



KARASAL SAYISAL YAYIN (DİJİTAL TV)

Elo. Hab. Y. Müh.-Ümit KARACA
umit.karaca@emo.org.tr

EİK. Elo. Müh.-Ulaş BİRGÖR
ulas.birgor@emo.org.tr



Giriş

Sayısal teknolojinin gelişmesiyle birlikte haberleşme endüstrisinde birçok alanda analog olan sistemlerin sayısallaşma süreci hızlanmıştır. Karasal Sayısal Yayıncılık da bu sürecin karasal televizyon yayıncılığına uygulanmasıyla ortaya çıkan bir sistemdir. Yani sayısal yayınların uydu ve kablo aracılığıyla alınmasına üçüncü bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır. Karasal Sayısal Yayınla birlikte, var olan basit antenlerimizle daha fazla sayıda televizyon yayınına, daha yüksek kalitede ses ve görüntü imkanıyla izlememiz mümkün olacaktır.

Sayısal yayının analog yayın sistemlerine göre ses ve resim kalitesinin üstünlüğü yanında çeşitli bilgilerinde eş zamanlı ve daha ekonomik koşullarla program iletme olasılığı ülkeleri bu konudaki araştırmalarını derinleştirmeye sevk etmiştir ve sonuçlar 21.yy'ın yeni yayın sisteminin sayısal yayın sistemleri olacağını göstermiştir. 1987'de Eureka-147 adıyla kurulan Sayısal Radyo oluşumu bir Avrupa projesidir. 1994 yılında Avrupa Yayın Birliği (EBU) Avrupa'da bir DAB (Sayısal Radyo Yayıncılığı) platformu kurulmasını

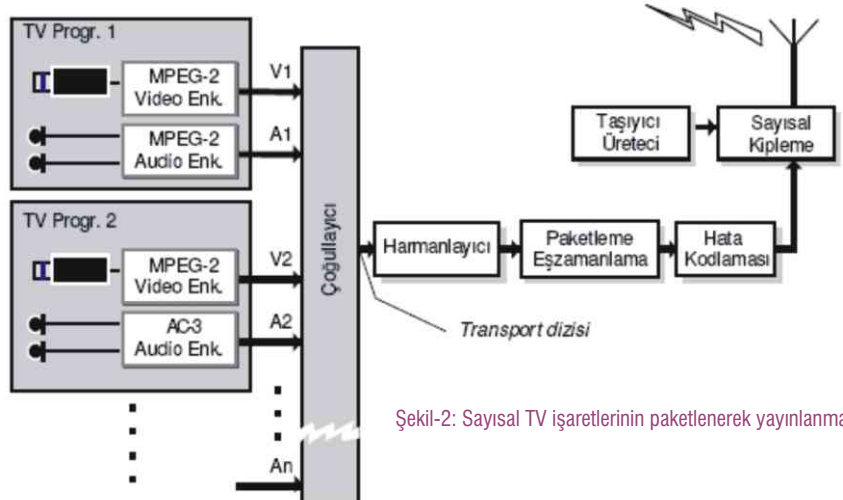
önermiş ve Ağustos 1995'te EuroDAB Forum olarak kurulmuştur. Üye sayısının Avrupa'lı olmayan ülkelere de artmasıyla bu oluşumun ismi Ocak 1997'de WorldDAB olarak değiştirilmiştir. Sayısal Televizyon ile ilgili ilk resmi çalışmalar 1993'de Bonn'da gerçekleşen DVB (Digital Video Broadcasting) projesi adı altında 20 ülkenin katılımı ile başlatılmış, şu anda katılımcı sayısı 200'e ulaşmıştır. Yayın bantlarını ve standartları bu kurumlar belirlemektedir. Stüdyoda üretilen sayısal görüntü ve ses sinyallerinin, tamamen sayısal olarak ileri modülasyon (COFDM), bit-hızı azaltma (MPEG) ve Ses Sıkıştırma Tekniği (MUSICAM) ile ses ve görüntü kalitesini daha da artırarak alıcılara kadar ulaşması sağlanmıştır. Sayısal televizyon yayınında 4-6 programın, sayısal radyo yayınında 5-8 programın bir verici ile yapılabilmesi sağlanmaktadır. **Analog yayında kapsanan aynı alanın, sayısal yayında daha düşük güçlü**

verici ile kapsanabilmesi ve dolayısıyla enerji tasarrufu sağlanmaktadır.

Birçok ülkede, yakın zamanda analog yayınların yerini alması planlanan karasal sayısal yayıncılıkta birbirinden farklı standartlar mevcuttur. Sayısal karasal yayıncılık için, Kuzey Amreikada ATSC, Japonya ve Korede ISDN-T gibi standartlar kullanılmakta iken Avrupada ve ülkemizde DVB-T standardı seçilmiştir. Bu yazımızda DVB-T standardı özelinde Sayısal Karasal yayıncılığa daha yakından bakıp, dünyadaki ve ülkemizdeki durumunu değerlendireceğiz. Ayrıca diğer sayısal yayın türleri olan uydu ve kablolu yayınla karşılaştıracacağız.

Sayısal Yayın Nedir?(DVB-T Standartı)

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



Şekil-2: Sayısal TV işaretlerinin paketlenerek yayınlanması



genlik olarak sürekli sinyallerdir. Bunları sayısallaştırabilmek için önce belli aralıklarda örnekler alınması gerekir.

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 yapılabilsa 256 seviye, 3-bit'lik bir kodlama yapılabilsa 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.

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 $13 \times 24 = 312$ Mb/s olmaktadır. 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.

Görüntü sıkıştırma yöntemleri üç ana esasa dayanır:

1. Görüntüdeki uzaysal ilişkilerden yararlanılarak gereksiz bilgilerin atılması,

Levels	Profiles				
	Simple 4:2:0	Main 4:2:0	SNR scalability 4:2:0	Spatial scalability 4:2:0	Professional 4:2:2
High 1920 x 1152	Undefined	80 Mbit/s	Undefined	Undefined	100 Mbit/s
High-1440 1440 x 1152	Undefined	60 Mbit/s	60 Mbit/s	60 Mbit/s	80 Mbit/s
Main 720 x 576	15 Mbit/s	15 Mbit/s	15 Mbit/s	15 Mbit/s	20 Mbit/s
Low 352 x 288	Undefined	4 Mbit/s	4 Mbit/s	4 Mbit/s	Undefined

Şekil-3: MPEG-2 profilleri ve seviyeleri

2. Görüntüdeki zamansal ilişkilerden yararlanılarak gereksiz tekrarların atılması,
3. İnsan gözünün ayırt edemeyeceği detayların atılması.

Sabit resimlerde uzaysal benzerlikler, hareketli resimlerde ise hem uzaysal (resim içi) hem de zaman içindeki (resimler arası) benzerlikler kullanılarak büyük sıkıştırmalar yapılabilir. Sabit resimlerde 10:1 ile 50:1, hareketli görüntülerde ise 50:1 ile 200:1 oranlarında bir sıkıştırma yapılabilmektedir. Ancak, bu kadar yüksek sıkıştırmalar için görüntü kalitesinde az da olsa bir kayıp söz konusudur.

Sayısal görüntü sıkıştırmada kullanılan değişik standartlar kullanılmaktadır. Bunlar:

- JPEG: Hareketsiz resimleri sıkıştırmak için kullanılır.
- CCIR-601 FORMATI (D1 FORMATI) 1982'de kabul edilen ilk standarttır. Sadece çok düşük ayırcılığın gerektiği videofon, telekonferans, izleme sistemleri gibi yerlerde kullanılır.
- MPEG1: Düşük ayırcılığı olan uygulamalarda (VCD, multimedia gibi) kullanılmaktadır. En yüksek veri hızı 1.8 MB/s ile sınırlıdır.
- MPEG-2: Yüksek kaliteli görüntü verebilen bir standarttır. Veri hızı 2-20MB/s arası değişebilir.

Sayısal Karasal TV yayınlarında MPEG-2 sıkıştırma standardı kullanılmaktadır.

MPEG (Moving Picture Expert Group) sesle birlikte resim sinyallerinin digital sıkıştırılması için standart belirleme amacıyla ISO/IEC içinde bir alt çalışma grubu olarak 1988'de çalışmaya başlamıştır.

MPEG'in ilk projesi MPEG-1 (ISO/IEC 11172) 1993'de yayınlanmıştır. MPEG-1 birleşik audio ve video'yu sıkıştırma, kodlama ve multiplex sistemini tarif eden bir standarttır. Bu standart VHS kalitesinde 1.5 Mb/s'e kadar videoyu ve 192 kb/s'e kadar stereo audioyu saklamak için kullanılır.

1995'de MPEG-2 standardının (ISO/IEC 13818) son hali yayınlanmıştır. MPEG-2 standardı, 3-15 Mb/s'de SDTV ve 15-30 Mb/s arasındaki bit hızlarında da HDTV'yi kodlama yeteneğine sahiptir. MPEG-1'in stereo audio kalitesini, multi-channel surround sound kalitesine çıkartmıştır.

MPEG-2 çeşitli uygulamaları destekleyen özel bir kodlama sistemidir. Bir çok uygulama için geliştirilmiş farklı algoritmalar bu standardın içine entegre edilmiştir. MPEG-2 decoder'larına tüm standartların özelliklerini uygulamak



gereksiz şekilde kompleks ve band genişliğinde de israftır. Bundan dolayı, Profiles ve Levels diye bilinen standardın alt kümeleri tanımlanmıştır. Profiles fonksiyonu (alt kümeyi), Levels çözünürlüğü (resmin büyüklüğünü ve bit hızını) tarif eder. DTTB, SDTV (Standart Tanımlı TV Servisleri) için Main Profiles/Main Levels, HDTV (Yüksek Tanımlı TV Servisleri) için Main Profiles/High Levels kullanır. MPEG-2 Profiles ve Levels aşağıdaki tabloda gösterilmektedir.

Videoda sıkıştırmanın mantığı, yüksek frekanslardaki renk değişikliklerini gözün çözümüleme yeteneğinin az olmasına dayanır. Bundan dolayı her bir freym (resim çerçevesi) ve freymler arasında birçok fazlalıklar vardır. Audio sıkıştırma ise insan kulağının duyma özelliği kullanılarak duyulamayan sesin iletilmemesi mantığına dayanır.

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.

DVB-T: Karasal yayınlar için COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex: Kodlu Dikgen Frekans Bölümlemeli Çoğullama)

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)

COFDM, gönderilecek bilginin birçok taşıyıcının bulunduğu bir küme içinden birbirine orthogonal (dik) seçilen alt taşıyıcılarla (sub-

carrier) kodlanarak gönderilmesi ve burada iletim bandı içinde Frekans Bölümeli Çoğullama (FDM/Frequency Division Multiplexing) yapılması esasına dayalı modülasyon tekniğidir.

Frekans bandını etkin bir şekilde kullanan OFDM kiplemesi 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 tümdevrelerin (VLSI) gelişmesi ile Sayısal Radyo-TV yayınları ile Telsiz Yerel Veri İletişimi (Wireleses LAN) sistemlerinde başarı ile kullanılmaya başlanmıştır.

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 saklanır. Bu durumda yan yana 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.

RTÜK, ülkemizde yapılacak olan Karasal Sayısal TV yayıncılığında (DVB-T), aşağıdaki kriterler referans olarak uygulanacağını bildirmiştir. Bu seçilen parametrelerle bir kanaldan 22.12 Mb/s'lik data gönderilebilecektir. Bu kapasiteyle 4 adet SDTV (Pal kalitesinde sayısal TV yayını

yaklaşık 5.5 Mb/s) ve veri hizmetleri yapmak mümkün olabilecektir. Bu kriterlere yakından bakalım.

Taşıyıcı Modu	8-k (6 817)
Güvenlik Aralığı	1/8 (112 μ s)
Kodlama Oranı	2/3
Modülasyon Tipi	64-QAM

Şekil-4: RTÜK tarafından ülkemizdeki Sayısal TV için seçilen parametreler

Taşıyıcı modu : 8k

Büyük şehirlerde SFN planlamasının verimli bir şekilde yapılabilmesine imkan tanır. 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 250 μ s dir. 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.



Güvenlik aralığı : 1/8 (112 µs)

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

Güvenlik aralığı yararlı sembolere eklenen boşluk süresi olup, bu süre arttıkça gönderilen data kapasitesi azalmakta, tersi durumda ise data kapasitesi artmaktadır. Ayrıca SFN planlamasında güvenlik aralığına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu aralığın süresi doğrudan SFN ağının büyüklüğünü belirlemektedir. Güvenlik aralığı parametreleri 1/4, 1/8, 1/16 ve 1/32 olup, RTÜK, güvenlik aralığı olarak 1/8'i seçmiştir.

Kodlama oranı : 2/3

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.

Kodlama oranları, 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 ve 7/8 olup bunlardan en iyi koruma 1/2 ile sağlanarak en az data gönderilmekte, en az koruma ise 7/8 ile sağlanarak en fazla data gönderilebilmektedir. Bu parametreler C/N (taşıyıcı sinyal-gürültü oranı) ile data gönderme kapasitesini doğrudan etkilemektedir.

Modülasyon tipi : 64-QAM

DVB-T planlaması sabit alışlara göre yapılmakta olup, 4-QAM, 16-QAM ve 64-QAM arasından, data gönderme kapasitesi en fazla olan ve aynı zamanda sabit alışa da uygun olan 64-QAM'dir. 64 QAM'de, bilgi sinyali ile modüle edilen taşıyıcının hem fazı hem genliği değişir. 64 durum vardır. Her sinyalle 6 bit iletilir.

Bir sonraki sayıda: Sayısal TV Dünyadaki ve ülkemizdeki uygulamaları, diğer sayısal yayınlarla (kablolu ve uydu) farkları ve geleceği....

Referanslar:

- DVB-T, İbrahim CÜCİOĞLU Elektrik Yüksek Mühendisi.
- Karasal TV Yayını, Prof. Dr. Avni MORGÜL, B.Ü. Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü Öğretim Üyesi.
- Principles of OFDM, Louis Litwin and Michael Pugel, RF Design, 2001.
- The Magics of Terrestrial Digital TV, Gerard Faria, TeamCast, France, 2001.
- Radyo ve Televizyon Üst Kurulu (RTÜK), Sayısal Yayıncılık, www.rtuk.org.tr