

## 5G Teknolojisi İçin Kodlama Tekniklerinin Karşılaştırılması

Lale Çakmak, Salim Kahveci  
Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü  
61080, Trabzon  
[393274@ogr.ktu.edu.tr](mailto:393274@ogr.ktu.edu.tr), [salim@ktu.edu.tr](mailto:salim@ktu.edu.tr)

**Özet:** Beşinci nesil (5G) kablosuz iletişim teknolojilerinde kanal kodlaması, günümüzde ortaya çıkan sayısız kullanım uygulamalarından dolayı yeni zorluklarla karşı karşıyadır. Kablosuz iletişim sistemleri hızla gelişmektedir. Bu nedenle mevcut uygulamaların geliştirilmesi, yeni hizmet ve uygulamaların sunulması ihtiyacı doğmuştur. İkinci nesilden (2G), dördüncü nesil (4G) kablosuz sistemlere kadar "Turbo Kodlar" kullanılmaktaydı. Ancak bu kodlar 5G standardı için yeterli değildir. 5G teknolojisinde kullanılan kanal kodları; kod uzunlukları, hızları ve kod çözme karmaşıklığı gibi yönlerden optimum performansı göstermelidir. Bu çalışmada 5G sistemleri için en iyi kodlama teknikleri olarak kabul edilen "Polar Kodlama" ve "Düşük Yoğunluklu Eşlik Denetim (LDPC) Kodlama" tekniklerinden bahsedilerek karşılaştırılmaları yapılmıştır.

**Abstract:** Channel coding in 5G wireless communication technologies is facing new challenges due to the large number of applications emerging. Wireless communication systems are developing rapidly. Therefore, there is a need to improve existing applications and offer new services. "Turbo Codes" were used in systems from 2G to 4G. However, these codes are not sufficient for 5G standard. Channel codes used in 5G technology; It should show optimum performance in terms of code lengths, speeds, and decoding complexity. In this study, "Polar Coding" and "LDPC Coding" techniques, which are accepted as the best coding techniques for 5G systems, are mentioned and compared.

### 1. Giriş

5G haberleşme sistemleri kullanıcı sayılarının artması ve kullanıcıların daha fazla hizmet talep etmesi, erişim teknolojilerinin daha fazla gelişmesini zorunlu hale getirmektedir. 5G'nin 4G'den daha fazla hizmet ve fayda sağlaması, bu teknolojik gelişmeyle tüm dünyanın birbirine bağlanarak küresel bir kablosuz internet şebekesinin doğması ve bu teknolojinin kullanıcıların daha önce kullanmadığı kadar yüksek bant genişliği sağlaması beklenmektedir. 5G teknolojileri söz konusu gereksinimlere yönelik olarak; düşük maliyet, kapasite ve hız artışı, kapsamının artırılması gibi çözüm önerileri sunmaktadır. 5G sistemleri yüksek hızlara ek olarak, daha düşük gecikme süresi vadetmektedir. 5G iletişim sistemiyle Gigabit seviyesinde veri hızına ulaşmak için temel zorlu faktör, en iyi modülasyon ve kodlama tekniğini bulmaktır. Turbo kodlama, 2G'den 4G'e kablosuz sistemlerine kadar kullanılmaktaydı. Ancak 5G sistemlerinde bu kodlama yetersiz görülüp, LDPC kodlama ve polar kodlama üzerine yoğunlaşmıştır. Polar kodlama, LDPC ve turbo kodlamayla karşılaştırıldığında daha düşük karmaşıklığa sahiptir [1]. Bu çalışmada kodlama tekniklerinin tamamı detaylandırılmamıştır. LDPC ve polar kodlama hakkında kısaca bilgi verilmiş; 5G'de kullanımlarının avantajları ve dezavantajlarına değinilerek, turbo kodlarla karşılaştırılması yapılmıştır.

### 2. Kodlama Teknikleri

#### A. LDPC Kodlama

Düşük yoğunluklu eşlik denetim (LDPC) kodları, diğer adıyla Gallager kodları, ilk olarak 1962'de Gallager tarafından bulunmuştur [2]. Bu kodlar, iteratif kod çözme yapılarının karmaşıklığının blok uzunluğuyla doğrusal olarak artmasından dolayı çok iyi kodlar olarak nitelendirilmektedir. Klasik kodlarda, blok uzunluğuyla karmaşıklık arasındaki ilişki üstel olarak doğru orantılıdır. LDPC kodlar çok hızlı kodlama ve kod çözme algoritmalarıyla donatılmıştır. Bu kodlama, düşük sinyal-gürültü oranı altında mükemmel hata tespiti yapabilen sağlam bir FEC kodlama sistemine sahiptir. Haberleşme alanı ile ilgili birçok uygulamada kullanılır.

#### B. Polar Kodlama

Polar kodlar, 2009'da E. Arıkan tarafından bulunan Shannon kapasitesi sınırına ulaşma yeteneğine sahip ilk kodlar olarak kabul edilir [3]. Kutupsal kodlar için, temel kod çözme yöntemi olan Ardışık İptal (SC) kod çözme yöntemi kullanılır. Bu mimarinin avantajları, yüksek enerji verimliliği ve esnekliktir. Kod yapısı; fiziksel kanalı sanal dış kanallara dönüştüren, kısa çekirdek kodunun çoklu özyinelemeli birleşimine dayanır. Özyineleme sayısı arttığında, sanal kanallar ya yüksek güvenilirliğe ya da düşük güvenilirliğe sahip olma eğilimindedir (başka bir deyişle, kutuplaşırlar) ve veri bitleri en güvenilir kanallara tahsis edilir. Polar kodlama geniş uygulama alanı potansiyeline sahiptir. Optik iletişim, Büyük Makine Tipi İletişim (mMTC) ve Terahertz iletişimleri gibi yeni nesil iletişim hizmetlerinde, yüksek enerji verimli kod çözücüler olarak önerilmektedir.

### **3. Kodlama Tekniklerinin Karşılaştırılması**

Bu bölümde, 5G teknolojilerinin ihtiyaç duyduğu temel kullanım ve hizmetlerden bazılarında bahsedilerek; turbo, LDPC ve polar kodlar arasında karşılaştırma yapılmıştır.

#### **A. BLER**

LDPC kodları, polar kodlardan daha iyi blok hata oranı (BLER) performansı sağlar. Turbo kodlar bazı uygulamalarda, LDPC ve polar kodlardan daha iyi performans gösterse de yüksek sistem karmaşıklığından ve hata tabanının varlığından muzdariptir. Bu, 5G sistemlerinde istenmeyen bir durumdur. LDPC kodları kod hızı ve düşük karmaşıklık olarak daha iyi performans gösterir. Turbo Kodlar, daha az kodlama hızında ve büyük mesaj uzunluklarında daha iyi performans sağlarken, LDPC kodları yüksek kodlama hızı gerektirir. Polar kodları küçük bir alan kullanır ve diğer kodlardan daha az güç tüketimi sağlar.

#### **B. eMBB**

Gelişmiş mobil bant genişliği (eMBB), yüksek veri hızları ve yüksek miktarda kapasite anlamına gelmektedir. Yüksek kod oranlarında LDPC kodları, iyi alan verimliliğini ve yüksek gücü destekler. Turbo kodlar ise küçük bloklarda zayıf performansa, düşük güce ve düşük alan verimliliğine sahiptir. LDPC kodları, kodların iyi ayrıştırma düzeyini desteklemekte güçlük çekerken; turbo kodlar kodların iyi ayrıştırma düzeyine ulaşmasını sağlar [4]. 5G sistemlerinin; kodlama verimliliği, kapsama alanı ve sinyal verimliliği iyileştirmek gibi eMBB ile ilgili birçok açıdan, birçok önemli iyileştirme yapılması gerekmektedir. Sinyalin bant genişliğini artırmak için yoğunlaştırma, milimetre dalga (mmWave) spektrumu ve ileri MIMO tekniğini kullanma gibi bazı teknolojiler eklenmiştir [5]. Genel olarak polar kodlar, LDPC kodlarına kıyasla küçük veri hızlarında iyi çalışır, bu nedenle veri kanalları için LDPC kodlarının ve kontrol kanalları için polar kodların tahsis edilmesine karar verilmiştir. Polar kodlar ve LDPC kodların 5G'de eMBB senaryosu için önde gelen hata düzeltme kodları olduğu düşünülmektedir. Araştırmalar, LDPC'ye göre polar kod çözücünün daha büyük donanım kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir.

#### **C. URLLC**

Ultra güvenilir düşük gecikmeli iletişim (URLLC), 5G Yeni Radyo (NR) standardı tarafından desteklenen birkaç farklı kullanım senaryosundan biridir. NR-5G, URLLC ve mMTC gibi daha akıllı kullanımları desteklemek için sağlanmıştır. Bu iki senaryo ümit vericidir. Çünkü yüksek güvenilirlik, kullanılabilirlik ve çok az gecikme vadeler [6]. Polar kodlar, özellikle büyük liste boyutu olması durumunda, yüksek performansa ulaşır ve neredeyse tüm kod hızlarını destekler. LDPC kodları ve turbo kodları düşük performans sağlar. Polar kodlar, düşük karmaşıklığı ve LDPC ve Turbo kodlar gibi diğer kodların maruz kaldığı hata tabanının olmaması nedeniyle NR-5G sistemlerinde kullanılacak umut verici bir tekniktir.

#### **D. mMTC**

Büyük makine tipi iletişim (mMTC), birçok kullanıcıya düşük karmaşıklık ve düşük enerji tüketimiyle kablosuz bağlantı hizmetini ifade eder, yani pil uzun bir süre dayanmalıdır [7]. 5G'ye seçilen kanal kodlama şeması, güçlü hata koruması ve verimli enerji tüketimi elde etmek için kodlama ve kod çözmede düşük karmaşıklığa sahip olmalıdır [8]. Polar kodlar, düşük karmaşıklık ve tüm kod hızlarıyla çalışabilme yeteneği nedeniyle bu senaryoda yüksek performansa ulaşır. LDPC kodları, büyük kod oranları durumunda yüksek performansa ulaşır.

#### **E. Hata Tabanı**

Hata tabanı, özellikle yüksek SNR seviyesinde bir eğrinin eğiminde ani bir düşüş olgusudur. LDPC kodlarında, hata tabanı genellikle yüksek kod oranlarında meydana gelirken, turbo kodlarda düşük kod hızlarında meydana gelir [9]. LDPC kodları özellikle orta ile yüksek SNR aralığında bu hatadan muzdariptir. Polar kodları ise bu hatadan etkilenmez. Polar kodların bu tür hatalardan arınmış olduğu kanıtlanmıştır [10]. Verilen Tablo.1'de açıklanan BLER, eMBB, URLLC, mMTC ve hata tabanı kavramlarına göre; polar, LDPC ve turbo kodları arasındaki karşılaştırma özetlenmiştir.

**Tablo1.** Kodlama Tekniklerinin Karşılaştırılması

	<i>Turbo Kodlar</i>	<i>LDPC Kodlar</i>	<i>Polar Kodlar</i>
<i>eMBB</i>	Düşük performans.	Yüksek kod oranlarında, iyi performans.	Tüm kod oranlarında, yüksek performans.
<i>URRLC</i>	Düşük kod oranlarında, zayıf performans.	Düşük kod oranlarında, zayıf performans.	Tüm kod oranlarında, yüksek performans.
<i>mMTC</i>	Zayıf performans.	Yüksek kod oranlarında, iyi performans.	İyi performans.
<i>Sistem Karmaşıklığı</i>	Yüksek karmaşıklık.	Yüksek karmaşıklık.	Düşük karmaşıklık.
<i>Hata Tabanı</i>	Var.	Var.	Yok.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada, 5G teknolojisi için kullanılan kodlama tekniklerinden bahsedilmiştir. 5G sistemlerine önerilen LDPC ve polar kodlar ile 4G teknolojilerinde kullanılan turbo kodların en yaygın başarıları ve zorlukları açıklanmıştır. LDPC ve turbo kodlu polar kodlar arasındaki karşılaştırma, BLER, eMBB, URLLC, mMTC, sistem karmaşıklığı ve hata tabanı gibi önemli kriterlere dayanır. Polar kodlar, LDPC ve turbo kodlarına kıyasla BLER'de düşük performans elde etmiştir. Ancak LDPC ve turbo kodlarına kıyasla URLLC ve mMTC'de yüksek performans sağlamıştır. eMBB senaryosuyla ilgili olarak LDPC kodlar, özellikle polar kodlara kıyasla yüksek veri hızlarında iyi performans sağlar. Bu nedenle, 3GPP, veri kanallarına LDPC kodlar ve NR-5G sistemlerindeki kanalları kontrol etmek için polar kodlar tercih edilir. Ayrıca, polar kodlar en düşük sistem karmaşıklığına sahiptir ve iki rakip kod ile karşılaştırıldığında hata tabanından etkilenmez. Bu nedenle 5G sistemlerinde polar kodların kullanılması tercih edilebilir.

#### Kaynaklar

- [1] Niu K., "Polar codes: Primary concepts and practical decoding algorithms." IEEE Communications magazine 52.7, s.192-203, 2014.
- [2] Gallager R. G., "Low - Density Parity - Check Codes", IRE Trans. Inform. Theory, vol.8(1), s.21-28, 1962.
- [3] Arikan E., "Channel polarization: A method for constructing capacity achieving codes for symmetric binary-input memoryless channels," IEEE Tran. On Info. Theory, vol.55(7), s.3051-3073, Jul. 2009.
- [4] R1-164039 "Polar codes - encoding and decoding", Huawei, HiSilicon, 3GPP TSG RAN WG1 Meeting #xx, Nanjing, China, May23rd - 27th, 2016.
- [5] Gamage, H., Nandana R., ve Matti L., "Channel coding for enhanced mobile broadband communication in 5G systems." Networks and Communications (EuCNC), 2017 European Conference on. IEEE, 2017.
- [6] Shafi, M., Molisch, A.F., Smith, P.J., Haustein, T., Zhu, P., De Silva, P., Tufvesson, F., Benjebbour, A. ve Wunder, G., "5G: A tutorial overview of standards, trials, challenges, deployment, and practice." IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol.35(6), s.1201-1221, 2017.
- [7] Iscan, O., Diego L., ve Wen X., "A comparison of channel coding schemes for 5G short message transmission." Globecom Workshops (GC Wkshps), 2016 IEEE.
- [8] Durisi, G., Tobias K., ve Petar P., "Towards massive, ultra-reliable, and low-latency wireless communication with short packets." arXiv preprint arXiv:1504.06526, 2015.
- [9] Richardson, T., "Error floors of LDPC codes." Proceedings of the annual Allerton conference on communication control and computing. vol. 41(3), The University, s.1426-1435, 2003.
- [10] Mondelli, M., Hamed H. S., ve Rüdiger L. U., "Unified scaling of polar codes: Error exponent, scaling exponent, moderate deviations, and error floors." IEEE Trans. on Infor. Theory, vol.62(12), s.6698-6712, 2016.