

# IEEE 802.15.4 (ZigBee) STANDARININ 2.4 GHz ISM BANDINDA KAPASİTE ANALİZİ

Salim KAHVECİ, Kadir TÜRK, İsmail KAYA  
Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü  
61080 - Trabzon  
{salim, kturk, ikaya}@ktu.edu.tr

**Özet:** Bu çalışmada IEEE 802.15.4 (ETSI tanımıyla ZigBee) standardının temel özellikleri, başarımları ve alıcı-verici tasarım kriterleri incelenmektedir. Bunun için öngörülen kanal yapıları, filtre ve verici alıcı güç limitlerinin oluşturacağı başarımları geliştirilen bir Monto-Carlo simülasyon yöntemi ile elde edilmektedir. Dolayısıyla bu çalışma henüz tasarım aşamasında olan ve Bluetooth sisteminin bir alternatifi değilde tamamlayıcısı olarak ortaya çıkan ZigBee sisteminin; bir önemli AWGN, darband frekans ve frekans seçici kanallardaki başarımlarını irdelemektedir.

## 1. Giriş

Özellikle bina içi ortamlar için kablosuz haberleşme sistemleri yaygın bir teknoloji haline gelmiştir. Teknolojik yönden sık sık batarya değişimi pratik olmadığından oldukça düşük güç tüketimine gerek duyulmaktadır. Bluetooth sistemi kabloyu ortadan kaldıran bir sistem olmasına karşın yüksek karmaşıklığa sahiptir. Bluetooth üniteleri ZigBee'ye göre daha sık batarya değişikliğine gerek duymaktadır. Bu yüzden ZigBee standardı düşük güç ve düşük maliyet ilkesi üzerine tasarlanmıştır [1]. ZigBee'nin temel karakteristikleri Tablo 1'de verilmiştir.

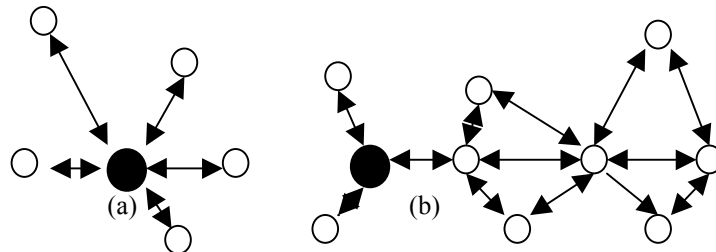
**Tablo 1.** IEEE 802.15.4'ün temel karakteristikleri

Özellik	Aralık
Data Hızı	868 MHz-20kb/s, 915 MHz-40kb/s, 2.4 GHz-250kb/s
Ünite Sayısı/Ağ	255
Mesafe	10 - 75 m
Karmaşıklık	Mevcut standartlardan daha az karmaşık
Batarya Ömrü	6 Ay - 2 Yıl
Kanal Sayısı	868, 915 MHz - 11 Kanal, 2.4 GHz - 16 Kanal
Adres	8 bit veya 64 bit
Sıcaklık	-40 ... 85 °C

ZigBee standardı; uzaktan görüntüleme, kontrol ve algılama ağları uygulamalarının gereksinimlerini belirleyen tek teknoloji esaslı standarttır [2].

## 2. ZigBee'nin Ağ Yapısı ve Fiziksel Tabaka

IEEE 802.15.4 standardı çoklu ağ topolojisine sahiptir. Bu ağ topolojileri yıldız bağlantı ve noktadan noktaya bağlantı şekillerini içermektedir. Şekil 1 ZigBee'nin ağ bağlantı biçimlerini göstermektedir.



**Şekil 1.** (a) Yıldız ve (b) Noktadan-noktaya bağlantılı ağlar (● : PAN, ○ : Düzener, ↔ : Haberleşme yönü)

Hemen hemen dünyanın her yerinde lisansız olarak kullanılabilen 2.4 GHz ISM(Endüstri, Bilim ve Tıp) bandının dışında Avrupa'da 868 MHz'lik band ve ABD'de 915 MHz'lik band bu standart için ayrılmıştır. 2.4

GHz'lik band 250kb/s'lik data hızı sağlarken 868 MHz'lik band 20 kb/s ve 915 MHz'lik band 40 kb/s'lik data hızı sağlamaktadır. Bu üç frekans bandında toplam 27 frekans kanalı kullanılabilir. 868 MHz için 868.0 ve 868.6 MHz arasında tek bir kanal sağlamakta, 915 MHz için ise 902.0 ve 928.0 MHz'leri arasında 10 kanala imkan vermektedir. 2.4 GHz'lik band 2.4 GHz ve 2.4835 GHz arasında her biri 5 MHz'lik genişliğe sahip 16 kanala bölünmüştür. Bu standartta tek bir paket yapısı kullanılmaktadır [3,4]. Her bir paket bir senkronizasyon başlığı, paket uzunluğunu gösteren bir başlık ve payload (asıl bilgi) kısımlarından oluşmaktadır.

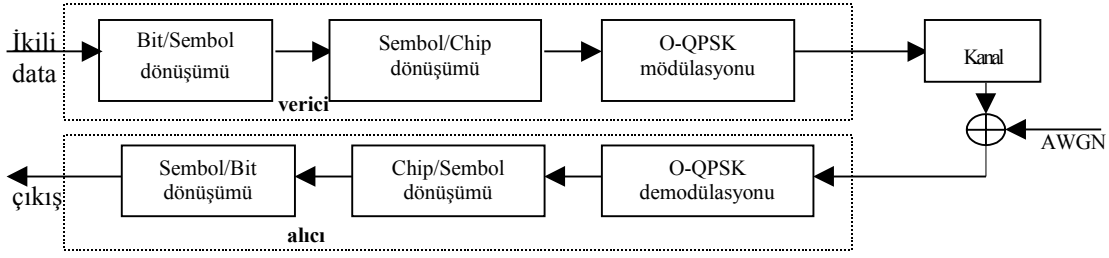
### 3. Başarım Analizi

868/915 MHz'lik band basit DSSS(Direk Kaynak Yayılım Spektrumu) yaklaşımını kullanmaktadır. İkili data +1 ve -1'lerden oluşan PN ile çarpılarak kodlanır. Kodlanan data BPSK(İkili Faz Kaydırmalı Anahtarlama) ile modüle edilerek gönderilir. 2.4 GHz'lik band 16-seviyeli ortogonal modülasyon tekniğini kullanır. İkili data dizisi 4-bitlik semboller halinde gruplanır. Her bir sembol 16 farklı ortogonal 32-chip kümesinden biriyle gönderilir. Data sembollerine karşılık gelen 32-bit uzunluklu PN dizileri Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2'de ZigBee için kullanılan her biri 32 bittenden oluşan 16 PN dizisi görülmektedir. Dikkat edilirse aslında birbirinden farklı sadece 2 tane 32 bitlik PN dizisi vardır. Diğer diziler bu dizilerin her seferinde 4 bit kaydırılmasından elde edilmiştir. Birinci PN dizisi kaydırılarak ilk 8, ikinci PN dizisi kaydırılarak da diğer 8 PN dizisi oluşturulur. Öz ilişki fonksiyonları sadece bir tepe veren ve diğer bölgelerde sıfıra yakın olan bu PN dizileri kullanılarak oluşturulan 16 dizinin çapraz ilişki fonksiyonunda sıfıra yakın çıkar ve diziler yaklaşık dikgen olur.

**Tablo 2.** Data sembollerine karşılık gelen birbirine yaklaşık dikgen PN dizileri [3].

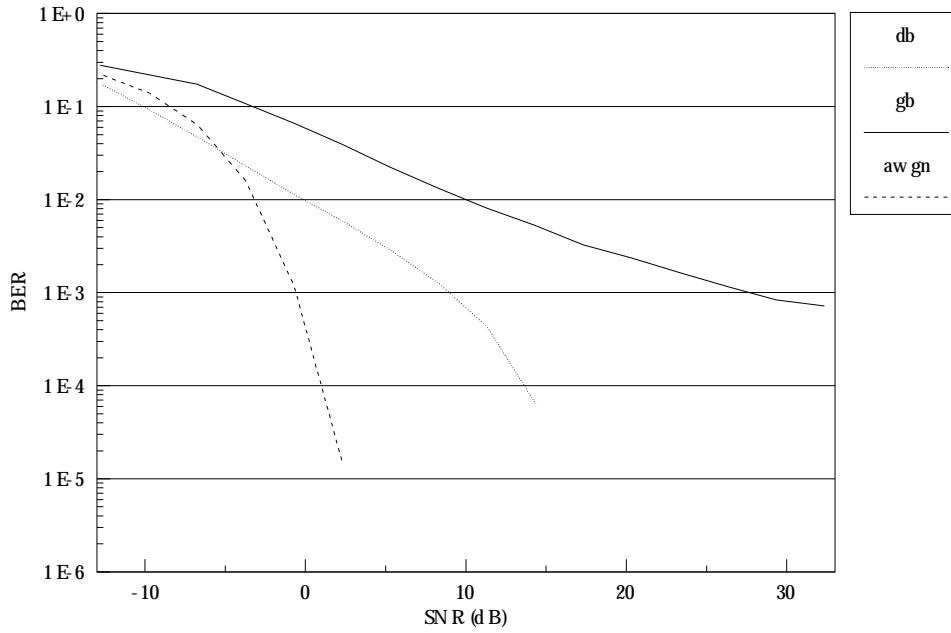
Data Sembolü (Decimal)	Data Sembolü (Binary) (b <sub>0</sub> b <sub>1</sub> b <sub>2</sub> b <sub>3</sub> )	Chip değerleri (c <sub>0</sub> c <sub>1</sub> ... c <sub>30</sub> c <sub>31</sub> )
0	0000	11011001110000110101001000101110
1	1000	11101101100111000011010100100010
2	0100	00101110110110011100001101010010
3	1100	00100010111011011001110000110101
4	0010	01010010001011101101100111000011
5	1010	00110101001000101110110110011100
6	0110	11000011010100100010111011011001
7	1110	10011100001101010010001011101101
8	0001	10001100100101100000011101111011
9	1001	10111000110010010110000001110111
10	0101	011110111100011001001011000000111
11	1101	01110111101110001100100101100000
12	0011	00000111011110111000110010010110
13	1011	01100000011101111011100011001001
14	0111	10010110000001110111101110001100
15	1111	11001001011000000111011110111000

Alıcı taraftaki chip/sembol dönüşümünde PN'lerin korelasyonu sonucu en yüksek değeri veren PN seçilmek suretiyle buna karşılık gelen sembol tesbit edilir. Burada kullanılan modülasyon biçimi ise yarım dalga sinüs biçimine sahip Offset-QPSK (Ofset Karesel Faz Kaydırmalı Anahtarlama) yapısıdır. 2.4 GHz için ZigBee'nin alıcı-verici bloğu Şekil 2'de gösterilmiştir. Yapılan benzetim çalışmasında ZigBee standardının sadece 2.4 GHz frekans bandı göz önüne alınmıştır. Belirlenen PN dizisi ilk olarak en basit kanal tipi olan toplanır beyaz Gauss tipi kanaldan (AWGN) gönderilmiştir.



Şekil 2. 2.4 GHz bandı için ZigBee'nin verici-alıcı şeması

Alıcı tarafta vericide yapılan işlemin tersi yapılmaktadır. Başarım analizi darbandlı sistem ve geniş bandlı sistem içinde yapılmıştır. Geniş bandlı sistemde kanal 5-Taplık olarak düşünülmüştür ve kanal profili üstel azalan bir yapıya sahip olduğu kabul edilmiştir. Elde edilen BER-SNR performans eğrileri Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. ZigBee standardının 2.4 GHz bandı için BER-SNR eğrileri

Şekil 3'te  $1 \cdot 10^{-3}$ 'lük bir bit hata oranı, AWGN kanalı için yaklaşık -0.5 dB'lik bir işaret gürültü oranında elde edilirken, dar bandlı sistemde yaklaşık 8.5 dB'de elde edilmiştir. Geniş bandlı sistemde ise ancak  $7 \cdot 10^{-4}$ 'lük bir BER hatasına düşülebilmektedir.

#### 4. Sonuç

Sonuç olarak IEEE 802.15.4 (ZigBee) standardı Bluetooth sistemine bir alternatif olarak ortaya atılmamış tam tersine yetersiz kaldığı noktaları gidermek ve kullanım mesafesini artırmak için tasarlanmıştır. ZigBee standardının getirdiği düşük güç ve nispeten daha uzak mesafe erişimi, kablosuz audio uygulamaları için oldukça cazip bir seçenektir. Ancak, gürültüye karşı daha dayanıklı olması nedeniyle bina içi haberleşmesi ve endüstriyel kontrolün birleştiği alan ZigBee'nin en önemli uygulama alanı olacağı görülmektedir. Değişik kanallarda elde edilen başarım eğrileri kodlama teknikleri kullanılarak, kodlama kazancından faydalanmak suretiyle daha iyi sonuçlar elde edilebilir. (awgn:toplanır beyaz Gauss gürültüsü, db:dar band, gb:geniş band)

#### Kaynaklar

- [1].Rose B., "Home Networks: A Standart Perspective", IEEE Commun. Mag. Vol.39, no.12, s.78-85, Dec. 2001.
- [2].Galeev M., "Home networking with ZigBee", Embedded System Europe, s.20-22, June/July 2004.
- [3].Gutierrez J. A., "IEEE 802.15.4 : A Developing Standat for Low-Power, Low-Cost Wireless Personal Area Networks", IEEE Network, vol. 15, no. 5, s.12-19, Sept/Oct. 2001.
- [4].Sklar B., Digital Communications Fundamentals and Applications, Englewood Cliffs, NJ:Prentice Hall, 1988