

Bluetooth Sisteminde Look-Up Tablolarına Dayalı En Büyük Sonsal Olasılık Kod Çözücüsünün Başarıma Etkileri

Salim Kahveci, İsmail Kaya, Kadir Türk
Karadeniz Teknik Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
61080, Trabzon
{salim, ikaya, kadir}@ktu.edu.tr

Özet: Bluetooth (IEEE 802.15.1) sistemi dar-alan kablosuz ses ve veri haberleşmesini sağlamak için geliştirilen düşük güç ve düşük maliyet esasına dayalı bir standarttır. Haberleşme güvenliği ve kalitesi açısından düşük işaret gürültü oranlarında yüksek performans gereksinimi ortaya çıkmaktadır. Geleneksel kodlayıcılar içerisinde düşük işaret gürültü oranlarında yüksek kazanç sağlayan ve belkide en güçlüsü Turbo kodlayıcıdır. Turbo kodlayıcılarda, en büyük sonsal olasılık (MAP) esasına dayalı kod çözümü algoritmasında doğal logaritma alma işlemi gerekmektedir. Logaritma alma işlemi gerçek sistemlerde çok fazla zaman almaktadır. Bu nedenden dolayı fazla zaman alan ve işlem karmaşıklığını artıran doğal logaritma alma işlemi yerine Look-Up-Table (LUT) tablolarının kullanılması bu çalışmada önerilmiştir.

LUT tablolarının kullanılması performansta bir azalmaya neden olmasına karşın, hem hızı arttırmıştır ve hem de hesaplama karmaşıklığını azaltmıştır.

1. IEEE 802.15.1 Standardı

Bu çalışmada bina içi kablosuz haberleşme sistemlerinden biri olan Bluetooth standardı seçilmiştir. Bu sistem 2.4 GHz ISM bandında bütün dünya üzerinde lisanssız olarak kullanılmaktadır. Gürültü ve girişimin etkin olduğu ortamlarda bu sistem frekans atlama olayını gerçekleştirmekte ve hata düzeltme tekniklerinin kullanılmasına izin vermektedir [1]. Her biri 1 MHz band genişliğine sahip toplam 79 kanal mevcut olup paket gönderme veya almak için 625 µs'lik zaman dilimlerini kullanmaktadır. Her piconet alanı içerisinde bir master olmak üzere en fazla 7 slave ile haberleşme gerçekleştirilebilmektedir. Ses ve veri paketlerinin iletimi için standardın sınıflandırdığı ACL ve SCO linkleri için kullanılan paketler Tablo 1 ile özetlenmiştir [2].

Tablo 1. ACL ve SCO paket tipleri [1]

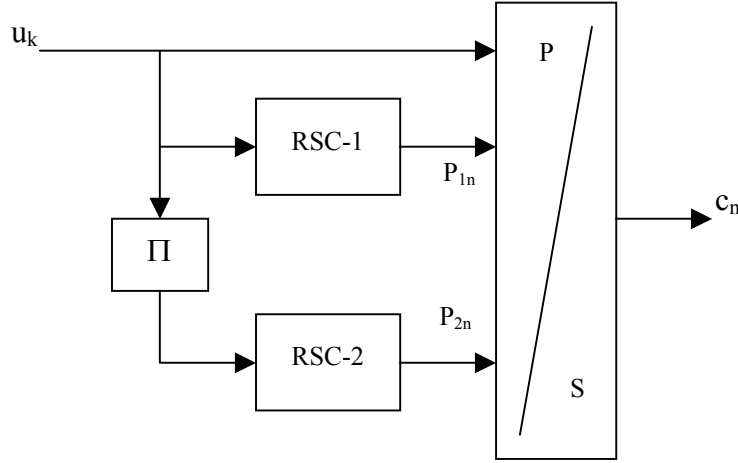
Tip	Payload başlığı (bytes)	Kullanıcı payload (bytes)	FEC	CRC	Max. hız (kbit/s)
ACL Paket					
DM1	1	0-17	2/3	Var	108
DH1	1	0-27	Yok	Var	172
DM3	2	0-120	2/3	Var	256
DH3	2	0-180	Yok	Var	384
DM5	2	0-224	2/3	Var	286
DH5	2	0-338	Yok	Var	432
AUX1	1	0-29	Yok	Var	185
SCO Paket					
HV1	NA*	10	1/3	Yok	64
HV2	NA*	20	2/3	Yok	64
HV3	NA*	30	Yok	Yok	64
DV	1D	10+(0-9)D	2/3D	Var	64+64D

(*NA: Sonrası için ayrılmış)

Çalışmada sadece veri iletişimine imkan veren ACL linklerinde yer alan DM1 veri paketleri kullanılmıştır. Benzetim çalışmaları, mümkün olduğu kadar Bluetooth standardının getirdiği kısıtlamalar gözetilerek yapılmıştır.

2. Turbo Kodlayıcı/Dekodlayıcı Genel Esasları

Kablosuz haberleşme sistemlerinde Turbo kodlayıcıların önemli bir performans kazancı sağlamaları dekodlayıcı algoritmasının iteratif çalışmasından dolayıdır. Turbo kodlayıcı/dekodlayıcı/denkleştirici sistemleri üzerinde Berrou, Douillard, Hanzo'nun çalışmaları başta olmak üzere önemli çalışmalar yapılmıştır [3, 4, 5, 6]. Bu çalışmada 1/3'lük paralel yapılu bir Turbo kodlayıcı kullanıldı (Şekil 1). Kod üreticisi $(1, 5/7)_8$ olarak seçilmiştir.



Şekil 1. Bir 1/3'lük Turbo kodlayıcı $(1, \frac{5}{7}, \frac{5}{7})_8$

Bu kodlayıcı iki adet RSC sistematik konvolüsyonel kod ve bir random serpiştiriciden oluşmaktadır. Kodlayıcının çıkışı c_n ($n=1, \dots, N$) olup kodlayıcı giriş bitleri u_k ($k=1, \dots, K$) ile gösterilmektedir. Eşlik bitleri ise $N-K$ kadardır. Dekodlayıcı tarafında iki adet MAP dekodlayıcı kullanılmıştır. Dekodlayıcı iteratif bir çalışma yapısına sahiptir.

3. MAP Algoritması ve LUT Tablolarının Elde Edilmesi

Turbo dekodlayıcısı en büyük sonsal olasılık oranını hesaplayan MAP algoritmasını kullanmaktadır. Gönderilen her bir ikili bit için kodlayıcı çıkışında 3 bitlik bir kod kelimesi elde edilmiştir. İşaret kanala verilmeden önce BPSK modülasyonuna tabi tutulmaktadır. Alıcı girişindeki işareti (1) nolu denklemle ifade edilebilir.

$$y_n = \sum_{l=0}^L h_l c_{n-l} + \eta_n \quad n=1, \dots, N \quad (1)$$

Dekodlayıcı çıkışında gönderilen her bir sembole ilişkin logaritmik olasılık oranı hesaplanır. Bu değer 2. dekodlayıcı için önsel bir giriş olup 2. dekodlayıcı çıkışını belirlemede kullanılır. Gönderilen her bit için MAP dekodlayıcı çıkışındaki LLR değeri,

$$LLR(\hat{u}_k) = \log \left(\frac{P(u_k = 1 | y_0^N)}{P(u_k = 0 | y_0^N)} \right) \quad (2)$$

ile ifade edilir. İfadedeki \hat{u}_k , kullanıcı biti olan u_k 'nin kestirilmiş değeridir. (1) nolu denklemdeki h_l kanal katsayılarını ve η ise AWGN gürültüsünü göstermektedir. İterasyonlar sonucunda \hat{u}_k 'nin değeri LLR'nin işaretine bağlıdır.

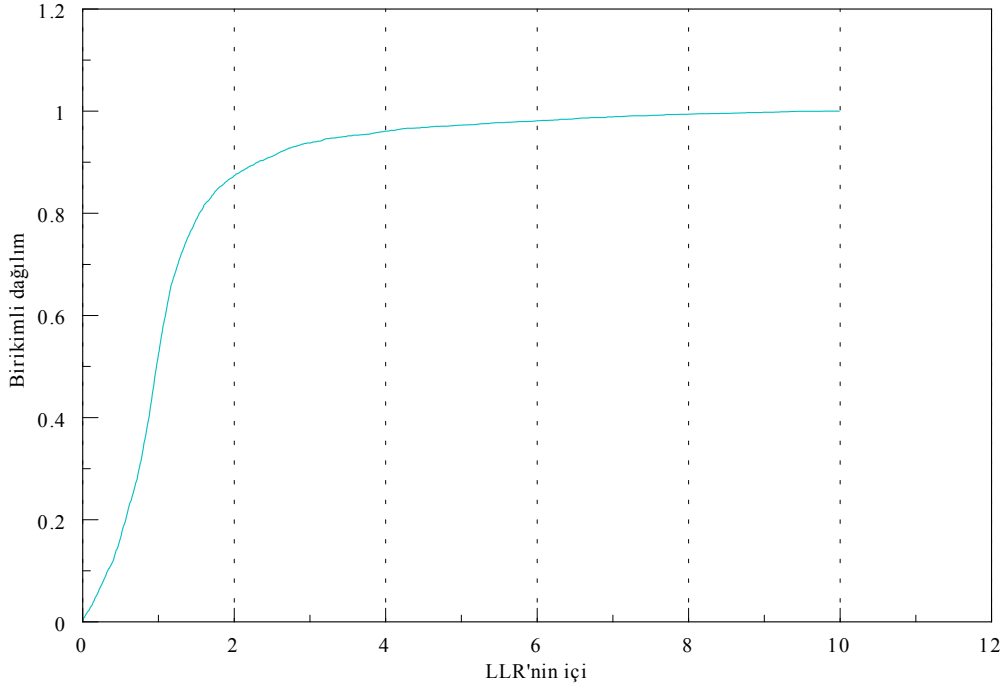
$$\hat{u}_k = \text{sign}(LLR(\hat{u}_k)) \quad (3)$$

Eğer LLR'nin işareti pozitifse $u_k=0$, negatifse $u_k=1$ olduğuna karar verilir. Dal metrikleri durum geçiş olasılıkları olmak üzere, LLR ifadesi yeniden yazılabilir [7].

$$LLR(\hat{u}_k) = \log \left(\frac{\sum_m \sum_{m'} \alpha_m^k \beta_{m'}^{k+1} \gamma_{m,m'}^{k,k+1}}{\sum_m \sum_{m'} \alpha_m^k \beta_{m'}^{k+1} \gamma_{m,m'}^{k,k+1}} \right) \quad (4)$$

LLR ifadesinde görüleceği üzere çarpma, toplama, bölme ve doğal logaritma alma işlemleri mevcuttur. Bütün bunlar hesaplama karmaşıklığını arttırmaktadır. Ayrıca her iterasyonda ve her bit için bu hesaplama tekrarlanmaktadır.

Yüksek hız gerektiren DSP uygulamalarında LUT tablolarının kullanılması kaçınılmazdır [6]. MAP dekodlayıcı algoritmasındaki LLR'nin hesaplanmasında yer alan log (.) alma işlemi yerine 8'lik, 16'lık, 32'lik veya 64'lük LUT tablolarının kullanılmasını önermekteyiz. Bu tablolar LLR ifadesindeki oranın histogramının kümülatif dağılımının elde edilmesiyle bulunur. Bu oranın kümülatif dağılımı Şekil 2 ile verilmiştir.



Şekil 2. MAP dekodlayıcı çıkışının kümülatif dağılımı(En büyük genliğe normalizedir)

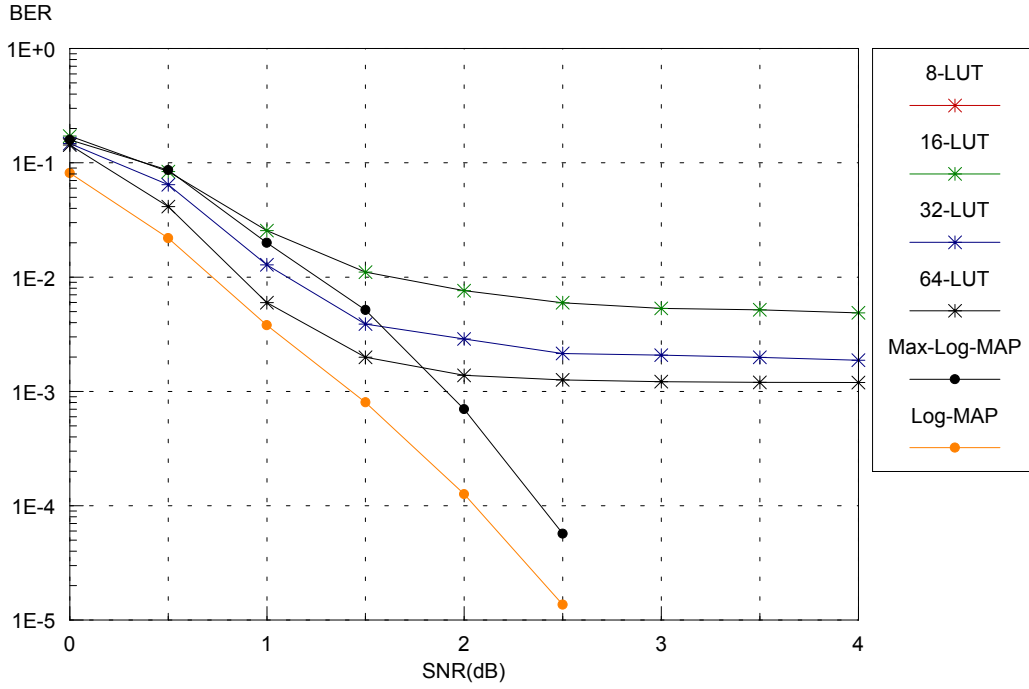
Dikey eksen 8'e, 16'ya, 32 veya 64'e bölünür ve ayrılan her bir parçanın orta noktası bulunur ve bu noktaya karşı gelen oranın doğal logaritma değerleri tablolara yerleştirilir. İterasyonlarda artık log (.) hesabı yapılmayıp bu tablolar kullanılabilir. Örnek olarak 8'lik LUT tablo değerleri Tablo 2'de verilmiştir [8].

Tablo 2. 8'lik Look-Up-Table (LUT) değerleri

0.54 \leq Z_k < 0.765	-0.400477
0.765 \leq Z_k < 0.92	-0.162518
0.92 \leq Z_k < 1.08	-0.010050
1.08 \leq Z_k < 1.29	0.131028
1.29 \leq Z_k < 1.84	0.364443
1.84 \leq Z_k < 5.1	0.837247
5.1 \leq Z_k	2.052840

4. Benzetim Çalışması Sonuçları

Benzetim çalışmasında Bluetooth standardının desteklediği ACL linklerinde kullanılan paketlerden biri olan DM1 paketi kullanılmıştır. Kanal profili Proakis kanal profili olup gürültü ise toplam beyaz Gaussian gürültüsüdür. Klasik Max-Log-MAP algoritması ve LUT kullanılmasıyla elde edilen sonuçlar Şekil 3'te verilmiştir. Şekil 3 bize LUT tablolarının kullanılması halinde hesaplama karmaşıklığının azaldığını ancak hata tabanının oluştuğunu göstermektedir. Bir sonraki çalışmada bu hata tabanının giderilmesi üzerinde çalışılacaktır. Ancak burada önerdiğimiz LUT tabloları statik yapıda olduğu düşünülmüştür. Ayrıca LUT tablolarının boyu arttıkça performansta artmaktadır. En iyi performansı 64'lük LUT tablosu kullanıldığı durumda elde edilmiştir.



Şekil 3. Değişik MAP ile farklı uzunluklu LUT'ların performans karşılaştırılması

Grafikten elde edilebilecek bir diğer sonuç ise, LUT tablolarının boyu arttıkça performansında arttığı ancak hata eşliğinin mevcudiyetini korumakta olduğudur.

Kaynaklar

- [1]. BT SIG Specification of the Bluetooth System, Core, Ver. 1.1, Bluetooth Special Interest Group, SIG, 1999.
- [2]. Kahveci, S., Ulutaş, M., Kaya, İ., "2.4 GHz ISM Bandında Dar-Alan Radyo Haberleşme Sisteminin (Bluetooth) Ağ Yapısı ve Güç-Frekans Dağılım Karakteristikleri", 10. Sinyal İşleme ve Uygulamaları Kurultayı (SİU), 12-14, Pamukkale-Denizli, s. 1008-13, Haziran 2002.
- [3]. Proakis, J.G., Digital Communications, McGraw-Hill Book Company, 1989.
- [4]. Robertson, P., Villebrun, E., ve Hoeher, P., "A Comparison of Optimal and Suboptimal MAP Decoding Algorithms Operating in the Log Domain", IEEE Int. Conf. On Comm. (ICC'95), 2, s.1009-1013, 1995.
- [5]. Hanzo, I., Liew, T.H., ve Yeap, B.L., Turbo Coding Turbo Equalisation and Space-Time Coding for Transmission over Fading Channels, John Wiley Ltd., USA, 2002.
- [6]. Berrou, C., Glavieux, A., Thitimajshima, P.: "Near Shannon limit error-correcting coding and decoding : Turbo codes", Proc. ICC'93, Geneva, Switzerland, s.1064-1070, 1993
- [7]. Hagenauer, J., Offer, E., Papke, L.: "Iterative decoding of binary block and convolutional codes", IEEE Trans. On Information Theory, 42, 2, s.429-445, March 1996.
- [8]. Kahveci, S., "DAR - ALAN KABLOSUZ SABİT HABERLEŞME SİSTEMLERİNİN BAŞARIM ANALİZLERİ VE TURBO KODLAYICILARIN SİSTEM BAŞARIMINA ETKİSİ", Doktora Tezi, KTU, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şubat 2006, Trabzon.