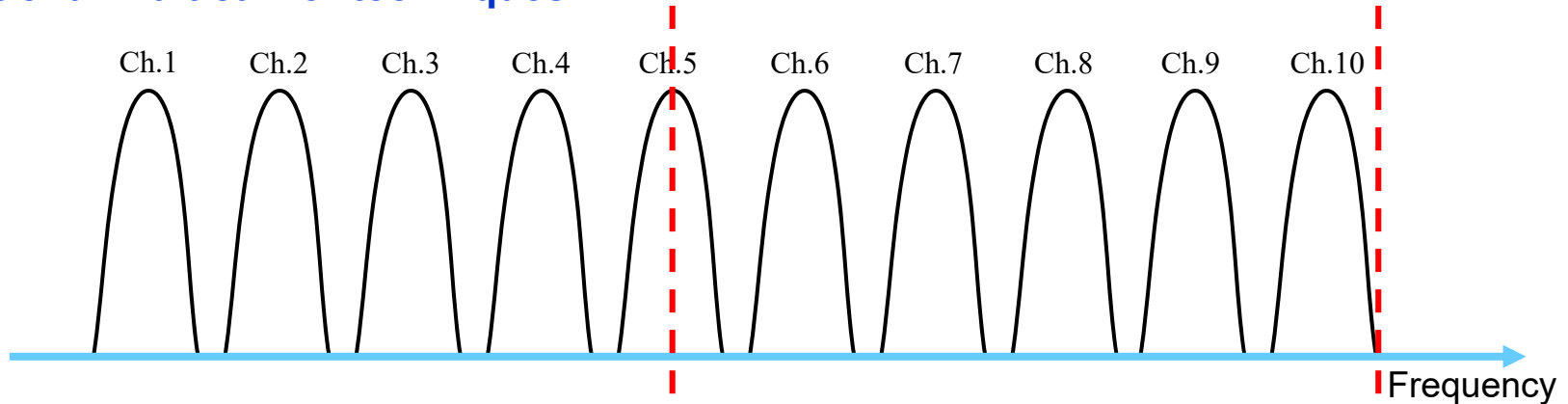
Alt taşıyıcılar, **dikgen (orthogonal)** olduğundan, bir alt taşıyıcının merkez frekansında diğer alt taşıyıcıların genlikleri sıfır olmaktadır.



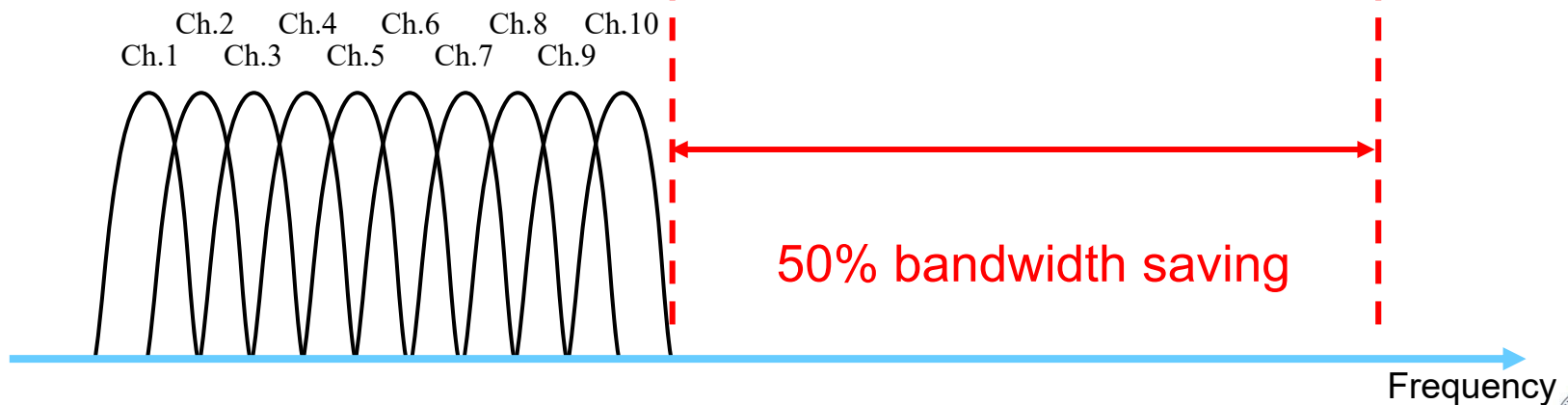
OFDM ile FDM Karşılaştırması

- ❑ % 50'e kadar bant genişliği tasarrufu.

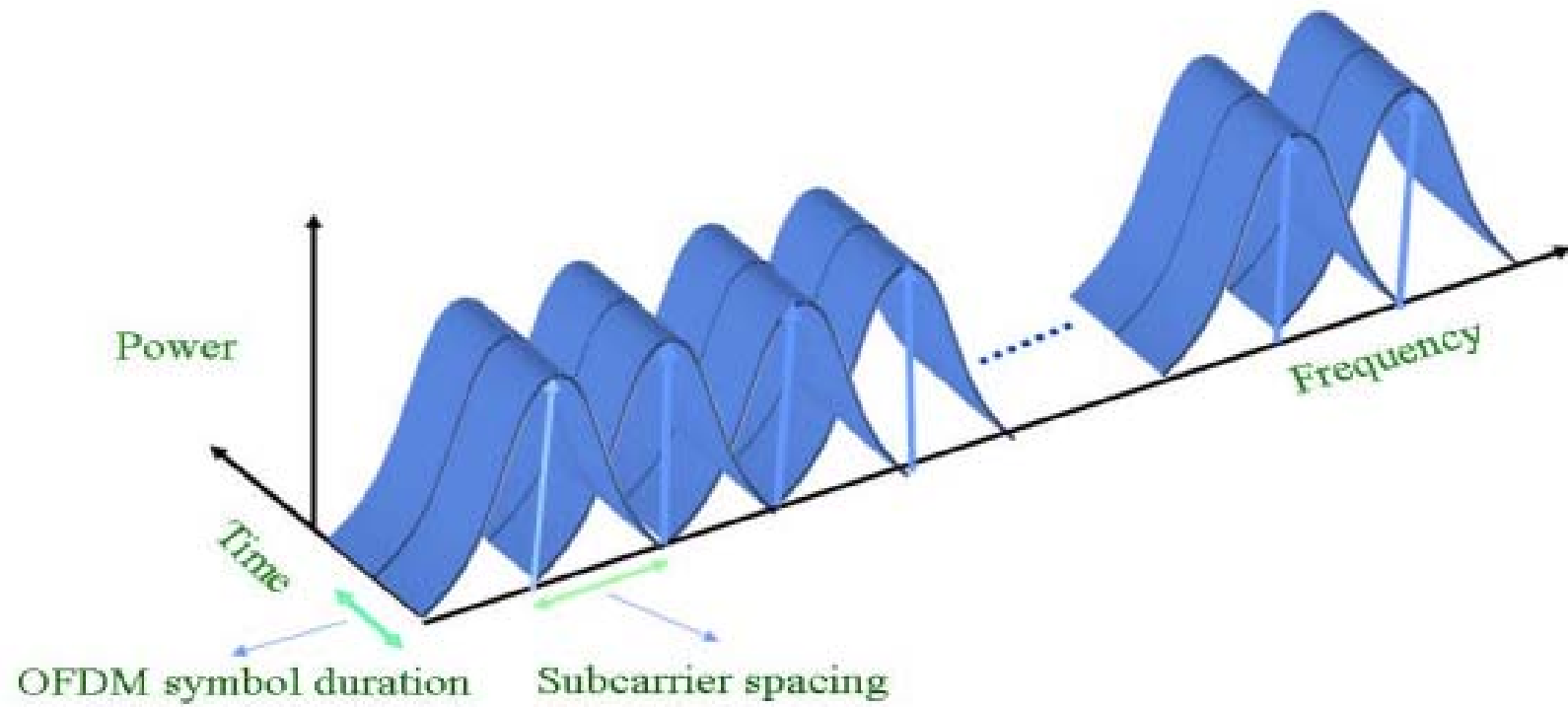
Conventional multicarrier techniques



Orthogonal multicarrier techniques



OFDM Sinyal



OFDM ile Sayısal Veri Transferi - Örnek

❑ İletilmek istenen bilgi,

➤ 1, 1, -1, -1, 1, 1, 1, -1, 1, -1, -1, -1, -1, 1, -1, -1, ...

❑ 4 alt taşıyıcılı olarak iletilmek istenmektedir (C1, C2, C3, C4),

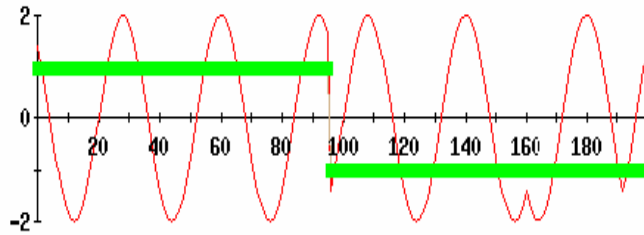
❑ Taşıyıcılara uygun olarak bilgi paralel bitlere dönüştürülür.

❑ Taşıyıcılara ait veriler (her sütun) BPSK ile modüle edilmektedir.

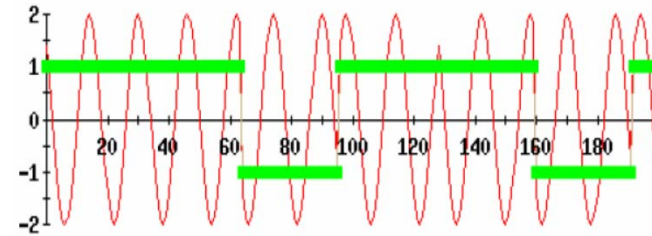
C1	C2	C3	C4
1	1	-1	-1
1	1	1	-1
1	-1	-1	-1
-1	1	-1	-1
-1	1	1	-1
-1	-1	1	1

OFDM ile Sayısal Veri Transferi - Örnek

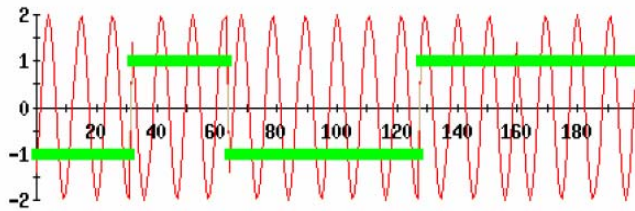
- Alt taşıyıcının taşıdığı veri BPSK ile modüle edilerek transfer edilmektedir.



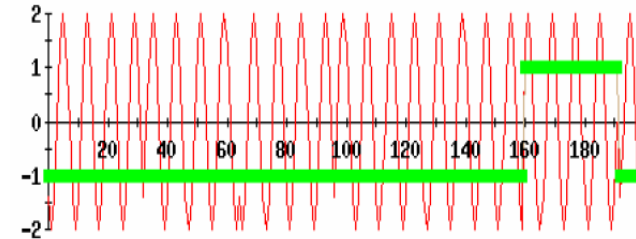
C1



C2



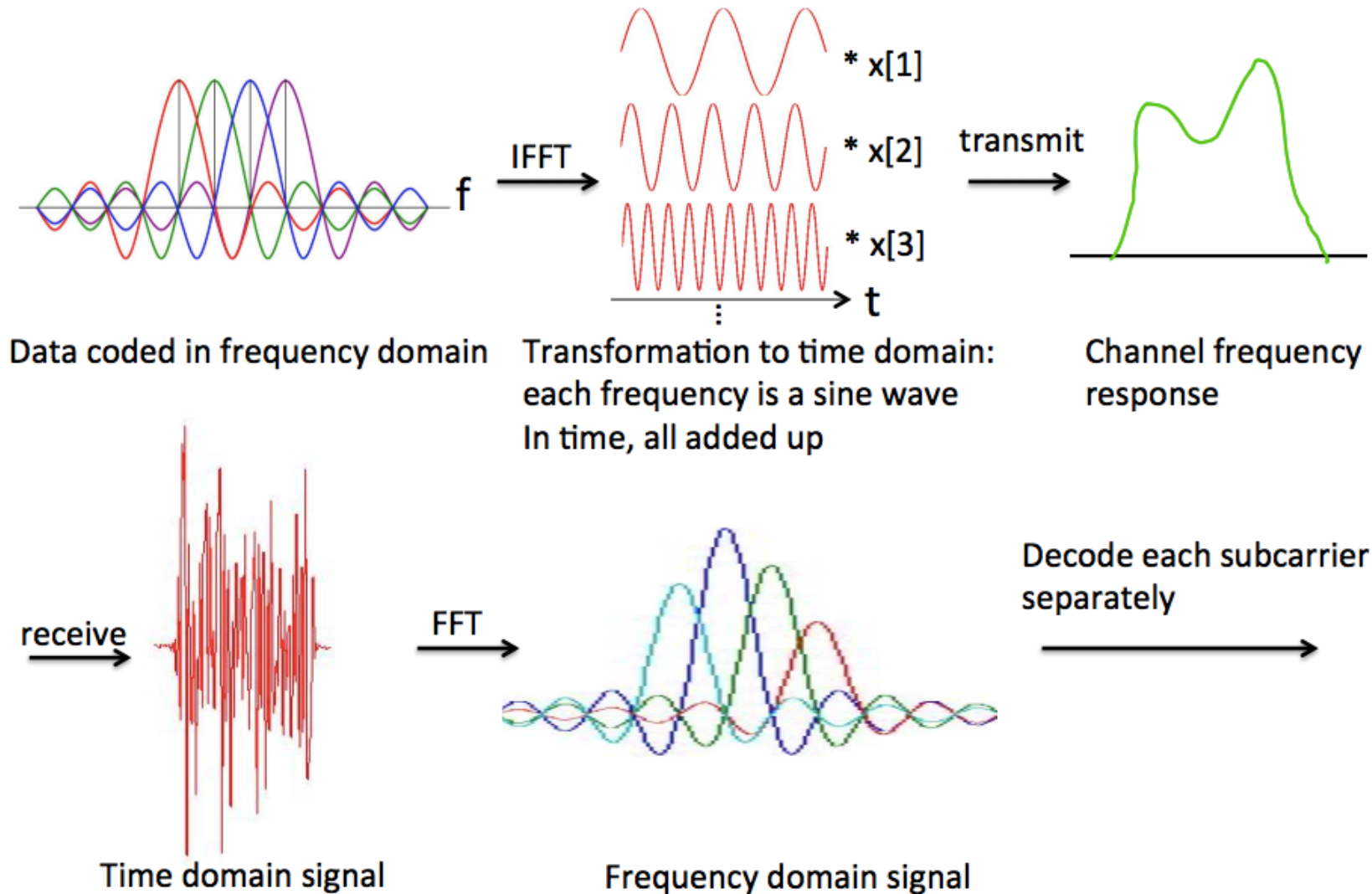
C3



C4

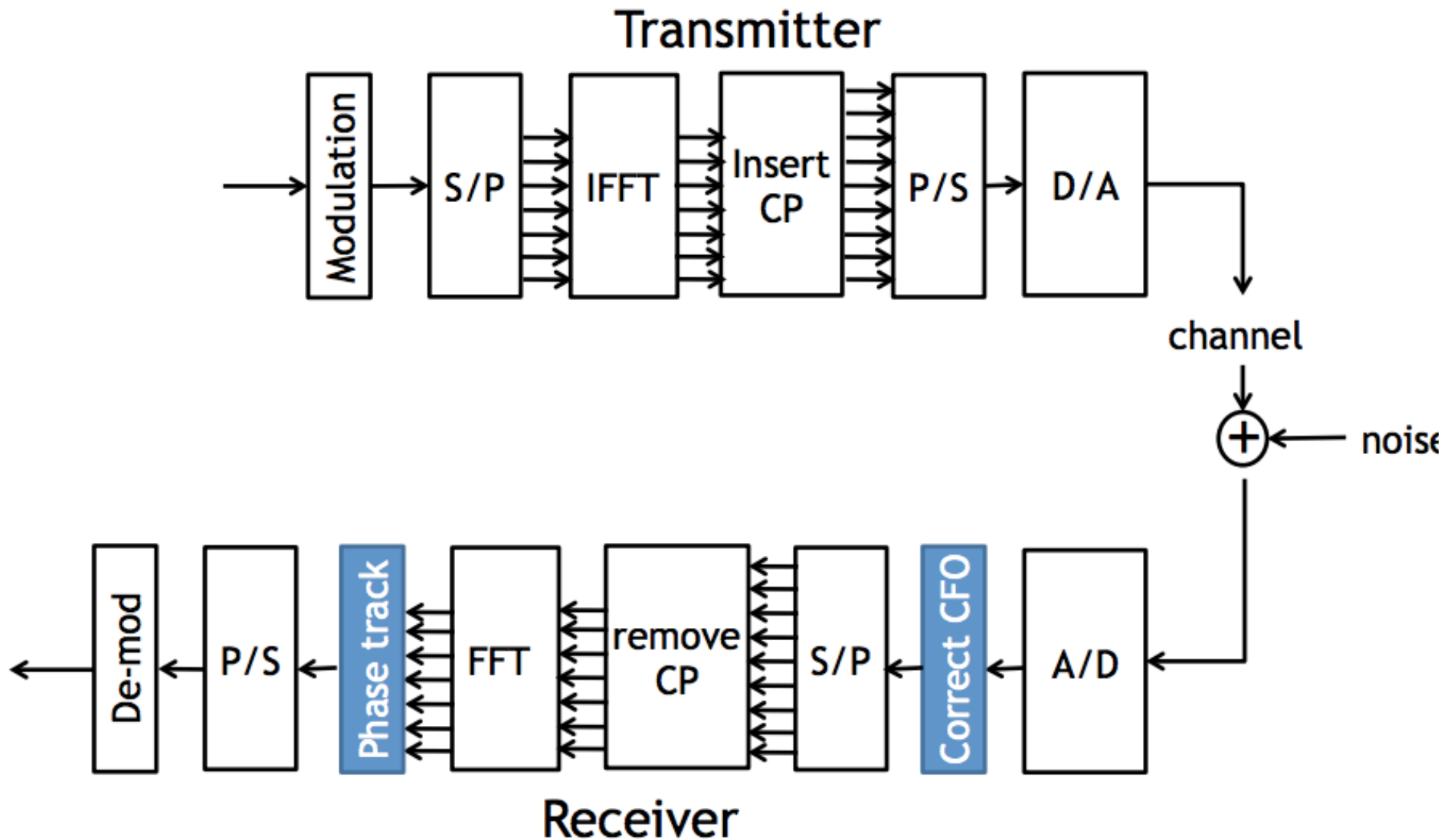
Dikgen Frekans Bölmeli Modülasyon

(Orthogonal Frequency Division Modulation, OFDM)



Dikgen Frekans Bölmeli Modülasyon

(Orthogonal Frequency Division Modulation, OFDM)

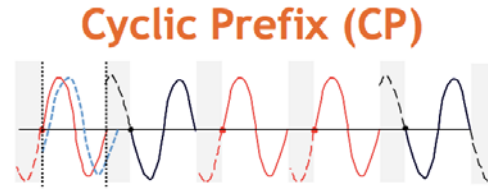


Dikgen Frekans Bölmeli Modülasyon

(Orthogonal Frequency Division Modulation, OFDM)

OFDM Verici

- ❑ OFDM blok diyagramında giriş verisi (1 ve 0 lardan oluşan sayısal veri) seçilen modülasyon tekniğinin (QAM), işaret-yıldız kümesine göre haritalanır. Ardından ters FFT (Inverse Fast Fourier Transform) için alt taşıyıcı kadar paralel veriye dönüşür.
- ❑ Ters FFT'den sonra semboller arası karışımı önlemek amacıyla çevrimsel ön ek (cyclic prefix, CP) eklenir ve tekrar seri veriye dönüştürülür. CP, paketin gecikmeden sonra tespit edilmesi durumunda bile çözülebilmesine izin verir.



- ❑ Sayısal/Analog Dönüştürücü (DAC) ile analog sürekli işaret elde edilerek sinyal kanala aktarılır.

OFDM Alıcı

- ❑ Kanaldan alınan veri Analog/Sayısal Dönüştürücü (ADC) yardımıyla tekrar sayısal veriye dönüştürülür. Ardından alt taşıyıcı kadar paralel veriye dönüştürülür.
- ❑ Her bir alt taşıyıcı için FFT işleminden önce vericide eklenen dairesel ön ekler alt taşıyıcılardan çıkarılır.
- ❑ FFT işlemi sonucu seriye dönüşen veri tekrardan paralele çevrilir. Ardından modülasyon işlemindeki haritalamaya göre demodülasyon işlemi gerçekleştirilip, iletilen sayısal veri elde edilir.

OFDM Kullanan Teknolojiler

Kablosuz Sistemler

- ☐ IEEE 802.11 a, g, n
- ☐ 3GPP – UMTS, 3GPP - LTE, 4G - LTE-A
- ☐ WiMAX (IEEE 802.16d, e)
- ☐ IEEE 802.15.3a Ultra Wide Band (UWB)
- ☐ Sayısal Televizyon, (DVB, Digital Video Broadcast)

Kablolu Sistemler

- ☐ Power Line Communication
- ☐ ADSL ve VDSL



OFDM Avantaj ve Dezavantajları

Avantajları

- ❑ Frekansı bandını efektif kullanan bir sistemdir.
- ❑ Bilgi alt taşıyıcılar ile dar bantta iletiildiğinden sönümlemelere karşı hata düzeltme algoritmaları ile dayanıklılığı yüksektir.
- ❑ Düşük sembol süreleri nedeniyle yavaş sönümlemeye uğrar. Böylece kanal kestiriminin başarımı artar.

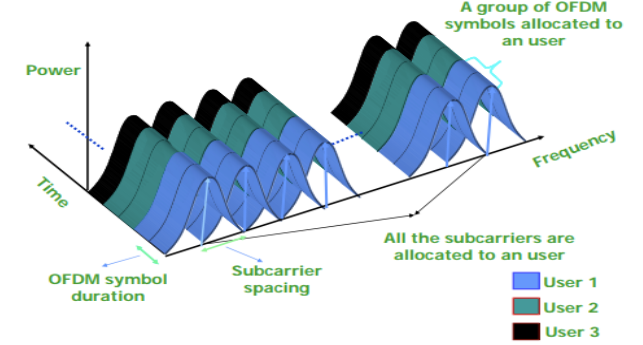
Dezavantajları

- ❑ Alıcı ve verici arasında hem frekans hem zaman senkronizasyonuna duyarlılık,

OFDM ile Birlikte Kullanılan Çoklu Erişim Teknikleri

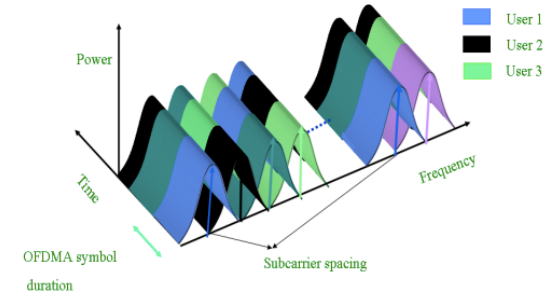
1 OFDM – Zaman Ayrımı

- OFDM – CSMA/CA (802.11 a/g)
- OFDM – TDMA (802.16d)



2 OFDMA – Hem Zaman Hem de Frekans Ayrımı

- OFDMA (802.16d, UWB)
- Scalable OFDMA (SOFDMA) (3G – LTE, 802.16e)
- Flash OFDM (FH-OFDMA)



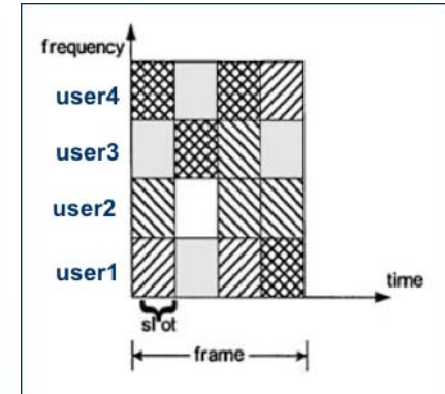
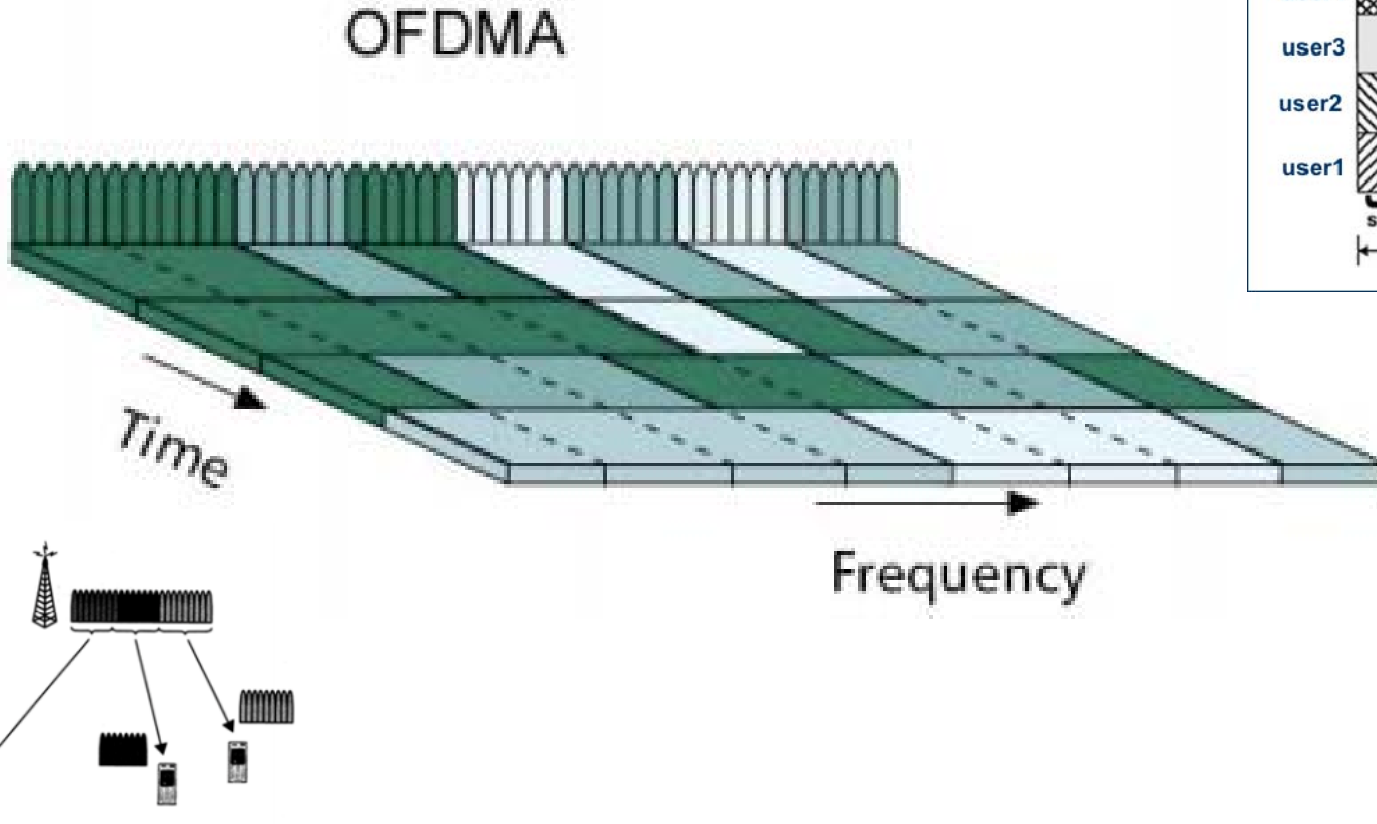
3 OFDM – Kod Ayrımı

- Multi Carrier Code Division Multiple Access (MC-CDMA)

Dikgen Frekans Bölmeli Çoklu Erişim

(Orthogonal Frequency Division Multiple Access, OFDMA)

- ❑ OFDM modülasyonun çok kullanıcı için optimize edilmiş versiyonudur.
- ❑ FDMA ve TDMA tekniklerinin birleşimi olarak düşünülebilir.



OFDMA Avantaj ve Dezavantajları

Avantajları

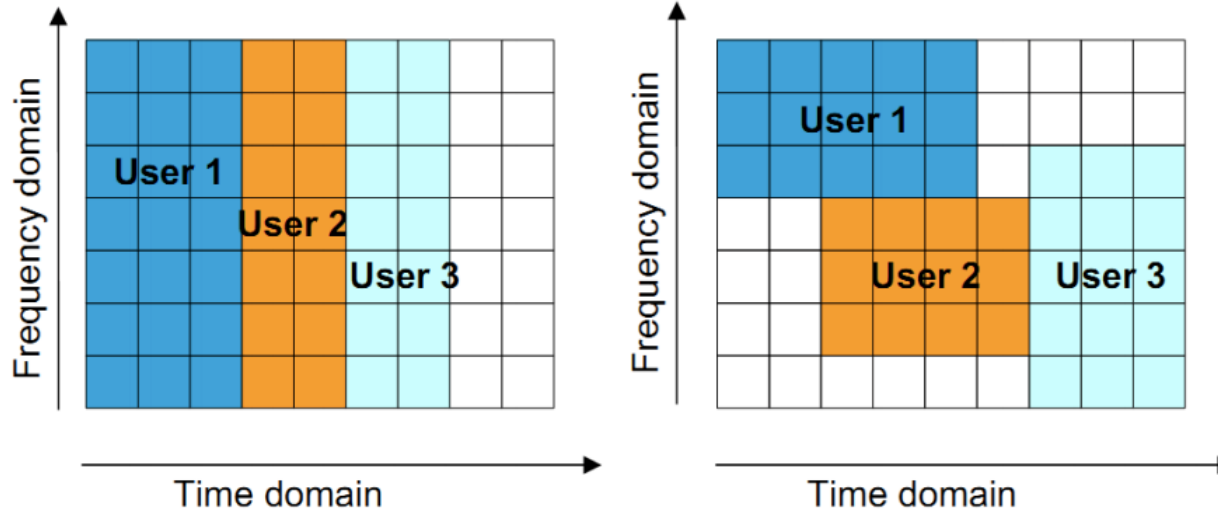
- ❑ Çok kullanıcılı Çeşitlilik (Multi-User Diversity)
 - Geniş spektrumun farklı parçaları üzerinden iletim için farklı kullanıcılara izin verir.
- ❑ Spektrumun verimli kullanımı
- ❑ Ölçeklenebilirlik,
- ❑ Alıcı basitliği
- ❑ BER başarımı sönmüleme ortamlarında daha iyidir.

Dezavantajları

- ❑ Daha büyük Peak to Average Power Ratio (PAPR) (Sinyalin genliğindeki değişimler)
- ❑ Senkronizasyon
- ❑ Eş-Kanal Girişim



OFDM ile OFDMA Karşılaştırması



- ❑ OFDM kullanıcıları zamanda tahsis ederken, OFDMA ise kullanıcıları hem zaman hem frekans domeninde tahsis eder.
- ❑ OFDM'de herhangi bir zamanda kanalda yalnızca bir kullanıcıya izin verir, OFDMA aynı kanal üzerinde birden fazla kullanıcıya izin verir.
- ❑ OFDM noktadan noktaya (Point-to-Point) sistemlerden kullanılır, OFDMA ise noktadan çok noktaya sabit ve mobil sistemlerde kullanılır.

Bilmemiz Gerekenler

- ☐ OFDM sistemin klasik FDM ile farkı nedir?
- ☐ OFDM kullanan güncel sistemlere örnekler veriniz?
- ☐ OFDM ile OFDMA arasındaki fark nedir?
- ☐ OFDM ile birlikte kullanılan çoklu erişim tekniklerini sayınız?



KAYNAKLAR

❖ Kaynaklar

- Srikanth S., Kumaran V., Manikand C., “Orthogonal Frequency Division Multiple Access: Is it Multiple Access System of the Future?”
- L. Özkan, “OFDMA Sistemlerinde Alternatif Modülasyon Teknikleri”, Yıldız Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 2009.
- A. T. Aktürk, “OFDM Tabanlı Temel Bant WiMAX Fiziksel Katman Vericinin FPGA Üzerinde Gerçeklenmesi” , İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 2014.
- P. H. Lehne, F. Bohagen “OFDM(A) for wireless communication”, R&I Research Report, 2008.