

Katlamalı Kodlayıcıların Tek Taşıyıcılı ve Çok Taşıyıcılı Haberleşme Sistemlerinin Başarımları Üzerine Etkisinin İncelenmesi

Ahmet Altun, Ali Özen
Nuh Naci Yazgan Üniversitesi - HARGEM
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Kayseri
ahmtt.93@gmail.com, aozen@nny.edu.tr

Özet: Bu bildiri, frekans seçici Rayleigh sönümlemeli kanallar nedeniyle oluşan semboller arası girişim (Inter-Symbol Interference, ISI)'in üstesinden gelebilmek için kullanılan katlamalı kodlayıcı (Convolutional Coding, CC)'lerin tek taşıyıcılı (single carrier, SC) ve çok taşıyıcılı (multi carrier, MC) haberleşme sistemleri üzerindeki etkileri incelenmektedir. Tasarlanan sistemin verimliliğini doğrulamak ve SC ile MC haberleşme sistemlerini karşılaştırmak için frekans seçici Rayleigh sönümlemeli kanallarda bilgisayar benzetimleri yapılmaktadır. Elde edilen benzetim sonuçları AWGN kanalda MC haberleşme sistemlerinin SC haberleşme sistemlerinden yaklaşık olarak 1 dB ve frekans seçici Rayleigh sönümlemeli kanalda ise SC haberleşme sistemlerinin MC haberleşme sistemlerinden yaklaşık olarak 2 dB daha yüksek SNR kazancı sağladığını göstermektedir.

Abstract: The effects of Convolutional coding (CC) employed to overcome inter symbol interference (ISI), composed of frequency selective Rayleigh fading channels, are investigated in single carrier (SC) and multi carrier (MC) communication systems in this paper. Computer simulations are performed to verify the efficiency of the designed system and compare with SC and MC communication systems in frequency selective Rayleigh fading channels. The obtained simulation results have demonstrated that the MC communication system provides high SNR improvement of approximately 1 dB from SC communication system in AWGN channel and the SC communication system provides high SNR improvement of approximately 2 dB from MC communication system in frequency selective Rayleigh fading channels.

1. Giriş

Kanal kodlaması [1, 2], modern haberleşme sistemlerinin vazgeçilemez bir bileşenidir. Kanal kodlaması veya diğer adı ile hata düzeltim kodlaması, veriyi kanalda oluşabilecek bozulmalara karşı koruyarak sistemin başarımını arttırmaktadır. Kanal kodlamalı bir sistem, kodlanmamış sistem ile aynı güçte çalıştırılıp daha güvenilir iletişim veya daha az güç ile çalışıp aynı kalitede iletişim kurma seçeneği sunar.

Bir haberleşme sisteminin temel amacı bilgiyi kaynaktan (verici) alıp doğru olarak hedefe (alıcı) transfer etmektir. Bu yapılırken, birim zamanda alıcıya hatasız olarak aktarılacak veri oranını yüksek tutulması gerekir. Ancak, bütün haberleşme sistemlerinde bilgi, vericiden alıcıya gürlütlü bir iletim ortamı üzerinden gönderilir. Bu durum, gönderilen bilgide hataların oluşmasına veya bilginin bozulmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, herhangi bir haberleşme kanalı üzerinden bilgi iletmeye çalışırken, asıl amaçlardan biri de güvenilirliği sağlamaktır. Bu amaca ulaşılp ulaşılmadığı alıcıda ölçülen doğru algılama oranı ile belirlenir.

İletim sırasında oluşan hatalar kanalın bozucu etkilerinden kaynaklandığından, haberleşme sistemi tasarlanırken kanalın gürlütlü özellikleri belirlenip uygun şekilde modellenmelidir. Seçilen kanal modeline uygun olarak doğru iletimi sağlamak için hata başarımını artıracak önlemler alınmalıdır. Kanal kodlaması yapılarak belirli bir hata olasılığıyla gürlütlü bir kanaldan bilgi iletimi mümkündür. Bu konuyla ilgili olarak ilk çalışma 1948 yılında Shannon tarafından yapılmıştır [1]. Shannon, gürlütlü seviyesi, işaret gücü ve bant genişliği gibi kanalın karakteristik özelliklerinden yola çıkarak kanal kapasitesinin hesaplanabileceğini ispatlamıştır. Kanal kapasitesi, birim zamanda kanaldan güvenilir bir şekilde iletililecek maksimum veri miktarıdır. Shannon, veri iletim hızı kanal kapasitesinin altında olduğu sürece bilginin uygun biçimde kodlanmasıyla, veri iletim hızından taviz vermeden, gürlütlü kanallarda ortaya çıkabilecek hata olasılığının azaltılabileceğini göstermiştir. Shannon'un çalışmasından bu güne, gürlütlü ortamlarda etkin kodlama ve kod çözme teknikleri ile hata kontrolü için büyük çaba harcanmıştır.

Sayısal haberleşme sistemlerinde kullanılan kanal kodlama teknikleri ya da hata düzeltim kodları, bilgiyi gürlütlü ve diğer bozucu etkilerden korumak, alıcıda bit hata oranını (bit error rate, BER) düşürmek için kullanılır. Kodlama tekniğindeki en büyük problem, güvenilir bir iletişim sağlayabilmek için hataların kontrolünün sağlanmasıdır. Kanal kodlama, genellikle gönderilecek bilgiye belirli bir seçicilikte artık bitler eklenerek gerçekleştirilir. Bu artık bitler, hatanın algılanmasına ve düzeltilmesine olanak sağlayarak daha güvenilir bir bilgi iletimini gerçekleştirmeyi mümkün kılar. Bilgiyi koruma amaçlı kullanılan kanal kodlamanın kullanıcıya maliyeti, veri hızında bir azalma veya bant genişliğinde istenmeyen bir artıştır. Sistemin ihtiyacına bağlı olarak bilgi dizisine uygulanabilen birçok kanal kodlama teknikleri mevcuttur. Kanal kodlama tekniklerinden en temel iki grup, "Blok Kodlama" ve "Katlamalı Kodlama" teknikleridir.

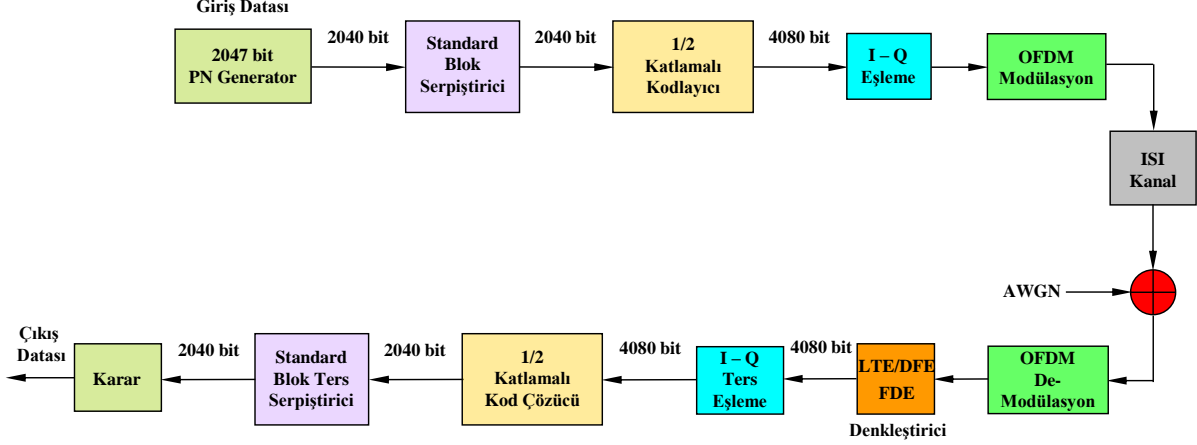
Blok kodlar, hem hata algılama hem de hata düzeltimi için kullanılabilir. Yaygın olarak kullanılan bazı blok kodları; Hamming kodları, BCH kodları, Golay kodları ve Reed Solomon kodlarıdır [3]. En önemli kanal kodlama tekniklerinden bir diğeri de Katlamalı kodlardır (convolutional coding, CC). Katlamalı kodlar, genellikle pratik iletişim sistemlerinde kullanılırlar [3, 4]. Bu kodlar, tüm bilgi dizisini tek bir kodlanmış cümle haline getirirler. Katlamalı kodlama esnasında bitler hem şu anki k -bitlik girdiye hem de geçmişteki girdilere bakarak kodlanır.

Kodlayıcıların getirdiği kolaylıklardan faydalanan bu çalışmada, frekans seçici Rayleigh sönümlemeli kanallar nedeniyle oluşan ISI'yı ortadan kaldırmak için 1/2 katlamalı kodlayıcıların monte edildiği SC ve MC haberleşme sistemlerinde başarımların analizi yapılmaktadır. SC ile MC haberleşme sistemlerini karşılaştırmak için frekans seçici Rayleigh sönümlemeli kanallarda farklı modülasyon türleri için bilgisayar benzetimleri yapılmaktadır. Elde edilen sonuçlardan AWGN kanalda MC sistemlerinin SC sistemlerinden daha iyi olduğu ve frekans seçici Rayleigh sönümlemeli kanallarda ise SC'in MC'dan daha iyi olduğu görülmektedir.

Benzetimlerde 1/2 katlamalı kodlayıcıyı kullanan SC ve MC haberleşme sistemi modeli 2. bölümde özetlenmektedir. 3. bölümde bilgisayar benzetim ortamı ve çalışmaları tanıtılmaktadır. Son bölümde ise bilgisayar benzetim sonuçları ele alınarak elde edilen sonuçlar verilmektedir.

2. Sistem Modeli

1/2 katlamalı kodlayıcının kullanıldığı SC ve MC haberleşme sistemlerinin frekans seçici Rayleigh sönümlenmeli kanal başarımını değerlendirmek için Şekil 1'de verilen haberleşme sistemi bilgisayar ortamında gerçekleştirilmiştir.



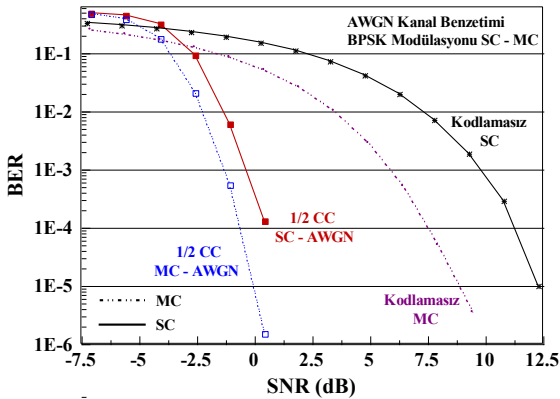
Şekil 1. 1/2 katlamalı kodlayıcının kullanıldığı SC ve MC tabanlı haberleşme sisteminin fiziksel katmanı.

Şekil 1'de bulunan verici yapısında alt veri paketlerinin her biri için veri olarak 2047 bit uzunluklu PN dizisinin 2040 bitini alınıp ve blok serpiştiriciden geçirilerek elde edilen veri 1/2 oranındaki katlamalı kodlamaya tabi tutulur. Daha sonra, kodlanmış veriler I-Q eşlemeden geçirilerek (modülasyona tabi tutularak) istenen herhangi bir işaret yıldız kümesine (BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM ve 256-QAM) dönüştürülür. I-Q eşlemesi yapılan veriler ya SC haberleşme için doğrudan antene verilir ya da MC haberleşme için istenen OFDM işaretleri üretilerek antene verilir. Üretilen verilere toplanır beyaz Gauss gürültüsü (AWGN) eklenerek alıcıya gönderilir. Bu çalışmada, OFDM işaretinin üretimi için HIPERLAN/2 standardının öngördüğü alt taşıyıcı sayısı 48, pilot sayısı 4 ve güvenlik aralığı içinde 12 bit boş bırakılarak oluşturulan 64 bit frekans bölgesi OFDM işaretine 64 noktalı IFFT (Inverse Fast Fourier Transform) işlemi uygulanır. Elde edilen 64 bit zaman bölgesi OFDM işaretinin son 1/4'lik kısmı (16 bit) çevrimsel önek (cyclic prefix, CP) olarak başa eklenerek 80 bitten oluşan OFDM sembolü elde edilir.

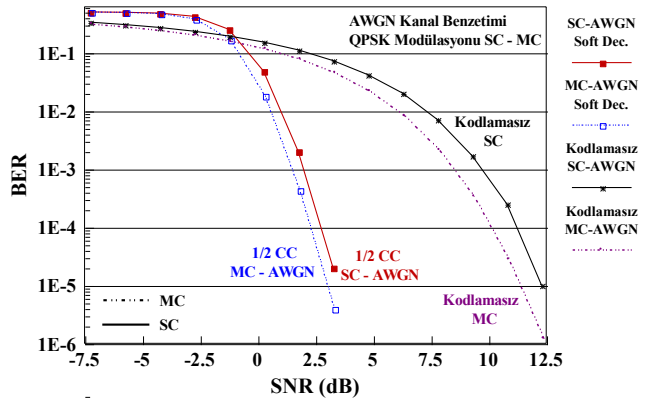
Alıcı yapısında ise, OFDM de-modülasyon ve I-Q ters eşlemeden sonra 1/2 CC kod çözücü bloğu içerisinde yumuşak çıkışlı Viterbi algoritması (Soft Output Viterbi Algorithm, SOVA) kullanılarak alınan verilerin kodu çözülür. Kodu çözülen veriler ters serpiştirici bloğundan geçirilerek karar mekanizmasına gönderilir. Karar mekanizması bloğunda ise kodu çözülmüş ve ters serpiştirilmiş verilere karar verilerek istenen başarımlar karşılaştırılmaları yapılır.

3. Bilgisayar Benzetim Sonuçları

Benzetim çalışmalarında, 1/2 CC'nin kullanıldığı SC ve MC haberleşme sistemlerinin başarımlarını karşılaştırmak için AWGN ve frekans seçici Rayleigh sönümlenmeli kanallar üzerinden bit hata oranı (Bit Error Rate, BER) kriteri kullanıldı. Bu çalışmada, frekans seçici kanallar için Proakis kanal profili [4], ortalama dal ağırlık katsayıları (0.227, 0.460, 0.688, 0.460, 0.227) olan, 5 dallı Rayleigh kanal modeli kullanılmıştır. Kanalı denkleştirmek için SC'de 9 dallı doğrusal enine denkleştirici (Linear Transversal Equalizer, LTE)'den ve MC'de frekans bölgesi kanal denkleştirici (frequency domain equalizer, FDE)'den yararlanılmıştır. Yapılan benzetimlerin hepsinde LTE'lerin bütün dalları başlangıçta sifira ayarlanmıştır.



Şekil 2. BPSK modülasyonu kullanılan 1/2 CC'li SC ve MC haberleşme sistemlerinin AWGN kanal başarımlarının karşılaştırılması.



Şekil 3. QPSK modülasyonu kullanılan 1/2 CC'li SC ve MC haberleşme sistemlerinin AWGN kanal başarımlarının karşılaştırılması.

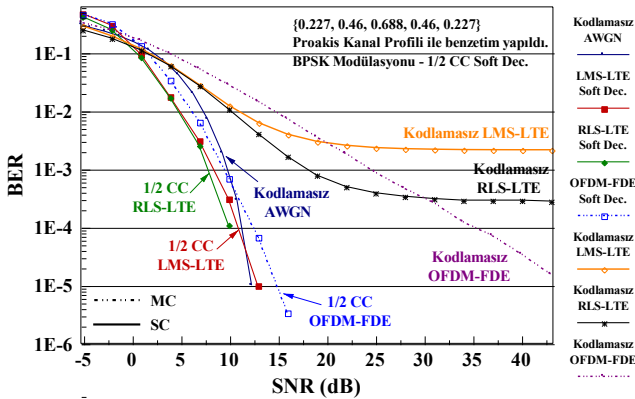
Benzetimlerde LTE'nin katsayılarını güncellemek için en küçük ortalama kareler (least mean square, LMS) algoritması ve öz yinelemeli en küçük kareler (recursive least square, RLS) algoritması kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda LMS algoritmasının adım

büyüklüğü parametresi 0.045 ve RLS algoritmasının unutma faktörü parametresi 0.999 olarak alınmıştır. SC haberleşme sistemleri için BER başarımları HIPERLAN/1 standardında kullanılan 450 bitlik öğrenme dizisinden sonra BPSK ve QPSK modülasyonu için 2040 sembol uzunluğundaki veriler için elde edilmiştir. MC haberleşme sistemleri için frekans seçici Rayleigh sönümlenmeli kanal denkleştirme için FDE kullanılmıştır. Frekans bölgesi kanal denkleştirici benzetiminde kanalı kestirimi amacıyla 63 bitlik PN dizisi kullanılmıştır. BER başarımları HIPERLAN/2 standardında kullanılan iki adet uzun başlangıç ekinden (160 bitlik öğrenme dizisi) sonra BPSK ve QPSK modülasyonu için 43 OFDM sembol uzunluğundaki veriler için elde edilmiştir. Benzetimler 1000 kanal üzerinden BPSK ve QPSK modülasyonlu HIPERLAN/1 ve HIPERLAN/2 (IEEE 802.11a) tabanlı sistemler için elde edilmiştir. Ayrıca, yapılan çalışmada 1/2 CC'nin SC ve MC haberleşme sistemleri üzerindeki katkısı analiz etmek için serpiştirici kullanımının etkisi ile sert kararlı (hard decoding) ve yumuşak kararlı (soft decoding) kod çözücü kullanımının etkileri de incelenmiştir [5].

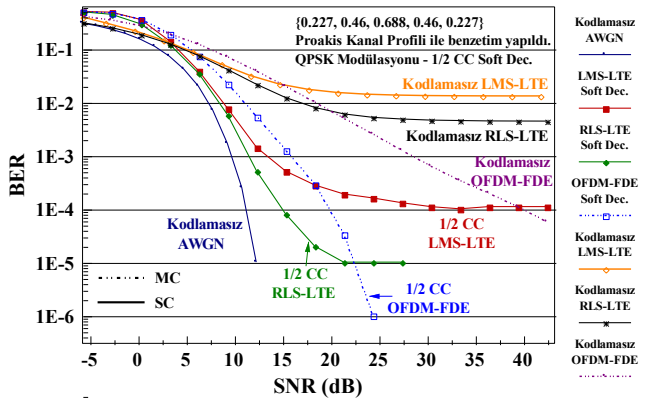
Şekil 2'de BPSK ve Şekil 3'te QPSK modülasyonlu 1/2 CC'li SC ve MC haberleşme sistemlerine ilişkin AWGN kanalda elde edilen BER-SNR başarımları eğrileri verilmektedir.

Şekil 2'deki BPSK modülasyonuna ait BER-SNR başarımları incelendiğinde, yumuşak kararlı kod çözücü kullanılan SC ve MC haberleşme sisteminde 10^{-3} BER değeri için MC'in SC'den yaklaşık olarak 1 dB daha yüksek SNR kazancı sağladığı görülmektedir. Ayrıca, SC sistemin 10^{-3} BER değeri için kodlanmamış SC-AWGN başarımından yaklaşık olarak 9.5 dB ve MC sistemin ise kodlanmamış MC-AWGN başarımından yaklaşık olarak 7 dB daha iyi başarımlar sağladığı gözlenmektedir. Şekil 3'teki QPSK modülasyonuna ilişkin başarımlar incelendiğinde de benzer sonuçların elde edildiği görülmektedir. Sadece modülasyon derinliği arttığı için aynı başarımlar daha yüksek SNR değerinde elde edilmektedir.

Şekil 4'te BPSK ve Şekil 5'te QPSK modülasyonlu 1/2 CC'li SC ve MC haberleşme sistemlerine ilişkin frekans seçici Rayleigh sönümlenmeli kanallarda elde edilen BER-SNR başarımları eğrileri verilmektedir.



Şekil 4. BPSK modülasyonu kullanılan 1/2 CC'li SC ve MC haberleşme sistemlerinin AWGN+frekans seçici Rayleigh sönümlenmeli kanal başarımlarının karşılaştırılması.



Şekil 5. QPSK modülasyonu kullanılan 1/2 CC'li SC ve MC haberleşme sistemlerinin AWGN+frekans seçici Rayleigh sönümlenmeli kanal başarımlarının karşılaştırılması.

Şekil 4'teki BPSK modülasyonuna ilişkin BER-SNR başarımları incelendiğinde, kodlamanın kullanılmadığı durumda SC-LMS-LTE 20 dB'den önce MC-OFDM-FDE başarımını geçerek yaklaşık olarak 4×10^{-3} BER değerine yakınsarken SC-RLS-LTE 30 dB'den önce MC-OFDM-FDE başarımını geçerek yaklaşık olarak 5×10^{-4} BER değerine yakınsamaktadır. Buna karşılık, yumuşak kararlı kod çözücü kullanılan LMS-LTE ve RLS-LTE başarımının kodlanmamış AWGN kanal ve OFDM-FDE başarımını geçerek hata tabanını ortadan kaldırdığı görülmektedir. Ayrıca, 10^{-3} BER değeri için SC-LMS-LTE ve SC-RLS-LTE başarımının MC-OFDM-FDE başarımından yaklaşık olarak 2 dB daha yüksek SNR kazancı sağladığı görülmektedir.

Şekil 5'teki QPSK modülasyonuna ilişkin BER-SNR başarımları incelendiğinde, kodlamanın kullanılmadığı durumda SC-LMS-LTE 15 dB'den önce MC-OFDM-FDE başarımını geçerek yaklaşık olarak 10^{-2} BER değerine yakınsarken SC-RLS-LTE 20 dB'den önce MC-OFDM-FDE başarımını geçerek yaklaşık olarak 6×10^{-3} BER değerine yakınsamaktadır. Buna karşılık, yumuşak kararlı kod çözücü kullanılan LMS-LTE ve RLS-LTE başarımlarında hata tabanının ortaya çıktığı gözlenmektedir. Ayrıca, 10^{-3} BER değeri için SC-LMS-LTE başarımının MC-OFDM-FDE başarımından yaklaşık olarak 3 dB ve SC-RLS-LTE başarımının MC-OFDM-FDE başarımından yaklaşık olarak 4 dB daha yüksek SNR kazancı sağladığı görülmektedir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, haberleşme sistemlerinin başarımını arttırmak için kullanılan katlamalı kodlayıcılarda serpiştirici kullanımının etkileri ile yumuşak kararlı ve sert kararlı kod çözücü kullanımının etkileri incelenmiştir [5]. HIPERLAN/1 ve HIPERLAN/2 fiziksel katman özellikleri kullanılarak tasarlanan 1/2 katlamalı kodlamalı haberleşme sisteminin AWGN ve AWGN + frekans seçici Rayleigh sönümlenmeli kanal başarımlarının karşılaştırmalı olarak analizi ve bilgisayar benzetimi yapılmıştır. AWGN kanal benzetimlerinde MC'in SC'den daha yüksek SNR kazancı sağladığı gözlenmiştir. Frekans seçici Rayleigh sönümlenmeli kanallarda ise SC'in MC'dan daha yüksek SNR kazancı sağladığı tespit edilmiştir. Katlamalı kodlayıcının kullanımı ile hesaplama karmaşıklığının bir miktar artmasına rağmen elde edilen verim artışı kayda değer bulunmuş ve uygulamada elde edilen başarımlar için bu karmaşıklığın göze alınabilir boyutta olabileceği kanısına varılmıştır.

Kaynaklar

- [1]. Shannon C. E., "A Mathematical Theory of Communication", The Bell System Technical Journal, Vol. 27, p. 379- 423, 1948.
- [2]. Sklar B., Digital Communications: Fundamentals and Applications, 2nd Edition, Prentice Hall, 2001.
- [3]. Haykin S., Communication Systems, 3rd Edition, John Wiley & Sons, Inc., Canada, 1994.
- [4]. Proakis J. G., Digital Communications, 4th Edition, Mc Graw Hill International Edition, 2001.
- [5]. Altun A., Katlamalı Kodlayıcıların Tek Taşıyıcılı ve Çok Taşıyıcılı Haberleşme Sistemlerinin Başarımı Üzerine Etkilerinin İncelenmesi, Lisans Tezi, Nuh Naci Yazgan Üniversitesi - HARGEM, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Haziran 2016, Kayseri.