



İbrahim CÜCİOĞLU
Elektronik Yüksek Mühendisi
Samanyolu TV Vericiler Müdürü

DVB-T

Bu yazıda; Avrupada birçok ülkede deneme yayınlarının ardından safha safha uygulamaya geçilen ve ülkemizde de 2006 yılı başından itibaren İstanbul ve Ankara da deneme yayınlarına başlanan ve akabinde uygulamaya konulacak olan DVB-T (Digital Video Broadcasting – Terrestrial / Sayısal Karasal Yayıncılık)'nin ne olduğu, teknik parametreleri, modülasyon teknikleri ve RTÜK'ün hangi parametreleri seçtiği ile ilgili bilgiler verilecektir.

1.DVB-T NEDİR?

Karasal Sayısal Yayıncılık olan DVB-T; mevcut vericilerden analog olarak yapılan televizyon yayınlarının sayısal (dijital) olarak yapılmasıdır

➤ DVB-T Neler Getirecek.

1.Sayısal yayın yapılacağından, analog yayınlarda olan karlama, parazitlenme gibi bozuk görüntüler olmayacak, net bir dijital yayın seyredilecektir.

2. i) Çatı antenine bağımlılık kalkacak,bina veya bahçe içinde televizyon üstü antenle istenilen yerde televizyon yayını seyredilebilecek(**Portatif** yayın alışı).

ii) Araçla seyahat ederken rahatlıkla televizyon yayını seyredilebilecek (**Mobil** / hareketli yayın alışı)

3. Analog yayınlardan bildiğimiz bina, duvar, araç vs'ye çarparak gelen ve ana yayın üzerinde gölgelenmelere sebep olan yansıma ortadan kalkacak hatta bu yansıma seyrettiğimiz yayını kuvvetlendirici etki yapacak, yayın yine dijital görüntü kalitesinde olacak.

4. 16:9 formatında ve HDTV formatında yayın yapılabilir/seyredilebilecek.

5.Herbiri CD kalitesinde farklı ses kanalları dinlenebilecek

6. Aynı anda farklı lisanlarda program sunma imkanı olacak.Yani bir program farklı lisanlarda seslendirme ile seyredilebilecek.

7. EPG (Electronic Programme Guide) Elektronik Program Rehberi özelliği ile videoclip, resimler, çok hacimli metin indirme gibi özellikleri de bulunduran gelişmiş teletext imkanı olacak.

8. İnteraktif TV ve internet erişimi olacak.Bu hizmet üç kategoride ifade edilebilir

- i) İzleyicilerin bilgileri receiverda kaydedip depolayarak daha sonra kullanmasına imkan verecek.
- ii) Elektronik ticaret ve alışveriş (e-ticaret ve shopping) yapmaya imkan vermesi,
- iii) Pay tv yada pay per view gibi ücret karşılığı program seyretme (film,belgesel paralı kanalları..)’ye yani kredi kartınız yada banka hesabınız ile ücretini ödeyebileceğiniz şifreli bir kanalın programının seyretmeye imkan verecek.

9. Bir analog TV kanalından program içeriğine göre 4-6 arası dijital TV yayını yapılabilir.

10. SFN (Single Frequency Network) uygulama tipi seçilirse 1'den fazla emisyon (yayın) noktası kullanılan yerleşim bölgelerinde, bir yayıncı frekans spektrumunda sadece 1 kanal(frekans) kullanarak yayını seyirciye ulaştırabilecek.Bu husus İstanbul, Ankara ve İzmir gibi birden fazla emisyon noktası (verici/kanal) kullanımının olduğu yerlerde frekans karmaşasını önleyecek ve sınırlı bir kamu kaynağı olan frekans spektrumunun daha verimli kullanılmasını sağlayacaktır.

11. Yayıncılar açısından bakıldığında ise;

- i) Analog vericilere göre daha düşük güçte verici kullanılacağından dolayı verici ve enerji maliyetlerinin,
- ii) Bir vericiden en az 4 TV yayını yapılabileceğinden dolayı verici,anten sistemi, bina, kule masrafları düşeceğinden toplam işletme giderlerinin,
- iii) (i) ve (ii) deki sebeplerden dolayı ülke genelinde havaya yapılan toplam Elektromanyetik Alan Şiddetinin

azalmasını sağlayacaktır.

14.Ülkemizde maalesef plansız başlayan özel analog TV yayınlarının aksine planlı bir sayısal karasal yayıncılığın başlamasına vesile olacaktır.

15.Datacasting denilen veri iletişim hizmetlerini sunulabilecek.

➤ Nasıl Seyredilebilecek?

Şu an İstanbul UHF 23. kanaldan, Ankara UHF 31. kanaldan devam etmekte olan , TRT ve Özel Televizyon Yayıncılarının ortaklaşa yaptığı deneme DVB-T yayını ve sonraki yayınlar, üzerinde DVB-T uyumlu girişi olmayan televizyonlardan bir set top box (TV üstü alıcısı) ile seyredilebilir.

Televizyon üreticileri artık yeni televizyonları ek bir cihaza gerek kalmadan DVB-T yayınlarını seyredecek şekilde üretmektedirler.

2. DVB-T'DE KULLANILAN MODÜLASYON TEKNİKLERİ VE PARAMETRELERİ:

DVB-T nin en önemli özelliği COFDM modülasyon kullanmasıdır.

DVB-T'de COFDM kullanılması ;

1. Portatif ve mobil alışı imkan verir.
2. Çevre yükseltilere çarparak gelen sinyaller(yansımalar) bozucu değil kuvvetlendirici etki yaparlar.
3. Aynı kanaldan gelen dar bant enterferanslardan etkilenmemeyi sağlar

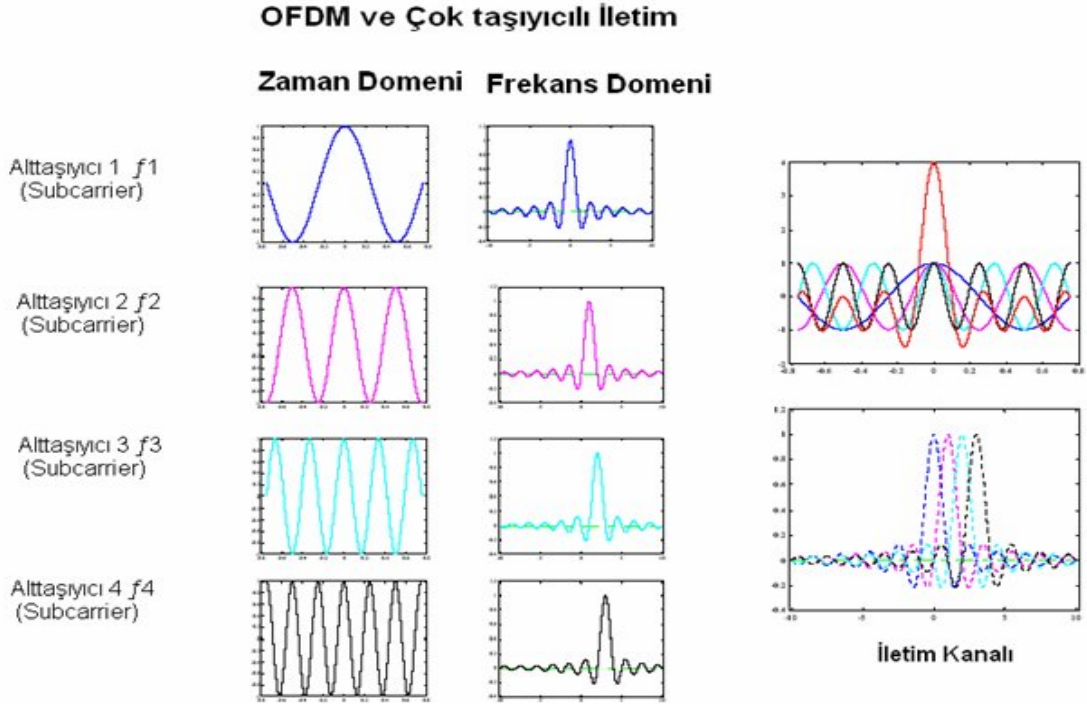
2.1. COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing) : C O F D M

Gönderilecek bilginin birçok taşıyıcının bulunduğu bir küme içinden birbirine ortogonal (dik) seçilen alt taşıyıcılarla (sub-carrier) kodlanarak gönderilmesi ve burada iletim bandı içinde Frekans Bölmeli Çoğullama(FDM/Frequency Division Multiplexing) yapılması esasına dayalı modülasyon tekniğidir.

2.1.1. FDM (Frequency Division Multiplexing) : Frekans Bölmeli Çoğullama

Veri, bant içindeki birçok alt taşıyıcılara paylaştırılarak gönderilir. Burada arzu edilen; bir iletim kanalının frekans cevabının tüm kanal içinde düzgün (tüm alt taşıyıcılar için aynı) olmadığından dolayı iletim sırasında zayıflayabilecek yada hatalı iletilecek kısmın, verinin tümünü etkilemesinin önüne geçmek ve zaten kodlanmış olarak gönderilen verinin alışı tarafında en az hata ile yeniden oluşturulmasını sağlamaktır (Şekil 1)

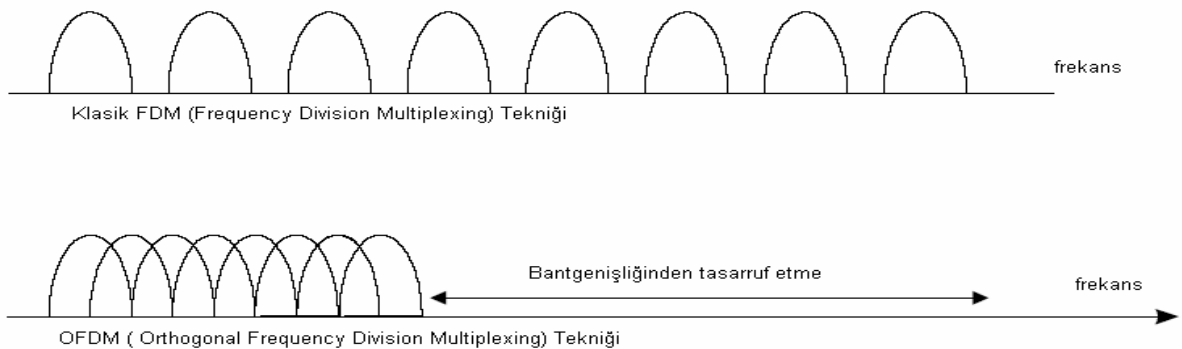
Veri birden fazla taşıyıcıya bölündüğünden dolayı taşıyıcı başına az bir bilgi düşmekte ve bu da semboller arası enterferansı (ISI: Inter symbol interference) azaltmaktadır.



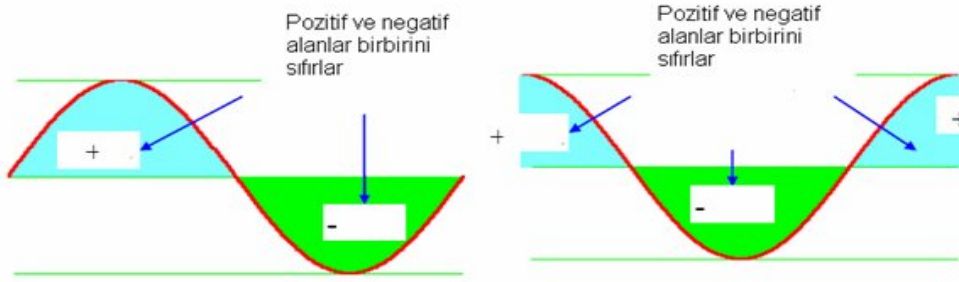
2.2.2. Orthogonality (Ortogonalite: Alt taşıyıcıların birbirine dikliği)

COFDM'de taşıyıcılar arası enterferans (ICI: Inter carrier interference) dan korunabilmek için taşıyıcıların ortogonal olması lazım. Yani COFDM'de bir çok taşıyıcı kullanıldığından dolayı taşıyıcıların birbirini etkileyecek harmoniklerinin sıfır olabilmesi için ortogonalitenin sağlanması lazım. Bu da taşıyıcılar arasının, sembol süresinin tersine eşit olması ile sağlanabilir.

Klasik FDM'de taşıyıcılar birbirinden uzakta ve alışı tarafında farklı filtreler ve demodülatörler kullanılarak demodüle edilebilecek şekilde yerleştirilebilir. Ancak OFDM'de alt taşıyıcılar birbirini enterfere etmeyecek şekilde ortogonalite özelliği kullanılarak yaklaştırılabilir kadar yaklaştırılır ve böylece yüksek bir spektrum verimliliği sağlanır (Şekil 2). Bu da alışı tarafında yüzlerde demodülatör ve filtre kullanmaktan kurtarır.



COFDM'in en önemli özelliklerinden biri olan taşıyıcıların ortogonalliğini biraz daha açalım. Her taşıyıcı sinüs yada kosinüs dalgalarından oluştuğundan 1 periyottaki + ve - alanlar (integraleri) birbirini sıfırlar (Şekil 3).



Şekil 3.

P frekanslı bir sinüs dalgayı r frekanslı bir başka sinüs yada kosinüs dalga ile çarptığımızda (p,r tamsayı), oluşan ürünle ilgili integral yada çarpım alanı $f(t) = \sin p\omega t * \sin r\omega t$ şeklinde verilir.

$\sin a \cdot \sin b = -\frac{1}{2}[\cos(a+b) - \cos(a-b)]$ ters dönüşüm formülünde yerine konursa,

$\frac{1}{2}[\cos(p-r) - \cos(p+r)]$ bulunur. Zaten bunlar sinüzoidal dalga olduklarından 1 periyot boyunca sifira eşit olacak alanlarını bulmak için integral alındığında ,

$$\frac{1}{2} \int_0^{2\pi} \cos(p-r)\omega t dt - \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} \cos(p+r)\omega t dt = 0 \text{ bulunur.}$$

Burada tüm p ve r tamsayıları için $\sin px$, $\cos px$, $\cos rx$ ve $\sin rx$ birbirine ortogonaldir ve bu frekanslar harmonik frekanslardır.

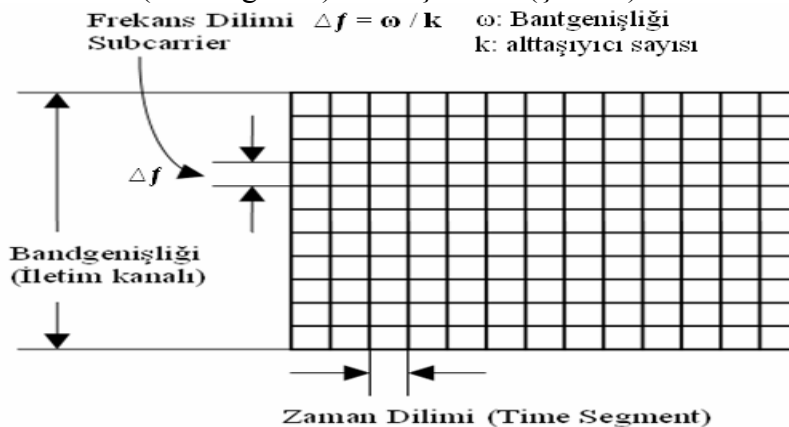
2.1.2. CODING : (Forward Error Correction)

Gönderilen bilginin en az kayıpla yeniden oluşturulmasını sağlamak için yapılan kodlama ileriki bölümde daha geniş anlatılacaktır

2.2. DVB-T SİNYALİNİN OLUŞTURULMASI

2.2.1. Alt Taşıyıcıların (Sub carrier) Oluşturulması

DVB-T'de kullanılacak kanal bantgenişliği (frekans domeninde) birden çok fazla alt taşıyıcıya (subcarrier) bölünür. Bununla birlikte zaman domeninde de bölüm işlemi yaparak zaman dilimleri (time segment) de oluşturulur (Şekil 4) .

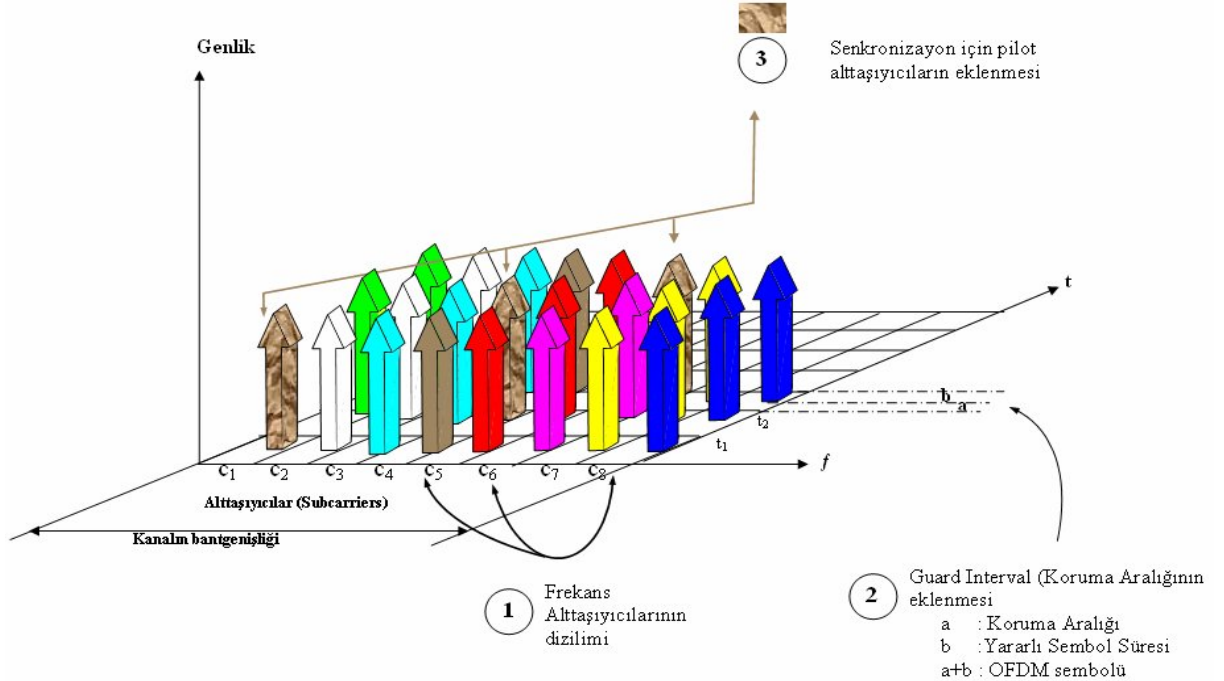


Şekil 4.

İki ayrı taşıyıcı modeli vardır. 2k (1705 alttaşıyıcı) ve 8k (6817 alttaşıyıcı). RTÜK 8k'yı belirlemiştir.

2.2.2. OFDM Sembollerin Oluşturulması

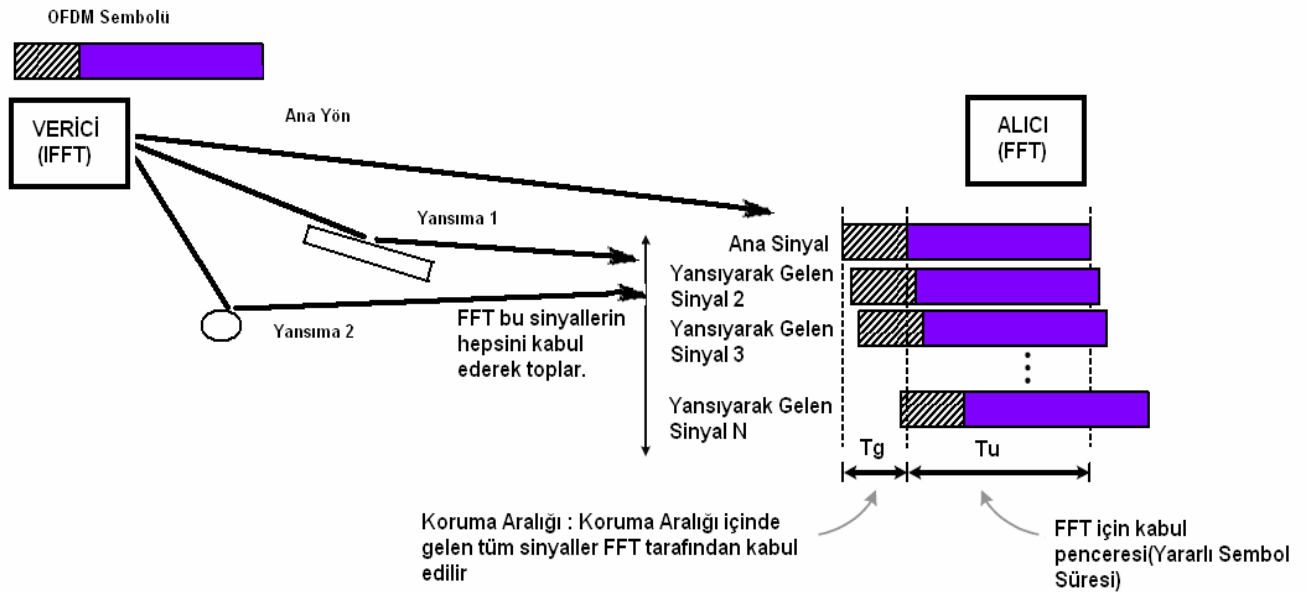
Daha sonra alt taşıyıcılar, zaman ve frekans dilimlerine ayrılan iletim kanalına ortogonalitesi sağlayacak şekilde yani alttaşıyıcılar arası sembol süresinin tersine eşit olacak şekilde dizilirler (Şekil 5). Sembol süresi = $1 / \Delta f$.



Şekil 5.

2.2.3. Koruma Aralığı (Guard Interval – GI)'nin Eklenmesi

Çeşitli yüzeylere çarparak gelen yansımaların sembolü etkilememesi için her sembolden önce koruma aralığı denen bir boşluk eklenir.



Şekil 6. Koruma aralığı

Koruma aralığının iki önemli özelliği vardır. Birincisi semboller arası enterferansı (ISI)'yı engeller. İkincisi ise yansıyan yönlerden gelen sinyallerin eğer gecikmeleri koruma aralığından küçükse, FFT (Fast Fourier Transform) fazları aynı olan bu sinyalleri ana yön sinyali ile

toplayarak sinyale kuvvetlendirici etki yapmasını sağlar ve bu aralıkta taşıyıcılar arası enterferansa(ICI:Inter carrier interference) müsaade etmez. (Şekil 5 ve 6).

RTÜK **koruma aralığını** sembol süresinin **1/8**'i olarak seçmiştir.

2.2.4. Senkronizasyon : Senkronizasyon Pilot Taşıyıcılarının Yerleştirilmesi

Sinyalin doğru demodüle edilebilmesi için yani OFDM sembolünün koruma aralığından sonraki yararlı sembol süresinin nerede başladığını bildirmek için senkronizasyonu sağlamak amacıyla pilot taşıyıcılar kanalın içine düzgünce dağıtılır (Şekil 5). Aynı zamanda bu işlevi ile ICI ve ISI'dan korumaya yardımcı olur.

2.2.5. Hata Kodlama (Error Coding)

Her tür sayısal haberleşme sisteminde hata kodlama (**FEC:Forward Error Correction**) yapmak gerekir.FDM yapılan iletim kanalının (selective channels) frekans cevabı her alt taşıyıcı için aynı olmadığından dolayı hata kodlama gerekir.Burada amaç, olabilecek düşük **SNR** (Signal to Noise Ratio / Sinyal Gürültü Oranı) için alış tarafında kabul edilebilir bir **BER** (Bit Error Ratio/Bit Hata Oranı) değeri sağlamaktır.Yani alış tarafına, iletim sırasında gönderilen veride oluşabilecek hatalı bit sayısını en aza indirerek ulaştırmak için kodlama yapmaktır.

Kodlama modeli olarak alış tarafında Viterbi decoder'e ihtiyaç duyulan **konvolüsyonel kodlama (FEC : 1/2,2/3,3/4,5/6,7/8)**, yine alış tarafında geniş bir interleaver'e ihtiyaç duyulan **block kodlama (Reed Solomon)**, yada **turbo kodlama** gibi modeller vardır.Genelde FEC' ile birlikte outer coder olarak da Reed Solomon kullanılır.

FEC 3 ayrı parametre ile ifade edilir.**k**'nın kodlamaya giren bit sayısını, **n**'nin çıkan bit sayısını, **m**'nin de hafıza registerlerini ifade ettiği durumda **k/n** kodlama oranını gösterir. Yani iletilen bit sayısından kaçının gerçek data olduğunu ifade eder.RTÜK, **FEC** değeri olarak **2/3**'ü seçmiştir.

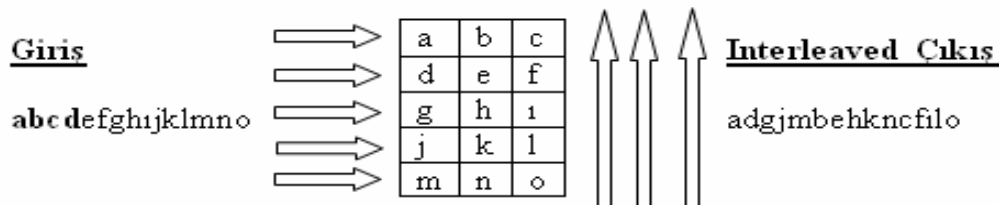
2.2.6 Interleaving (Frequency Interleaving)

RF kanallarının içinde frekansa bağlı çöküntüler olduğundan, OFDM alttaşıyıcıları genellikle farklı genliklere sahip olurlar. Eğer bir de RF kanalı içindeki çöküntüler derin ise bu da iletilen bilginin hatalı olarak gönderilmesine sebep olacaktır.

Bunun için bitişik bitleri birbirinden ayırarak kanal içindeki çöküntülerden dolayı bilgi demetinin tümünün bozulmasını engellemek ve bilgiyi alış tarafında en az hata ile oluşturmak için interleaving denilen işlem yapılır.

Kısaca, iletilecek bilgiyi bir matrikse satır satır yazıp sütun sütun okuyarak yeni bir bilgi demeti oluşturmaktır(Şekil).Burada aynı veriye ait bitişik bitler birbirinden ayrılmakta, iletim sırasında herhangi bir bozulma olsa da alış tarafında deinterleaving yapıldığında aynı bilgiye ait bitlerin önemli kısmı başka frekans diliminden bozulmayarak geldiğinden ana bilgi aynen tekrar oluşturulabilmektedir.

DVB-T de frequency interleaving yapılıp, time interleaving yapılmamaktadır.(T-DAB da yapılmaktadır.



Şekil 7. Interleaving

2.2.7. Modülasyon

Mapping yada constellation adı da verilen modülasyon, verinin her bir bağımsız OFDM alttaşıyıcısına QPSK, QAM, 16 QAM yada 64 QAM modülasyon tekniklerinden biri kullanılarak yüklenmesidir.

QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) : Bilgi sinyali ile modüle edilen taşıyıcının sadece fazı değişir ve giriş sinyaline göre 4 farklı faz değeri alır. $2^2 = 4$ durum vardır. Her sinyalle **2** bit iletilir.

QAM (Quadrature Amplitude Modulation) : Bilgi sinyali ile modüle edilen taşıyıcının hem fazı hem genliği değişir. $2^2 = 4$ durum vardır. Her sinyalle **2** bit iletilir.

16 QAM : Bilgi sinyali ile modüle edilen taşıyıcının hem fazı hem genliği değişir $2^4 = 16$ durum vardır (Ör: **0000** : 0,311 V / -135^0 , **1111** : 1,161V / 45^0 gibi). Her sinyalle **4** bit iletilir.

64 QAM : Bilgi sinyali ile modüle edilen taşıyıcının hem fazı hem genliği değişir $2^6 = 64$ durum vardır. Her sinyalle **6** bit iletilir.

RTÜK **64QAM**'i seçmiştir.

➤ **Hiyerarşik Modülasyon (Hierarchic Modulation)**

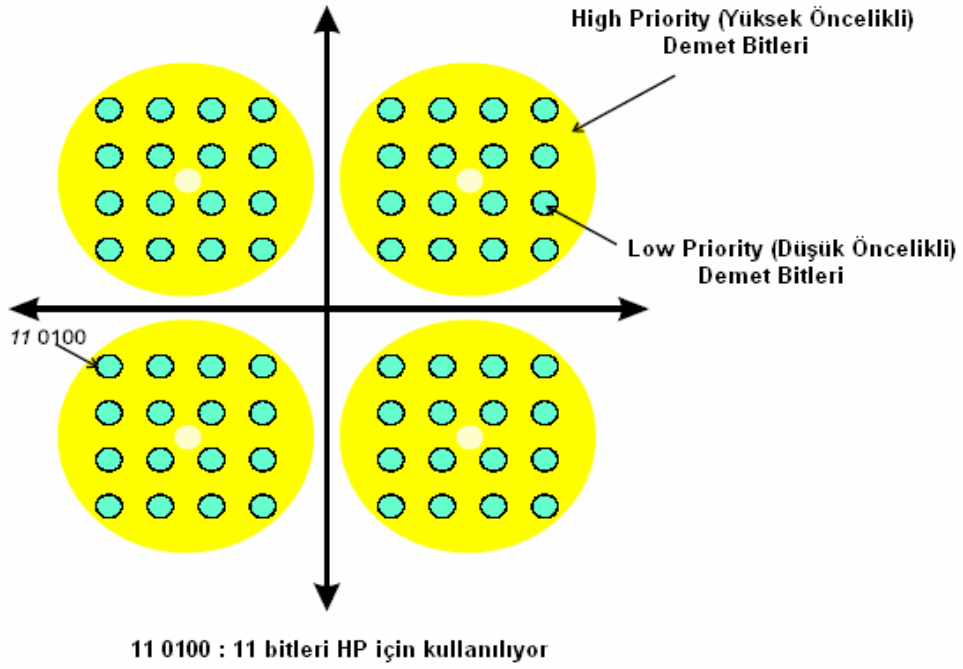
Bu modda DVB-T sinyali iki ayrı data demeti (stream) olarak modüle edilir. Birinci demet **HP** (High Priority/Yüksek Öncelikli) olarak yani en önemli bitlerle (msb: most significant bits) yüksek koruma oranı ile kodlanır. İkinci demet ise **LP** (Low Priority/Düşük Öncelikli) olarak az önemli bitlerle (lsb: least significant bits) kodlanır.

Alıcı iyi alış şartlarına sahipse her iki demeti (yayını) de alır. Eğer alıcı kötü alış şartlarına haizse HP demetini (yayını) alır LP'yi alamaz. Bu mod seçilirse ana yayına ayrılan net bant genişliği düşer çünkü mevcut yayına bir de ek yapılmıştır.

Bir örnek verecek olursak; eğer DVB-T yayını 64 QAM'le modüle edildiğinde hiyerarşik sistem uygulanırsa burada QPSK modülasyonlu bir demet 64QAM demetinin içine sokulur ve HP demeti QPSK ile LP demeti ise 16 QAM ile modüle edilir. DVB-T sinyali hiyerarşik olmayan modda 64 QAM'le modüle edildiğinde her sembol (2^6) 6 bitlik bilgi gönderirken, hiyerarşik modda ilk 2 bit HP'ye ayrıldığından ana yayında her sembol ancak 2 bit ifade edebilecektir. Burada ana yayına ayrılan net bit hızının ne kadar düştüğünü görülmektedir.

HP ile iletilen yayın, şehiriçi ve kırsal da mobil ve portatif olarak alınabiliyorken, LP ile iletilen yayın vericiye yakın yerlerde ve şehir içinde mobil ve portatif, vericiden uzaklaştıkça ve kırsal alanlarda sabit antenle alınabilir.

LP ile iletilen yayının C/N'si HP'li yayına göre daha hızlı azalır. RTÜK **Hiyerarşik olmayan modu** seçmiştir.



Şekil 8. 64 QAM modülasyonlu hiyerarşik yapı
 HP: QPSK
 LP: 16 QAM

3. DEĞERLENDİRME

DVB-T mobil ve portatif alışı, spektrumun verimli kullanılmasına, yansımaların ana yayını bozmasının önüne geçmesi yönüyle çok önemli bir teknoloji. Bununla birlikte DVB-T parametrelerinde koruma aralığı, pilot senkron taşıyıcılar, FEC, modülasyon (QPSK, 16QAM, 64 QAM..) tipi seçiminde hep net bit hızı ile taşınan bilginin dış etkenlere karşı sağlamlığı arasında bir denge var. Birinden kazanç diğerinden tavizi beraberinde getirmekte.

Yazıda ayrıntılı bahsettiğimiz hususlar dışında DVB-T'nin en önemli özelliklerinden biri de 1.bölüm 10.madde de yazılan SFN(Single Frequency Network)'dir. Özellikle İstanbul, Ankara ve İzmir'de uygulanacak olan SFN tekniği ise bir başka yazının konusu olacak.