
Sayısal Karasal TV Yayını

Prof. Dr. Avni Morgül

Boğaziçi Üniversitesi

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

Öğretim Üyesi

GİRİŞ

3 Şubat 2006 tarihinde Sayısal Karasal deneme yayınları Ankarada 31. kanal ve İstanbulda 23. kanalda resmen başladı. Bu yazıda Sayısal TV, özellikle de karasal sayısal TV yayını ile ilgili genel teknik bilgileri bulacaksınız. Konu çok kapsamlı olduğundan burada sadece genel teknik bilgiler her teknik elemanın anlayacağı şekilde verilmeye çalışılacaktır. Daha geniş bilgi için yazının sonundaki eklere ve kaynaklara başvurulabilir.

Bilgisayar teknolojilerinin gelişmesi, çok büyük ölçekli sayısal tümdevrelerin (VLSI) ucuzlaması sayesinde görüntünün sayısallaştırılması ve sayısal olarak işlenmesi kolaylaşmış ve her alanda olduğu gibi TV alanında da sayısal teknolojilere geçiş başlamıştır. Son 10-15 yıl içinde bu konuda çok yoğun araştırmalar yapılmış ve standartlar geliştirilmiştir.

Sayısal televizyonun geç kalmasının iki nedeni vardır. Bunlardan ilki teknik zorluklardan kaynaklanmakta idi ki bu tamamen aşılmıştır. İkinci zorluk ise meşhur tavuk/yumurta hikayesidir. Yayıncılar sayısal TV yayınına başlamak için, sayısal TV alıcısına sahip yeterli bir seyirci kitlesinin oluşmasını beklemekte, seyirciler ise sayısal TV alıcısı almak için yeterli sayıda yayının başlamasını ve cihazların ucuzlamasını beklemekte idiler. Buna paralel olarak TV alıcı imalatçıları da yeterince müşteri olmadığından sayısal TV alıcısı yapmakta fazla hevesli olmadılar ve bu yüzden sayısal alıcı fiyatları ucuzlayamadı.

Sonunda gene iş teknik zorunlulukların sıkıştırması ile çözülmeye başlamıştır. Bu gün pek çok bölgede TV yayınlarına tahsis edilecek kanal kalmamıştır. Buna karşılık her gün yeni yayıncılar ortaya çıkmakta ve kanal talebi hızlı bir şekilde artmaktadır. Sayısal TV yayını buna iyi bir çözüm getirmektedir. Standart kalite yayında bugünkü teknoloji ile bir analog TV kanalına yerel yayınlarda dört, uydu yayınlarında altı veya daha fazla sayısal kanal sığdırılabilmektedir. Bu açıdan sayısal teknolojiye geçmek yayıncılar için çok avantajlı olmaktadır. Buna karşılık izleyici, iki ila on misli daha fazla para ödeyerek satın alacağı sayısal TV veya sayısal set üstü cihazından (Set-Top-Box) CD kalitesinde bir ses dinleyecek fakat şimdiki ile aynı kalitede (bazen daha kötü) bir görüntü elde edecektir. Yani işin faturası izleyiciye çıkmıştır.

Yüksek çözünürlü TV (HDTV) yayını kullanıcıya daha kaliteli bir resim seyretme imkanı vermektedir. Fakat bunun için de kullanıcı, normal TV alıcısını değiştirip çok daha pahalı bir HDTV alıcısı satın almak zorundadır. Bir analog TV kanalına bir sayısal HDTV yayını sığmaktadır.

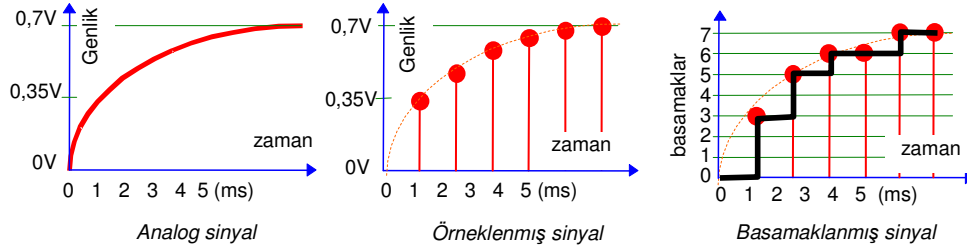
Ayrıca sayısal televizyon yayını çok daha kolay ve güvenilir bir şekilde şifrelenebilir ve istenen filmi gösterme (Video-on-Demand), Paralı TV (Pay-TV) imkanları kolayca sağlanabilir.

SAYISAL GÖRÜNTÜNÜN ÜRETİLMESİ VE İLETİLMESİ

Analog işaretlerin Sayısal'a dönüştürülmesi, örnekleme, basamaklama ve kodlama olmak üzere üç aşamada yapılır.

Analog sinyaller zaman ve genlik olarak sürekli sinyallerdir. Bunları sayısallaştırabilmek için önce belli aralıklarda örnekler alınması gerekir. Örnekleme sıklığı sayısallaştırılmak istenen sinyalde bulunan en yüksek frekans bileşeninin iki katından fazla olmalıdır. Aksi halde spektrum örtüşmesi (aliasing) yüzünden bozulmalar meydana gelir ve orijinal sinyal tekrar elde edilemez.

Alınan örneklerin genlikleri herhangi bir değerde olabilir. Buna karşılık işaretin sayısala çevrilebilmesi için kullanılacak seviye sayısının sınırlı olması gerekir. Bu sayı, her bir örnek için kullanılacak kod uzunluğu ya da bit sayısı tarafından belirlenir. Örnek olarak 8-bit'lik bir kodlama yapılacaksa 256 seviye, 3-bit'lik bir kodlama yapılacaksa sadece 8 seviye kullanılabilir. Seviye veya basamak sayısının artması alıcı tarafta sayısal/analog dönüştürücü çıkışında elde edilecek sinyalin kalitesini belirler. Daha iyi kalite için daha çok bit ve daha çok basamak kullanmak gerekir.



Şekil 1. Analog işaretin sayısala dönüştürülmesi

Örnek olarak 0-0,7V arası değişen bir sinyali 3-bitlik bir kodlama ile sayısallaştırmak istiyorsak basamak sayısı 8, aralık sayısı ise $8-1=7$ dir. 0,7 volt 7 aralığa bölünürse iki basamak arası 0,1V olur. Basamak sayısı belli olduktan sonra her basamağa karşı düşen bir kod oluşturulur. Bu, genelde, basamak numarasının ikili sayı sistemindeki karşılığıdır.

Tablo 1. Analog işaretin sayısala dönüştürülmesi

Gerilim (V)	0-0,05	0,05-0,15	0,15-0,25	0,25-0,35	0,35-0,45	0,45-0,55	0,55-0,65	0,65-0,7
Basamak	0	1	2	3	4	5	6	7
Kod	000	001	010	011	100	101	110	111
İletilen Sinyal								

Kodlama işlemi gerçekleştirilmek için alınan örneğin genliğine bakılır. Bu genliğe en yakın basamak hangisi ise o basamağın kodu gönderilir. 3. örnekteki sinyal genliği 0,62 volt olsun. Bu değere en yakın basamak 0,6V seviyesine karşı düşen 6. basamak olduğundan onun kodu olan **110** kodu çıkışa iletilir.

Alıcıda ters işlem yapılır. Önce, seri olarak gelen bit dizileri ikili sayıya dönüştürülür. Bu sayı bir sayısal/analog dönüştürücü yardımı ile gerilime çevrilir. Elde edilen basamaklı gerilim süzülerek analog işaret tekrar elde edilir.

Standart TV yayın kalitesinde bir görüntü için 13MHz civarında örnekleme hızları ve renkli resim için örnek başına 24 bit'lik kodlama gerekir. Bu durumda sayısal olarak kodlanan (PCM) bir görüntünün iletilmesi için gerekli veri hızı basit bir hesaplama bulunabilir;

$$r_n = 13 \times 24 = 312 \text{ Mb/s}$$

Görüldüğü gibi standart bir resim için bile veri hızı saniyede 300Mb (300 milyon bit)'in üzerine çıkmaktadır. Yüksek Çözünürlü Televizyon sistemlerinde (HDTV) ise veri hızı 1Gb/s'den fazla olacaktır. Bu kadar yüksek bir veri hızında TV işaretlerinin iletilmesi ve saklanması pratik olarak uygulanabilir değildir. Bu durumda yapılacak tek iş sayısallaştırılmış işaretin özel tekniklerle sıkıştırılarak veri hızının makul seviyelere çekilmesidir. Standart TV için 3-8Mb/s , HDTV için 18-20Mb/s gibi makul hızlara inebilmek için 100:1, 50:1 gibi oranlarda bir sıkıştırmaya gerek vardır.

Elde edilen kodlanmış sayısal işaretin kablo veya uzaydan iletilmesi için bir sayısal kipleme (modülasyon) işlemine tabi tutulması gerekir. Bu iş için her tür sayısal kipleme kullanılabilirse de sayısal TV yayını için aşağıdaki kiplemeler standart olarak kabul edilmiştir.

Bütün standartlarda görüntü sıkıştırma yöntemi olarak MPEG-2 kullanılmaktadır. Avrupadaki sayısal TV yayınlarında DVD standardının (ISO/IEC1318, ITU-R601) üç değişik kipleme biçimi kullanılmaktadır.

- **DVB-T:** Yerel yayınlar için **COFDM** (Coded Orthogonal Frequency Division Modulation: Kodlu Dikgen Frekans Bölümlemeli Kipleme)
- **DVB-S:** Uydu yayınları için **QPSK** (Quadrature Phase Shift Keying: Dikgen Faz Ötelemeli Anahtarlama)
- **DVB-C:** Kablo yayınları için **QAM** (Quadrature Amplitude Modulation: Dikgen Genlik Kiplemesi)

A.B.D.de yerel yayınlar için COFDM yerine tek yan bantı kısmen bastırılmış bir genlik kiplemesinin (bugün analog yayınlar için kullanılan kipleme) sayısala uyarlanmış şekli olan **8-seviyeli VSB** (Vestigial Side Band: Kuyruklu Yan Band) kiplemesi tercih edilmiştir. Amerikan standardında VSB kiplemesi trellis kodlaması ve Reed-Solomon tipi hata kodlaması ile birlikte kullanılmaktadır.

Böylece dünyada tek bir TV yayın standardına geçmek için ele geçen altın bir fırsat daha heba edilmiştir.

COFDM'in UYGULANIŞI

Avrupa ülkeleri sayısal TV yer yayınları (DVB-T) için VSB sistemine göre daha karmaşık olan fakat özellikle yansımali olarak yayılan sinyallerde daha hatasız çalışan *Kodlu Dikgen Frekans Uzayı Çoğullamalı* (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex, **COFDM**) kipleme sistemini kabul etmişlerdir. Bu tür yayınlar ilk olarak 1999 yılında İngiltere'de başlamıştır.

OFDM kiplemesi sayısal kelimelerin her birine ayrı bir taşıyıcının tahsis edilmesi esasına dayanır. Bu kiplemenin teknik ayrıntıları Ek-1'de verilmiştir. Bu kiplemenin avantajları şöylece özetlenebilir:

- Örtüşmeye izin verdiğiinden frekans spektrumunu daha etkin olarak kullanır.
- Frekans bölgesini dar bantlı ve düzgün pekçok alt kanallara böldüğünden frekansa bağlı bayılmaya (frequency selective fading) tek taşıyıcılı sistemlere oranla çok daha fazla dayanıklıdır.
- Çerçeveler arasına fazladan bitler konularak semboller arası (ISI) ve çerçeveler arası (IFI) karışma önlenebilir.
- Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) teknikleri sayesinde kipleme ve kip çözme işlemleri kolaylıkla uygulanabilir.
- Kanal frekans düzeltmesi (Equalization) adaptif teknikler kullanılmasına gerek kalmadan kolaylıkla yapılabilir.
- Örnekleme zamanı kaymalarına karşı daha az duyarlıdır.
- Yan kanal karışmaları ve parazitik gürültülerden daha az etkilenir.

Bunlara karşılık OFDM kiplemesinin kötü yanları da vardır. Bunlar:

- OFDM işaretinin genlik değişimi gürültü sinyali gibi ani yükselmeler ve düşmeler gösterir. Yani işaretin tepe değeri ile ortalama değeri arasında 6/1 hatta bazen 8/1 gibi büyük oranda farklar vardır. Bu da kullanılacak RF güç kuvvetlendiricilerinin büyük dinamik seviyeye sahip olmalarını ve düşük verimli olmalarını gerekli kılar.
- Taşıyıcı frekans kaymalarına çok duyarlıdır.

Sayısal karasal TV yayınlarında kullanılan OFDM kodlamasında 2048 (2k) ve 8192 (8k) taşıyıcı olmak üzere iki farklı yayın modu kullanılır.

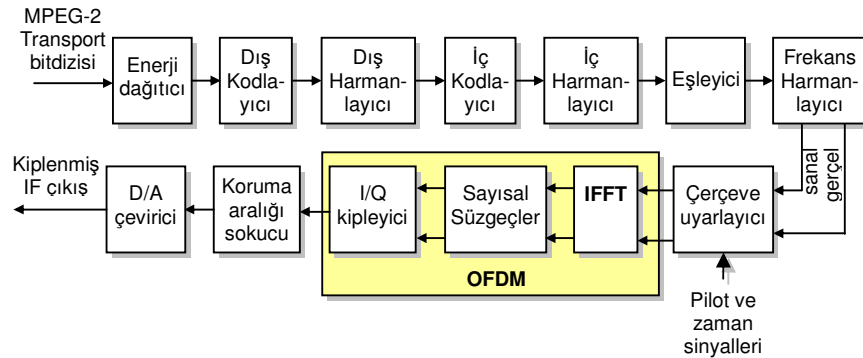
"2k" Modunda taşıyıcı sayısı az olmakla beraber çerçeve hızı daha fazladır. Sonuç olarak her iki moddaki veri hızı yaklaşık olarak aynıdır. "2k" Modunda taşıyıcılar arasında yaklaşık 4kHz aralık vardır ve sembol uzunluğu 250us dır. Buna karşılık "8k" modunda taşıyıcılar arasında yaklaşık 1kHz aralık vardır ve sembol uzunluğu 1ms dir. "8k" Modu frekans kaymalarına karşı çok duyarlıdır. Buna karşılık "2k" modu frekans kaymalarına dayanıklı olmakla beraber uzun gecikmelerden daha çok

etkilenir. Bu yüzden 8k modu sabit sistemler için, 2k modu ise doppler etkisine dayanıklı olduğundan hareketli sistemler için daha uygundur.

Bu taşıyıcıların hepsi veri iletiminde kullanılmaz. Bunlardan bir kısmı sinyal gücünü ve iletim ortamının özelliklerini belirlemek için (TPS:Transmission Parameter Signalling) ve kanaldaki yansımaların yok edilmesi için kullanılır. Bir kısmı hiç kullanılmaz. Bir kısmı da pilot olarak kullanılır.

	2k Modu	8k Modu
Toplam taşıyıcı sayısı	2048	8192
Sembol Uzunluğu	250us	1ms
Taşıyıcı aralığı	4kHz	1kHz
Kullanılan taşıyıcı sayısı	1705	6817
Dağılmış pilot taşıyıcı	142/131	568/524
Sürekli pilot taşıyıcı	45	177
TPS taşıyıcı	17	68
Sinyal taşıyan taşıyıcı	1512	6048

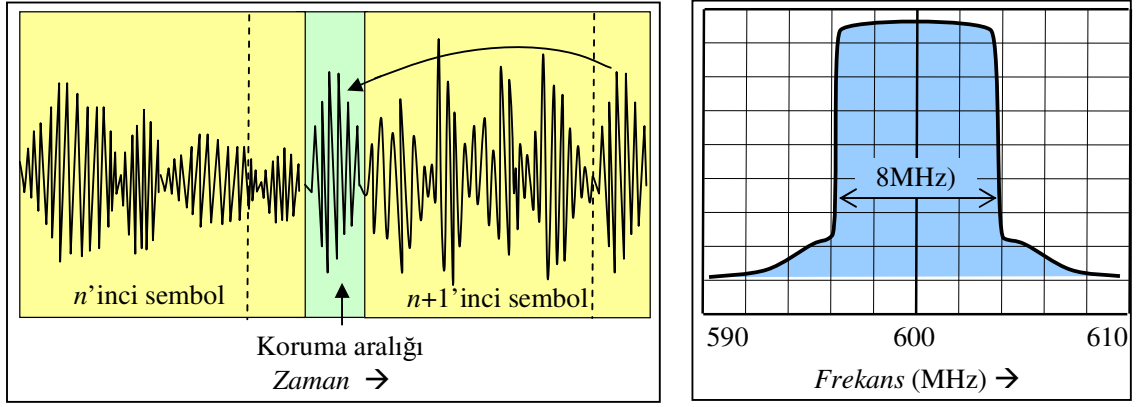
Gönderilecek sinyalin önemine göre taşıyıcılar 4QAM(QPSK), 16QAM veya 64QAM olarak kiplenir. MPEG kodlama parametreleri, yayın başlıkları gibi önemli parametreler QPSK olarak kiplenir. Buna karşılık bozulması halinde hayati bir kayıp olmayan görüntü bilgileri ise gürültüye karşı daha dayanıksız olan fakat daha çok veri taşıma kapasitesi bulunan 64QAM yöntemiyle kiplenir.



Şekil-2 COFDM kiplemesinin blok şeması

MPEG Transprt dizisi OFDM kipleniciye verilmeden önce bit dizileri üzerinde “Enerji Dağıtıcı” blok yardımı ile değişiklikler yapılarak elde edilecek sinyalin her frekandaki enerjilerinin mümkün olduğu kadar eşit yapılmasına çalışılır. Daha sonra dış ve iç hata kodlayıcı ve harmanlayıcı devreler yardımı ile sayısal işaretler iletim hatalarına karşı korunur. Uydu yayınlarında olduğu gibi dış kodlayıcıda Reed-Solomon kodlaması iç kodlayıcıda ise Evrişimli kodlama (Convolutional coding) kullanılır. Evrişimli kodlamada $R=1/2$ ile $7/8$ arası kod oranlarından herhangi biri seçilebilir. En sonunda veri bitleri çerçeveler halinde OFDM kipleniciye uygulanır.

Kiplenici çıkışında çerçeveler arasında çerçeve uzunluğunun $1/4$ ila $1/32$ 'si kadar koruma (guard) aralıkları bırakılır ve bu aralıklar çerçevenin son kısmındaki sinyalin aynısı ile doldurulur. Böylece alıcıda bu sinyalin kendisi ile evrişimi (otocorrelation) kullanılarak sembol eşzamanlaması kolayca yapılır.



Şekil-3 COFDM kiplemesinin zaman ve frekans uzayında görünüşü

Karasal OFDM TV sinyali 6-7-8Mhz band genişliklerinde yayınlanabilir. Kullanılacak band genişliğine göre sembol süreleri, taşıyıcı frekans aralıkları ve IFFT örnekleme frekansları ayarlanır.

“2k” modunda kanal bant genişliğine göre ayarlanan parametreler

Kanal Bandgenişliği (MHz)	8	7	6
Sinyal Bant genişliği (MHz)	7,612	6,661	5,709
Örnekleme frekansı (MHz)	9,142857	8,0	6,8571
Sembol süresi (µs)	224	256	298,7
Taşıyıcı aralığı (kHz)	4,464	3,906	3,348

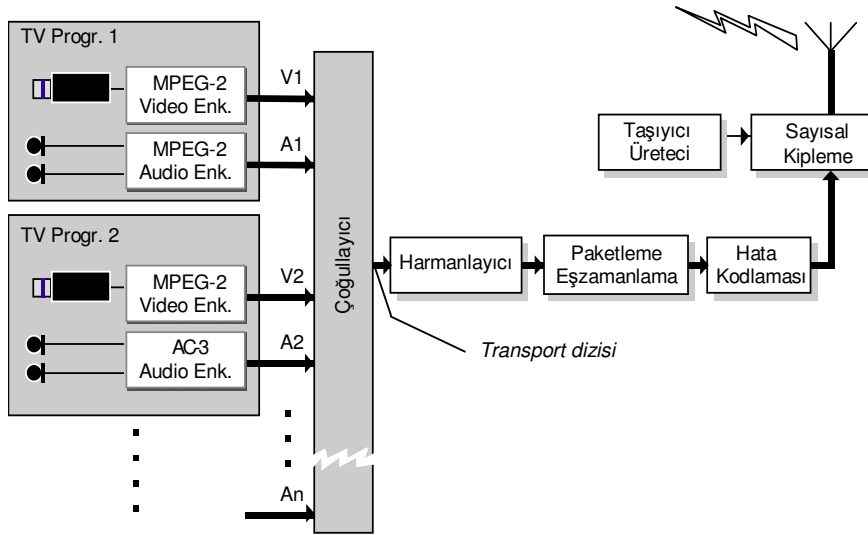
“8k” modunda kanal bant genişliğine göre ayarlanan parametreler

Kanal Bandgenişliği (MHz)	8	7	6
Sinyal Bant genişliği (MHz)	7,608	6,657	5,706
Örnekleme frekansı (MHz)	9,142857	8,0	6,8571
Sembol süresi (µs)	896	1024	1194,7
Taşıyıcı aralığı (kHz)	1,11607	0,97656	0,8370

SAYISAL TV İŞARETLERİNİN ÇOĞULLANMASI

Sayısal TV işaretlerinin yayınlanması için sayısal ses ve görüntüye ait verilerin önce paketler haline getirilmesi, sonra bu paketlerin harmanlanarak birleştirilmesi (zaman çoğullaması) ve tek bir bit-dizisi haline getirilmesi gerekir. Bu dizi kullanılacak yayın standardına uygun bir şekilde kiplenerek yayına verilir.

MPEG görüntü ve ses kodlayıcısından ayrı ayrı gelen paketler ardarda eklenerek transport katmanı oluşturulur. Ses ve görüntü paketlerinin sayıları ve uzunlukları eşit değildir. Hangi paketin hangi bilgiyi taşıdığı başındaki “*Paket Başlığı*” kısmına bakılarak anlaşılır.



Şekil-4 Sayısal TV işaretlerinin paketlenerek yayınlanması

Çoğu zaman sayısal TV yayın şirketleri birden fazla TV yayını aynı “yayın paketi” içinde gönderirler. Bu durumda sadece bir takım ses ve görüntü işaretleri değil, birden fazla stüdyodan gelen işaretlerin birleştirilmesi gerekir.

TEK FREKANSLI YAYIN SİSTEMİ

(Single Frequency Network)

Sayısal karasal yayının diğer bir avantajı da belli bir bölgede kullanılacak verici sayısını arttırmaktır. Analog TV yayınlarında bir verici belli bir kanalda, örnek olarak UHF 60. kanalda, yayın yapıyorsa bu vericinin kapsama alanı içinde aynı kanalda ve komşu 59. ve 61. kanallarda ve bu kanaldan 39MHz ötedeki 66-67. kanallarda başka bir verici yayın yapamaz. Aksi takdirde bu vericiler birbirinin işaretini karıştırıp bozar. Bu yüzden özellikle İstanbul, Ankara gibi büyük şehirlerde aynı yayınlar başka bölgelerde farklı kanallardan yayın yaparlar. Bu da bir bölgede yayın yapabilecek program sayısını büyük ölçüde sınırlar.

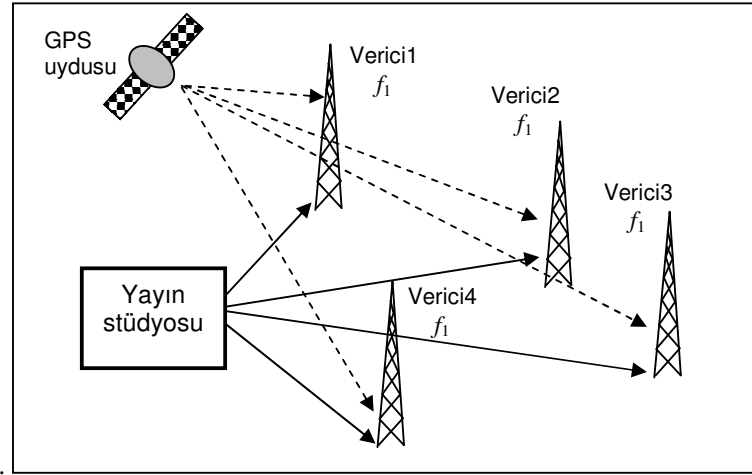
Sayısal karasal yayın sisteminde aynı bölgedeki vericiler aynı frekanstan eşzamanlı yayın yapabilirler. Bu sisteme “tek frekanslı yayın sistemi (single frequency network)” adı verilir. Bu sistemde değişik vericilerden gelen sinyaller alıcı tarafından tıpkı yansımış işaretler gibi algılanır. Yansımış sinyaller yansıma süresi belli bir değerden az olduğu zaman OFDM kiplerde bir sorun yaratmaz ve temiz bir görüntü elde edilebilir.

“8k” ve “2k” modunda kanal bant genişliğine göre vericiler arasındaki en uzak mesafeler

Mod	8/7MHz kanal			
	Koruma aralığı oranı	Sembol süresi μ s	Koruma aralığı μ s	Verici uzaklığı km
2k	1/4	224/256	56/64	16,8/19,2
2k	1/32	224/256	7/8	2,1/2,4
8k	1/4	896/1024	224/256	67,1/76,7
8k	1/32	896/1024	28/32	8,4/9,6

Yansımaların ve aynı frekanstaki diğer vericilerden gelen sinyallerin bozucu etki yapmaması için en uzun gecikme süresinin OFDM paketleri arasındaki koruma aralığı (guard) süresinden kısa olması gereklidir. Bu da aynı frekanstaki vericiler arasındaki en uzak mesafeyi sınırlar. Elektro-manyetik dalgalar ışık hızında yayıldığına göre bu mesafe kolayca hesaplanabilir. Tabloda çeşitli yayın modları için bu mesafeler verilmiştir.

Görüldüğü gibi 8k modunda 2k moduna göre daha geniş bir kapsama alanı elde edilmektedir. Ayrıca kanal band genişliği azaldıkça da mesafe artmaktadır. Bu tür yayının en zor tarafı vericiler arasında eşzamanlılığı sağlamaktır. Bunun için Küresel Yerbulum (GPS) Uydularından yararlanılır. Bu uydulardan bir saniye aralıklı eşzamanlama sinyalleri yayınlanır. Profesyonel GPS alıcıları bu sinyalleri kullanarak 10MHz'lik bir referans frekansı üretir. Vericiler de bu referans frekansı kullanarak birbirine kenetli, fazı ve frekansı aynı olan, taşıyıcı frekansları üretirler. Ayrıca 1 saniyelik referanslar kullanılarak mega paketlerin aynı anda yayınlanması sağlanır.



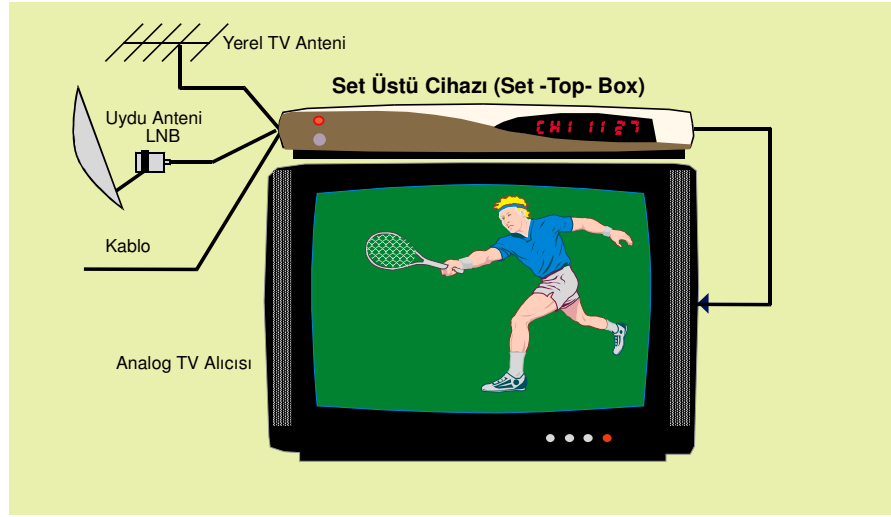
Şekil-5 Tek frekanslı yayın sistemi

SAYISAL TV ALICILARI

Sayısal TV alıcısı normal bir analog TV alıcısına sayısal kod çözücünün eklenmesi ile elde edilebilir. Nitekim sayısal TV sistemlerine geçişte ilk aşama eski analog TV alıcılarına Set-Üstü-Cihaz (Set-Top-Box) adı verilen sayısal/analog dönüştürücü cihazların dışardan eklenmesi şeklinde olmuştur. (Şekil-6). Yeni nesil sayısal TV alıcılarında kod çözücü de cihazın içine konacaktır.

SET-ÜSTÜ-CİHAZI

Set-üstü-cihazı antenden veya kablodan gelen kiplenmiş sayısal işareti çözerek analog ses ve görüntü işaretini elde etmeye yarayan bir dönüştürücüdür. Kiplenmiş işaret önce "Tuner/Kipçözücü" bloktan geçirilerek MPEG-2 veri dizisi elde edilir. İstenirse bu noktada şifre çözme devresi kullanılarak şifreli yayınların izlenmesi sağlanır. Elde edilen dizi MPEG kodçözücüye uygulanarak sayısal ses ve görüntü işareti elde edilir.

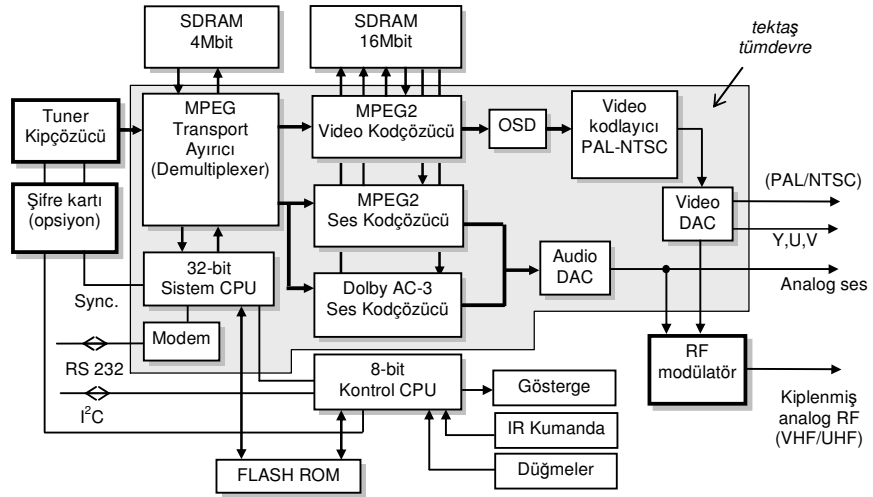


Şekil-6 Set Üstü Cihazı ile sayısal yayınların alınması

Elde edilen sayısal ses bir sayısal-analog dönüştürücü (Audio DAC) yardımı ile analog iki veya beş kanallı sese dönüştürülür.

Sayısal görüntü işaretinin üzerine menü yazıları (OSD) ve diğer istenen ek görüntüler eklenir. İstenirse bu işaret bir video kodlayıcı yardımı ile PAL veya NTSC standardında bileşik video işaretine dönüştürülür. Sayısal video işareti sayısal-analog dönüştürücüden (Video DAC) geçirilerek analog görüntü işareti elde edilir. İstenirse analog ses ve görüntü işaretleri yeniden kiplenerek VHF veya UHF bandında standart TV sinyali haline getirilerek TV alıcısının anten girişine uygulanabilir. Ama daha kaliteli bir görüntü elde etmek için anten girişi yerine, varsa, televizyonun SCART veya A/V girişini kullanmak gerekir.

Set-üstü-cihazın içinde bu fonksiyonları kontrol eden, sinyalleri birbirinden ayıran ve MPEG kodçözme işlemini kontrol altında tutan çok güçlü bir mikroişlemciye gerek vardır. Bu işlemci aynı zamanda cihazın dış dünya ile olan iletişimini sağlar.



Şekil-7 Setüstü cihazı blok şeması

Cihaz iki ana üniteden oluşur:

- 1- "Front End" denilen Tuner ve Kipçözücü bloku
- 2- Ayırıcı ve MPEG Kodçözücü bloku

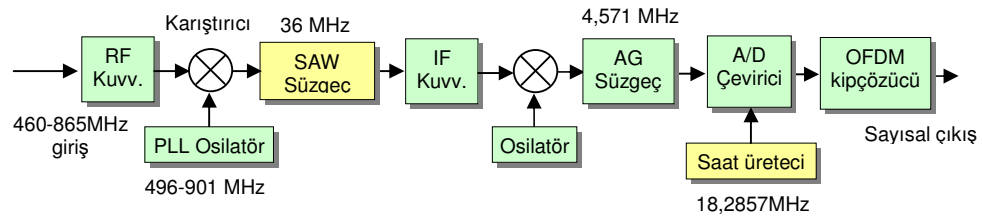
Set-Üstü-Cihazın en önemli kısmı ayırıcı ve MPEG kodçözücü kısmıdır. Kipçözücüden gelen çoğullanmış paketlerin ayıklanarak her paketin hangi programa ve programın hangi kısmına (ses veya görüntü) ait olduğu tesbit edilerek ayıklanması gerekir. Bu ayıklama işi sinyal gelir gelmez anında yapılmalıdır. Bunun için çok hızlı ve güçlü bir mikroişlemci ve bir tampon bellek DRAM (Dynamic Random Access Memory) veya SDRAM (Synchronous DRAM) gereklidir. Gerçek zamanlı bir işletim sistemi altında çalışan en az 32-bit'lik mikroişlemcinin en önemli işi bu paketleri tanıyıp ayıklamaktır.

Sayısal/Analog çeviricinin çıkışından elde edilen video işareti analog TV alıcısının video girişine uygulanır. Burada eşzamanlama ve görüntü işaretleri birbirinden ayrılır. Görüntü işareti kuvvetlendirilerek resim tübüne (veya başka tip bir gösterme elemanına), ses çıkışı da kuvvetlendirildikten sonra hoparlörlere verilir. Daha iyi bir çözüm, kodlanmış resim işareti yerine doğrudan R,G,B çıkışları ve eşzamanlama sinyallerinin alınarak alıcının ilgili devrelerine verilmesidir. Bu durumda PAL/NTSC kodlama ve kodçözme devreleri için içine girmeyeceğinden çok daha kaliteli bir görüntü elde edilecektir. Bu çözümün uygulanabilmesi için sayısal kısmın set-üstü-cihaz yerine TV alıcısının içinde olması veya bir SCART bağlantı elemanı kullanılması gerekmektedir.

TUNER DEVRELERİ

“Tuner” yüksek frekanslı işaretleri süzer ve frekansını düşürür. Bu devrenin çıkışında alçak frekanslı kiplenmiş sayısal işaretler vardır. Bu çıkış daha sonra gelen Kipçözücü (Demodulator) devresine verilir. Bu iki blokun tamamı “Digital Tuner” adı altında tek bir kutu olarak satılmaktadır.

Sayısal karasal, uydu ve kablo yayınları için üç değişik kipleme kullanıldığından her üç tip yayın alınacaksa üç ayrı tuner devresi gereklidir. Şekil-8’de bir sayısal karasal tuner devresi görülmektedir. Antenden gelen UHF sinyal önce 36 MHz ara frekansa daha sonra da senkron bir demodülatör devresi ile 0-4,5 MHz arası temel bant analog sinyale dönüştürülür. Analog sinyal A/D çeviriciden geçirilerek OFDM kipçözücüye verilir. Tuner kutusunda bunlardan başka hata bulma ve düzeltme devreleri ile eşzamanlama devresi bulunmaktadır. Bu tür sayısal uydu tuner devresi bir yüksek frekans (analog) devre ile tek bir tümdevre kullanılarak gerçekleştirilebilmekte ve tek bir kutu halinde satılmaktadır.

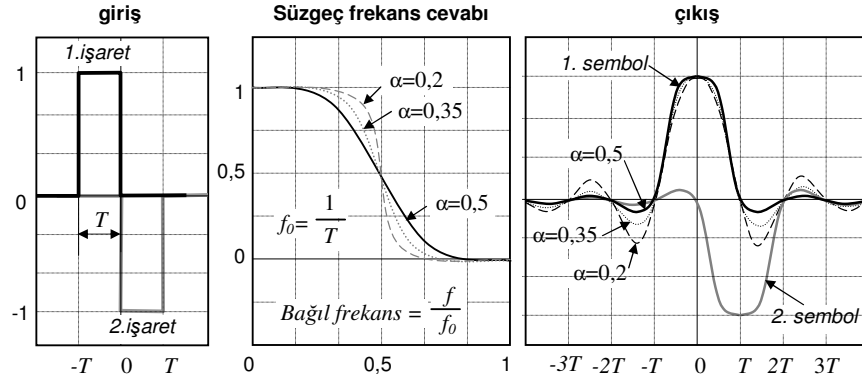


Şekil-8 Sayısal karasal alıcı Tuner devresi

Ek1: SAYISAL KİPLEME (Digital Modülasyon)

Sayısal kiplemde (modülasyon) temel olarak analog kipleme tekniğinden bilinen, genlik faz veya frekans kipleme teknikleri kullanılır. Kiplmeyi sayısal yapan özellik; kiplleyen sinyalin sayısal olması, yani sadece önceden belirlenmiş sınırlı sayıda değerler alabilmesidir. Örnek olarak eğer ikili (binary) bir sayısal kipleme sözkonusu ise giriş sinyali sadece 0/1 gibi iki farklı değer alabilir. Kiplleme sonunda da sadece iki farklı taşıyıcı sinyali çıkar. İletişim sistemlerinde özellikle de sayısal TV sistemlerinde frekans bant genişliğinin mümkün olduğunca az yapılabilmesi için ikili sistemler yerine çoklu sayısal kipleme teknikleri tercih edilir. Örnek olarak 4-seviyeli genlik kiplemesinde 0-1-2-3 volt genlik seviyeleri kullanılabilir. Frekans bant genişliğini daha da azaltmak için aynı frekansta birbirine dik iki taşıyıcı (sinüs ve kosinüs) kullanılırsa bu tür kiplmeye de Dikgen Kipleme (*Quadrature Modulation*) adı verilir.

Sayısal giriş sinyalleri "0" ve "1" seviyesine karşı düşen kare dalgalar biçimindedir. Böyle bir kare dalga'nın frekans bant genişliği teorik olarak sonsuzdur ve iletilebilmesi için sonsuz bant genişliğine gerek vardır. Bu ise pratik olarak imkansızdır. Dolayısıyla sayısal sinyalleri sonlu bant genişliği olan iletim kanallarından geçirebilmemiz için bunların frekans sınırlayıcı süzgeçlerden geçirilmesi gerekir. Bu süzgeçlerin bant genişliğinin uygun seçilmesi çok önemlidir. Semboller arası karışmayı önlemek için zaman uzayındaki sinyalin sıfırdan geçtiği anlar işaret periyodunun tam katı olmalıdır. Bu durumda, Şekil 1.1'de görüldüğü gibi, 2. sembolün örneklendiği tepe noktasında 1. sembolün kuyruğu tam sıfırdan geçer. Böylece semboller arası karışma önlenmiş olur.



Şekil -1.1 Sayısal giriş işareti, Nyquist süzgeci ve frekans bantı sınırlanmış sayısal çıkış işareti

DİKGEN GENLİK KİPLEMESİ

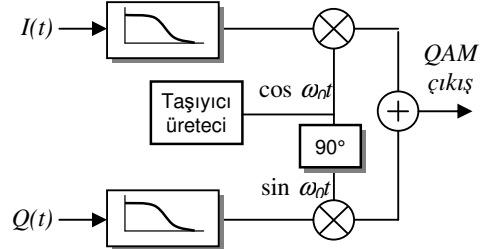
QAM (Quadrature Amplitude Modulation)

Sayısal kablo TV yayınlarında 16 veya 64 seviyeli QAM kiplemesi kullanılmaktadır. Bu kiplemde iki giriş sinyali vardır. Bu sinyaller birbirine dik yani aralarında 90° faz farkı bulunan iki taşıyıcıyı kipler. Eğer taşıyıcılardan birisi $\cos\omega_0 t$ şeklinde ise diğeri $\sin\omega_0 t$ şeklinde olacağından çıkış işareti:

$$s(t) = a \cos\omega_0 t + b \sin\omega_0 t$$

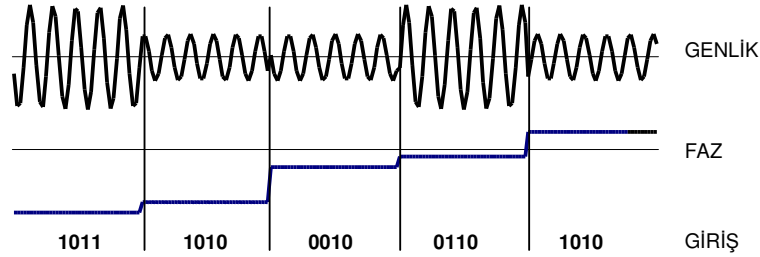
şeklinde ifade edilebilir. Burada a , b katsayıları sayısal giriş sinyalleri olan "1" ve "0" lardan oluşur (giriş kelimesi).

Bunu gerçekleştirmek için iki çarpma devresi ve



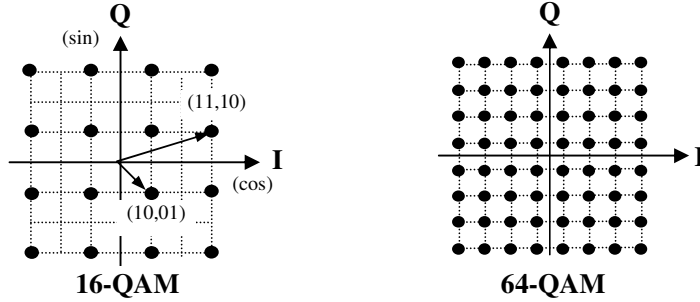
Şekil 1.2 Dikgen kiplemenin yapılışı

bir faz kaydırıcıdan oluşan Şekil 1.2 deki devre kullanılabilir. Karışmaları önlemek için giriş sinyalleri bir alçak geçiren süzgeçten (tercihen Nyquist süzgeci) geçirilmelidir. 16 QAM kodlamada 16 değişik kelime sözkonusu olduğuna göre her kelime 4-bit uzunlukta ve a , b katsayıları da ikişer bit uzunlukta olmalıdır.



Şekil 1.3 QAM kiplenmiş işaretin zamanla değişimi

Alıcı tarafta sinyalin en az hata ile çözülebilmesi için elde edilecek 16 değişik vektörün birbirine eşit uzaklıkta olması gerekir. Bu uzaklığa 2 birim dersek, a , b katsayılarının -3 ; -1 ; $+1$ ve $+3$ olarak seçilmesi gerekir. a ve b nin her biri dört ayrı değer alabildiğine göre $4 \times 4 = 16$ değişik vektör tanımlanabilir. Şekil 1-4a.



Şekil 1.4 16 ve 64 QAM kiplenmede çıkış vektörleri

Benzer şekilde 64-QAM kodlamada a , b katsayılarının her biri 8 farklı değer alabilir (3-bit) ve vektörlerin yerleşimi Şekil 1.4b'deki gibi olur.

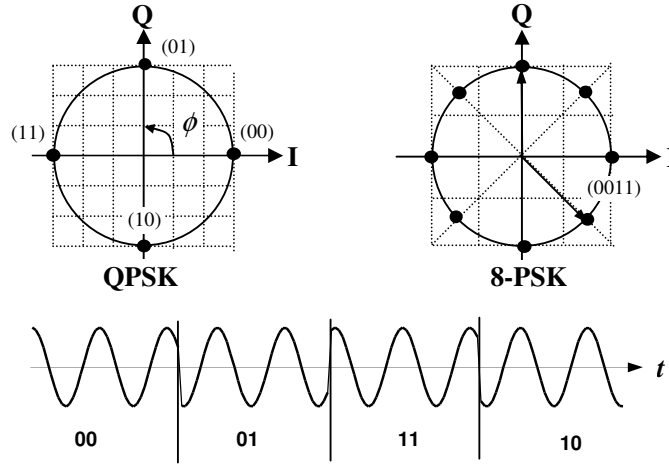
DİKGEN FAZ KAYDIRMA ANAHTARLAMASI (QPSK)

(Quadrature Phase Shift Keying)

Faz bilgisinin gelen sayısal bilgiye göre değiştirilmesi esasına dayanır. Faz değişikliği bir değerden diğer değere ani olarak değiştirildiğinden bu tür kiplemelere genellikle "Faz Kaydırma Anahtarlama (Phase Shift Keying, PSK)" adı verilir. PSK bir sinyal:

$$s(t) = A \cos(\omega_c t + \frac{2k\pi}{M}) \quad k = 0, 1, \dots, M-1$$

şeklinde gösterilebilir. Burada M sayısı faz'ın kaç değişik değer alabileceğini gösterir ve sayısal faz kiplemesi de "M-PSK" şeklinde ifade edilir. En basit faz kaydırmalı kipleme $M=2$ için elde edilen ikili PSK kipleme olup "Binary PSK" olarak adlandırılır. En çok kullanılan ise $M=4$ için elde edilen Dikgen Faz Kaydırmalı Anahtarlama (QPSK) kiplemesidir. Bu kiplenmede faz değişimleri 90° lik atlamalarla olur (Şekil-1.5a).



Şekil 1.5 PSK kiplenmede çıkış vektörleri ve QPSK kiplenmiş işaretin değişimi

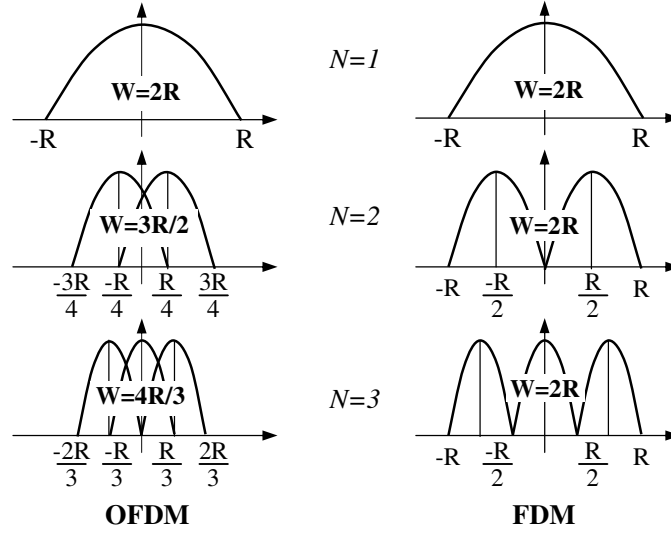
QPSK kiplenmede kod çözme sırasında oluşacak hataları ve frekans band genişliğini en aza indirmek için “GRAY” kodlaması kullanılır. GRAY kodlamasında her seferinde en çok bir bit değişimine izin verilir. Yani 00’dan 11’e atlanmaz. Örnek olarak 2-bitlik GRAY kodlaması 00,01,11,10 şeklinde 4 kelimedenden oluşur.

KODLU DİKGEN FREKANS UZAYI ÇOĞULLAMASI (COFDM) KİPLEMESİ

Frekans bandını etkin bir şekilde kullanan *Dikgen Frekans Uzayı Çoğullamalı (Orthogonal Frequency Division Multiplex, OFDM)* kiplenmesi aslında 1970’li yıllarda bulunmuştu. Ancak o yılların teknolojisi ile uygulanması zor olduğundan 25 yıl kadar kullanım alanı bulamadı. Son yıllarda sayısal sinyal işleme tekniklerinin ve çok geniş çaplı tüm-devrelerin (VLSI) gelişmesi ile Sayısal Radyo-TV yayımları ile Telsiz Yerel Veri İletişimi (Wireless LAN) sistemlerinde başarı ile kullanılmaya başlanmıştır.

Dikgen Frekans Uzayı Çoğullamalı (OFDM) sistemin temeli gelen veri dizisini çok sayıda paralel küçük dizilere ayırarak her bir küçük diziyi ayrı taşıyıcılarla, paralel bir şekilde, iletmek esasına dayanır. Bu taşıyıcıların frekansları ve fazları uygun seçilerek bunların birbirine dikgen (orthogonal) olması sağlanır. Bu durumda yanyana gelen taşıyıcıların tayflarının örtüşmesi (spectral overlapping) işarete bir zarar vermez. Bu da taşıyıcıların birbirine daha yakın seçilebilmesini sağlar ki sonuçta frekans bandı daha etkin bir şekilde kullanılmış olur. Yani aynı frekans bandına daha fazla taşıyıcı yerleştirilebilir. Bilinen ve sayısal iletişimde yaygın olarak kullanılan Frekans Çoğullamalı Sistemler (FDM) ile OFDM arasındaki en önemli fark budur. Şekil-1.6’da bu iki sistemin karşılaştırılması verilmiştir. Açıkça görüldüğü gibi FDM kiplenmede frekans bant genişliği, $W_{FDM}=2R=2(N/T_s)$, taşıyıcı sayısından bağımsızdır. Buna karşılık OFDM’de taşıyıcı sayısı arttıkça bant genişliği azalarak çok sayıda ($N>100$) taşıyıcı için FDM’in yarısına düşer.

$$W_{OFDM} = R = N/T_s \quad (N > 100 \text{ için})$$



Şekil 1.6 OFDM ve FDM kiplerinin frekans spektrumları

Genel anlamda bir OFDM sinyali N tane dikgen alt taşıyıcının paralel olarak iletiildiği bir sinyaller kümesi olarak düşünülebilir. Bu sinyalin matematiksel ifadesi:

$$s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left(\sum_{k=0}^{N-1} C_{n,k} g_k(t - nT_s) \right)$$

$$g_k(t) = \begin{cases} e^{j2\pi f_k t} & \rightarrow t \in [0, T_s) \\ 0 & \rightarrow \text{diger } t' \text{ler için} \end{cases}$$

$$f_k = f_0 + \frac{k}{T_s} \quad k = 0, 1, \dots, N-1$$

şeklinde yazılabilir. Burada;

- $C_{n,k}$; k 'inci taşıyıcı tarafından n 'inci zaman aralığında her T_s süresince gönderilen sembol
- N ; alt taşıyıcıların sayısı
- f_k ise k 'inci alt taşıyıcının frekansını göstermektedir.

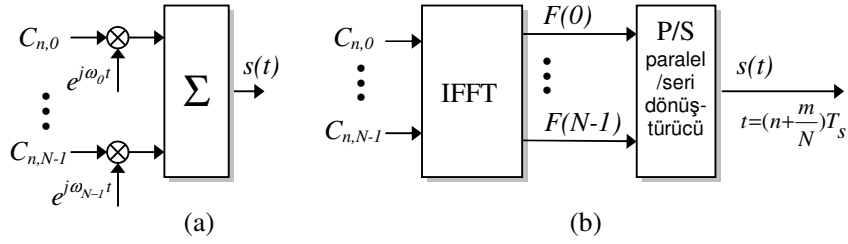
n 'inci zaman aralığında iletilen sinyale n 'inci OFDM çerçevesi dersek ve bunu $F_n(t)$ ile gösterirsek ilk bağıntıyı daha basit olarak

$$s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} F_n(t)$$

$$F_n(t) = \sum_{k=0}^{N-1} C_{n,k} g_k(t - nT_s)$$

şeklinde gösterebiliriz. Burada $F_n(t)$, N tane $C_{n,k}$ sembolün toplamından oluşan kümeye karşı düşmektedir ve her sembol f_k frekanslı ayrı bir alt taşıyıcı g_k ile gönderilmektedir. Alıcı tarafta kod çözme işlemi bu taşıyıcıların dikgen (orthogonal) olma özelliğinden yararlanılarak kolayca yapılabilmektedir. Alınan sinyal g_k taşıyıcısı ile çözüldüğünde sadece o taşıyıcının taşıdığı bilgi elde edilir.

$$C_{n,k} = \frac{1}{T_s} \int_{nT_s}^{(n+1)T_s} s(t) g_k^*(t) dt$$



Şekil 1.7 OFDM kiplenimin yapılışı. (a) Tanıma dayalı teorik gerçekleştirme, (b) Ters Fourier Dönüşümü yöntemi.

Bu tanıma göre OFDM'in uygulanması için binlerce taşıyıcının üretilmesi ve her taşıyıcı için bir genlik kipleycisi (çarpma devresi) gerekir (Şekil 1.7) ki bu da pratik olarak uygulanabilir bir çözüm değildir. Bunun yerine Fourier dönüşüm teknikleri kullanmak pratik bir çözüm getirmektedir.

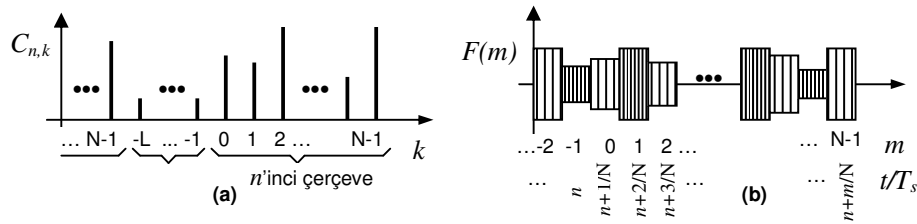
$$F_n(m) = \sum_{k=0}^{N-1} C_{n,k} g_k(t - nT_s) \Big|_{t=(n+\frac{m}{N})T_s} = e^{j2\pi f_0 T_s \frac{m}{N}} \left(\sum_{k=0}^{N-1} C_{n,k} e^{j2\pi k \frac{m}{N}} \right)$$

$$F_n(m) = N \cdot IDFT\{C_{n,k}\}$$

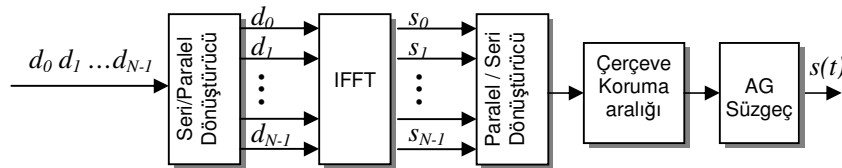
Bu formülden görüleceği gibi OFDM sinyalini ele etmek için $C_{n,k}$ sembollerinin ters Fourier dönüşümünü (IDFT veya IFFT) almak yeterli olmaktadır. Taşıyıcı sayısı ters Fourier dönüştürücünün (IFFT) nokta sayısı ile belirlenir.

Sayısal sinyal işleme teknikleri kullanarak ve mikro işlemciler veya özel sinyal işleyici, VLSI tümdevrelerle bu iş kolayca yapılabilir. İdeal halde taşıyıcılar birbirine dik olduğu için frekans örtüşmesi yüzünden semboller arası karışma olmaz. Fakat eğer iletim kanalı ideal değilse (ki durum çoğu zaman böyledir) alıcıya gelen sinyal bir miktar bozulur ve semboller arası bir karışma meydana gelir.

OFDM sinyalinde semboller çerçevelere karşı düştüğünden bu da çerçeveler arası bir karışma demektir. Bu karışmanın süresi kanaldaki değişik gecikmeler (yansımalar) arasındaki fark kadardır. Bunu önlemek için çerçeveler arasına bu süre kadar bir boşluk konur veya bu aralık bilgi taşımayan bit'lerle doldurulur. Bu bitler özel olarak dönüşümlü (syclic) biçimde kodlanarak ve alıcıda bu bitler sinyal bitleri ile evriştirilerek (convolution) bir çerçeve içindeki bitler arasındaki karışma da engellenebilir. Bütün bu işlemlerin gerçekleştiği bir COFDM kipleycisinin blok şeması Şekil 1.9'da verilmiştir.



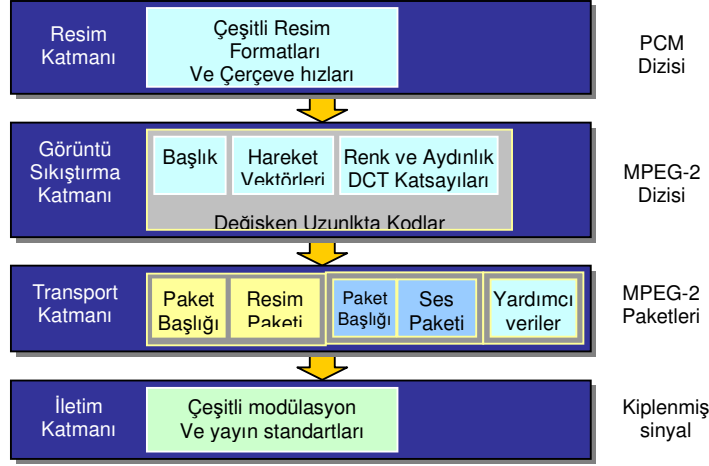
Şekil 1.8 OFDM sinyalinin ters Fourier dönüşümü ile elde edilmesi. (a) Frekans uzayında bileşenlerin oluşturulması, (b) Zaman uzayındaki sinyal



Şekil 1.9 COFDM Kipleycisi

Ek:2 İLETİM PROTOKOLLERİ

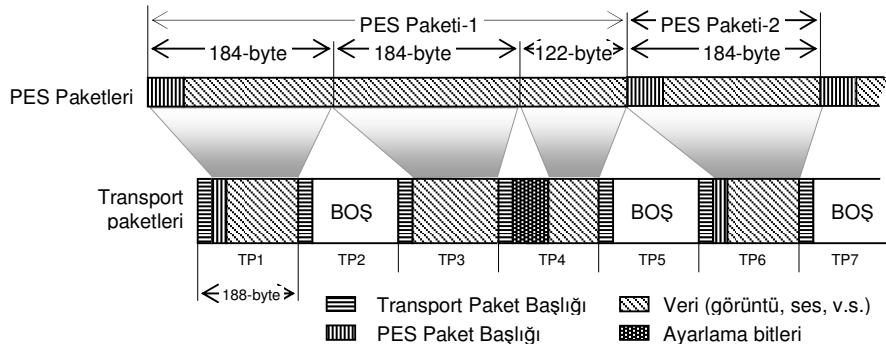
Sayısal TV yayın işaretleri hiyerarşik bir yapı içinde ele alınırsa, bu işaretler dört farklı katman halinde düşünülebilir. Bu bölümde sayısal verilerin yayına hazırlandığı “*Transport*” ve işaretlerin verici taraftan alıcı tarafa gönderildiği “*İletim*” katmanlarında yapılan işlemler incelenecektir.



Şekil-2.1 MPEG sayısal TV yayınında hiyerarşik katmanlar

Transport paketlerinde ses ve görüntü bilgileri dışında diğer yardımcı bilgileri (Program bilgileri, alt yazılar v.s.) de iletmek gerekir. Ayrıca bu sayısal bilgileri iletim sırasında meydana gelebilecek bozulmalardan korumak için “Hata Bulma ve Düzeltme Kodlaması” gerekir. Hata düzeltmesi, her paket için belli sayıda bit eklenerek sağlanır. Eklenen bit sayısı ne kadar çok olursa o orandaki bozulmuş veri bitleri düzeltilebilir. Bazen ani bozulmalar veya karışmalar yüzünden aynı paketin içindeki çok sayıda bit bozulabilir (*hata patlaması: error burst*). Böyle bir durumda hata bitlerini kullanarak düzeltme yapma imkanı ortadan kalkar. Bu durumu önlemek için ard arda gelen paketlerin bitleri belli kurallara göre harmanlanarak yeni bir büyük paket oluşturulur. Bu harmanlanmış paketlerde bir hata patlaması olursa bu sadece bir paketteki bitleri bozamaz. Ard arda gelen paketlerin her birinden az sayıda bit bozulmuş olur ve bunlar da düzeltilebilir.

MPEG kodlayıcıdan gelen *Temel Dizi (Elementary Stream, ES)* önce paketler haline dönüştürülür. Bu paketlere *Paketlenmiş Temel Dizi (Packetized Elementary Stream, PES)* adı verilir. Her MPEG paketi *bir Paket Başlığı (Packet Header)* ile veri bitlerinden oluşan paket ile bitiş kodundan meydana gelir.

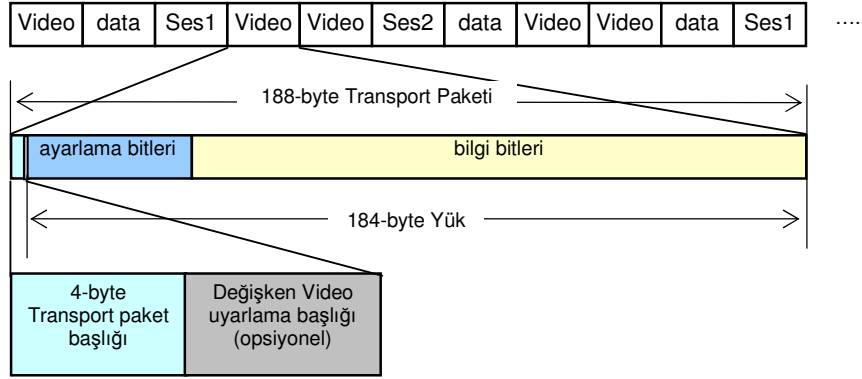


Şekil-2.2 PES paketlerinin iletim (Transport) paketlerine dönüştürülmesi

Elementer dizi paketlerinin (PES) uzunluğu değişken olabilir. Bu paketler 184 byte'lık sabit uzunluklu transport paketlerine dönüştürülürken bir ayarlama yapılması gerekir. Eğer PES paketinin uzunluğu 184 byte veya daha küçükse bir PES paketi bir transport paketine dönüştürülür. Eğer 184 byte'dan büyükse 184 byte'lık kısımlara ayrılarak birden fazla transport paketi halinde iletim ortamına verilir. Burada ISO/IEC 13818-1 standardının getirdiği bazı sınırlamalar vardır; Her transport paketi sadece bir PES paketinin verilerini taşıyabilir ve her PES paketi daima transport paketinin "yük" kısmının başında başlamak ve sonunda bitmek zorundadır. Şekil-2.3'de örnek bir paketleme görülmektedir. 184 byte'den daha kısa kalan paketler "ayarlama bitleri" ile doldurulur. Bu ayarlama bitleri aynı zamanda eşzamanlama saat bilgisini de taşırlar.

Her MPEG-2 transport paketi *başlık (header)* ve *yük (payload)* olmak üzere iki ana kısımdan meydana gelir. 4-byte'lık *Transport Paket Başlığı (Transport Packet Header)* kısmında *paket eşzamanlaması (packet sync.)*, taşınan bilginin cinsi veya *Paket Tanıtma Bilgisi (Packet Identification Data, PID)*, paketin karışması veya kaybolmasını önleyen bilgiler ve şifreleme bilgileri bulunur. Değişken uzunlukta *Video Ayarlama Başlığında (Video Adaptation Header)* zaman ayarlaması, medya eşzamanlaması ve diğer başlangıç ve işaret bilgileri (*flag*) bulunur. Bundan sonra, paketi 188 byte'a tamamlamak üzere hiçbir bilgi taşımayan uzunluk ayarlama bitleri ve arkadan sıkıştırılmış görüntü veya ses bilgisini taşıyan bitler gelir.

Her PID numarası ilgili paketin taşıdığı bilginin cinsini kaçınıcı paket olduğunu gösterir. 8-bitlik PID numarasının ilk dört biti bilginin cinsini belirler. PID=0000 paketin *Program Eşleme Tablosu (PMT)*, PID = 0001 görüntü, PID = 0100 ses ve PID =1010 data bilgisi olduğunu gösterir. En başta gönderilen *Program İlişki Tablosu (PAT)* ise 0 numaralı paketin ne taşıdığını, her programın program numarasını ve bu programın eşleme tablosunun (PMT) hangi pakette olduğunu gösterir. Program Eşleme Tablosunda (PMT) ise bir programı oluşturan paketlerin PID numaralarının ne olduğu bilgisi yer almaktadır.

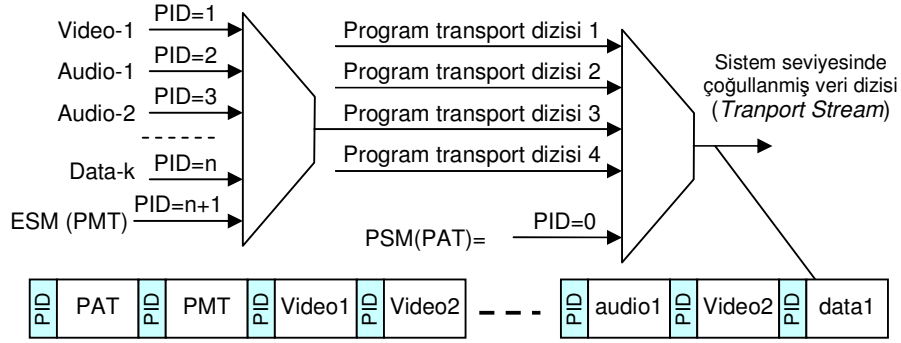


Şekil-2.3 MPEG-2 yayın paketleri dizisi ve bir transport paketinin yapısı

Yeni sistemler eklendikçe PID numaralarının ilk dört bitlik kısmı değiştirilecek, böylece yeni sistemlerin eskilerle uyumluluğu sağlanacaktır. Mevcut kodçözücüler bu yeni numaraları işleme sokmayarak karışıklığı önlemiş olacaktır. Yeni kodçözücüler ise yeni ve eski numaraları işleme sokacaktır. Örnek olarak ilerde 3-boyutlu TV yayını başlarsa görüntüyü üç boyutlu hale getirmek için eklenen paketlerin başına yukarıda belirtilen dört numaradan farklı bir numara konulacak, böylece standart çözücüler bu paketleri atlayarak görüntünün sadece 2-boyutlu kısmı ile ilgili yerlerini alabileceklerdir.

Ses sinyalleri görüntüden daha önceliklidir. Çünkü görüntüdeki kısa süreksizlikler insanı fazla rahatsız etmez. Buna karşılık sesteki en küçük kesilme veya bozulma çok rahatsız edici bir etki yapar.

Bir transport paketi sadece bir cins (ses, görüntü veya data) bilgiyi taşır ve bunlar ard arda dizilerek *Program Paket Dizisi* elde edilir.



ESM:Elementary Stream Map (Temel Dizi Haritası), PMT:Program Map Table (Program Yerleşim Tablosu)
PSM:Program Stream Map (Program Dizisi Haritası), PAT:Program Assosiation Table (Program Bağlantı Tabl.)

Şekil-2.4 Sayısal TV sinyallerinin çoğullanarak program paketi haline getirilmesi

Transport paketinin başlık kısmı açılımı Şekil-2.5’de görülmektedir. 188 byte’lık her transport paketi 1-byte (8-bit)’lik bir eşzamanlama sinyali (47hex) ile başlar. 2. Byte dört kısma ayrılmıştır. Birinci kısımda hata kodlaması bilgisi, yük’ün kaçınıcı bit’de başladığı ve paketin öncelik derecesi, ikinci kısımda ise paket tanıma bilgisinin (PID) ilk kısmı bulunur. Paket tanıma bilgisinin ikinci kısmı 3. byte’ dadır. 4. Byte şifreleme ile ilgili bilgileri, ayarlama bölgesinin uzunluğunu ve verilerin sürekliliğini kontrol etmek için gerekli olan bilgileri saklar.

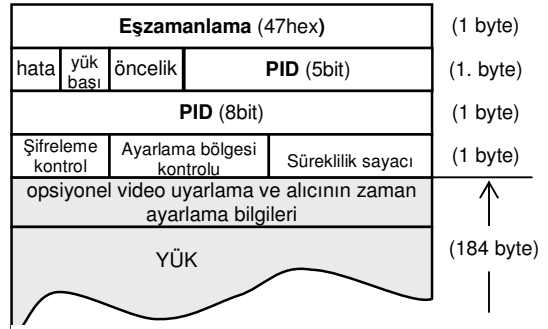
Ard arda gelen ses ve görüntü paketleri değişik programlara ait olabilirler. Hangi paketin hangi programa ait olduğunu belirtmek üzere ses ve görüntü paketlerine ek olarak dört değişik tablo iletilir. *Program özel bilgileri (Program Specific Information, PSI)* adı verilen bu tablolar program paketlerinin (PES) başında yer alır. Bu tablolar önemlerine göre her biri 1024 byte’lık bir veya en çok 256 kısımdan meydana gelirler. Özel bölümlerde her kısımdaki byte sayısı 4096’ya kadar çıkabilir. Tabloların tekrarlanma hızı standartta belirtilmemekle beraber kanaldaki değişikliklerde çabuk adaptasyon için saniyede 10...50 defadan az olmamalıdır.

MPEG-2 Tabloları Şunlardır:

a) *Program İlişki Tablosu (Program Association Table veya Program Allocation Table PAT)* : PID=0 numaralı paket olarak gönderilmesi zorunlu olan bu paket arkadan gelen paketlerin hangi bilgiyi taşıdığı ve hangi numaralı paketin hangi programa ait olduğunu gösteren bilgileri taşır. Dizideki diğer bütün bilgiler şifrelenmiş olsa da program ilişki tablosu mutlaka açık yani şifresiz olarak gönderilmelidir.

b) *Program Eşleme Tablosu (Program Map Table, PMT)*: Dizideki her program için bir tane PMT tablosu bulunur. Bir programı oluşturan ses ve görüntü paketlerinin hangi PID numaraları ile iletildiğini gösterir. Paket numaraları şifresiz olmalıdır. Buna karşılık bu pakette başka özel bilgiler de gönderilebilir ve bunlar şifrelenebilir. Bunlara örnek olarak kısıtlı kullanım şifresini çözmek için gerekli iki bilgiden biri olan *Lisans Kontrol Bilgileri (Entitlement Control Messages: ECM)* ve *Lisans Denetim Bilgileri (Entitlement Management Messages: EMM)* gösterilebilir.

c) *Kısıtlı Kullanım Tablosu (Conditional Access Table, CAT)*: Eğer iletilen dizide bir tane bile şifreli veya kısıtlı kullanımlı program varsa bu tablo da gönderilmelidir. PID=1 numaralı paket olarak gönderilir ve kısıtlı kullanım sistemlerine ait *Lisans Denetim Bilgileri (Entitlement Management Messages: EMM)* bilgisini taşıyan paketlerin numaraları bu tabloda yer alır.



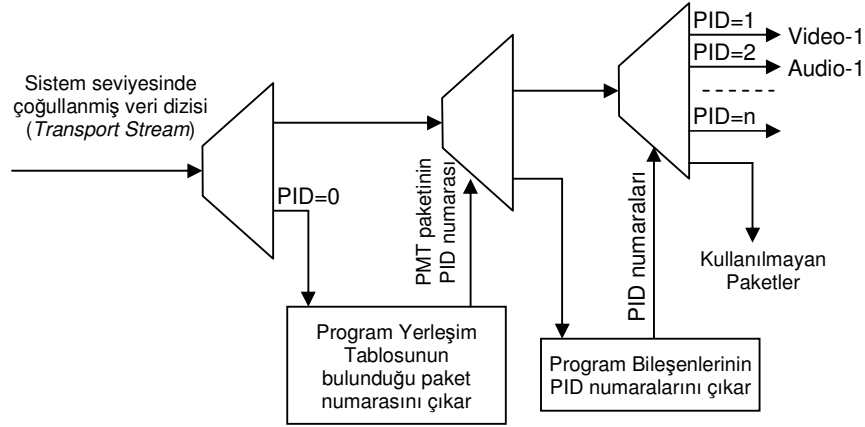
Şekil 2.5 Transport paketinin başlık kısmının açılımı

d) *Özel Tablolar*: Bu tablolarda yayınlarla ilgili özel bilgiler ve bunların hangi numaralı paketlerde bulunduğu bilgileri yer alır. Uzunluğu 4096 byte kadar olabilir.

Bu tablolara ek olarak *DVB Servis Bilgileri (DVB Service Information, DVB-SI)* tabloları da iletilebilir. Bu ek tablolar sayesinde hızlı bir şekilde kanal değiştirme ve yayınlarla ilgili bilgi alma imkanları elde edilir.

Alıcı tarafta alınan çoğullanmış transport dizinin (*Transport Stream*) ayrıştırılması için ters işlemler yapılır. Yeni bir kanal seçilip eşzamanlama sağlandıktan sonra MPEG transport dizisi gelmeye başlar. Çoğullama çözme işlemi için şu işleri yapmak gerekir:

- 1) İşleme başlamak için PID=0 numaralı paketin gelmesi beklenir. Bu paket geldiğinde çözümlenerek istenen programın Program Yerleşim Paketinin (PMT) PID numarası çıkartılır ve bu paketin gelmesi beklenir. Bu paket alındığında artık çözülecek paketler belli olmuştur. Seçenekler kullanıcıya sunulur.



Şekil 2.6 Çoğullanmış sayısal TV sinyallerinin ayrıştırılması

- 2) Kullanıcı hangi programı izleyeceğini belirleyince ilgili paketin PID numarası yardımı ile PMT tablosu elde edilir. PMT tablosunda *Program Saat Referans (Program Clock Reference, PCR)* bilgisinin bulunduğu paketin PID numarası bulunarak PCR çıkartılır ve sistem saati (STS) eşzamanlanır.
- 3) Eğer birden fazla ses veya görüntü seçeneği varsa bu izleyiciye iletir.
- 4) İzleyici seçimini yaptıktan sonra ilgili paketlerin numaraları belirlenir ve paketler geldikçe ayıklanarak hafızaya atılır ve bunlar uygun biçimde sıralanarak görüntü, ses ve data ile ilgili bağımsız bit dizileri elde edilmiş olur. Bu diziler ilgili kod çözücü bloklara iletir MPEG-2 kod çözümlenerek ses ve görüntü elde edilir.

Kanal değiştiğinde dizilerin ayrılması ve kod çözme işlemi yaklaşık bir saniye kadar zaman alır.

Ek3: SAYISAL YAYINDA GÖRÜNTÜ FORMATLARI

Sayısal TV yayını için görüntü sıkıştırma yöntemi olarak hernekadar MPEG2 standardı kabul edilmişse de elde edilmek istenen resim kalitesi ve kullanılacak ülkelere göre değişik resim formatları söz konusudur. Bu standartlaşmalar resim kalitesine göre “Yüksek Çözünürlü (HDTV)” ve “Standart Çözünürlü (SDTV)” olmak üzere ve ülkelere göre de 50 ve 60 Hz olmak üzere dört ayrı katagoride düşünülebilir.

Tablo 3-1 Sayısal görüntü formatları

	50Hz		60Hz	
	HDTV	SDTV	HDTV	SDTV
BenekxSatır	1920x1080	720x576	1920x1080	704x480
	1280x720	544,480,352x576	1280x720	640x480
En:Boy	16:9	16:9,4:3	16:9	16:9,4:3
Tarama	Sürekli (P)	Sürekli (P)	Sürekli (P)	Sürekli (P)
	Geçmeli (I)	Geçmeli (I)	Geçmeli (I)	Geçmeli (I)
Çerçeve/s	50I, 25P	50I, 50P, 25P	60I,30P, 24P	60I, 60P, 30P, 24P
	50P, 25P	50I, 25P	60P, 30P, 24P	60I, 60P, 30P, 24P

Kaynaklar

1. Avni Morgül - *Dijital Televizyon*, Anten Dünyası yayınları, İstanbul, 2002
2. Walter Fisher - *Digital Television*, Rohde&Schwarz, Springer, 2004
3. Hazy Laszlo, *Introduction to OFDM*, <http://www.sce.carleton.ca/>, 13.7.1999
4. Hervé Benoit - *Digital Television MPEG-1, MPEG-2 and principles of the DVB system*, John Wiley & Sons Inc (Arnold), New York, 1997
5. Thomas Sikora - *MPEG digital Video Coding Standards*, IEEE Signal Processing Magazine, pp:82-100, Sept. 1997
6. Avni Morgül, Adnan Ataman - *Televizyon Tekniği*, Boğaziçi Üniversitesi yayınları, YN:610, İstanbul, 1997
7. Avni Morgül - *Ortak Anten, Uydu ve Kablo TV Sistemleri*, Yenikarar Matbaası, İstanbul, 1993
8. H.V. Simms, *Principles of PAL Colour Television*, Newnes Technical Books, 1983
9. Murat Tekalp, *Digital Video Processing*, Prentice Hall, 1995
10. Martyn J. Riley, Iain E. G. Richardson - *Digital Video Communications*, Artech House, 1997
11. Bernard Grob - *Basic Television and Video Systems*, Mc. Graw-Hill, 1986