

# Komşu ve Ortak Kanal Girişimi Altında Bluetooth'un Performans Hesabı

Salim Kahveci, İsmail Kaya  
Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü  
61080, Trabzon  
salim@ktu.edu.tr

**Özet:** Bu çalışmada komşu (adjacent) ve ortak (co-channel) kanal girişimlerinin bluetooth sistemine etkisi incelenecektir. Özellikle diğer bluetooth ağlarından kaynaklanan piconetler arası girişim analiz edilecektir. Ayrıca bluetooth ağından optimal başarı elde etmek için düşük güç ve düşük maliyeti de göz önünde bulundurmak suretiyle böyle bir ağın nasıl tasarlanacağı da araştırılacaktır.

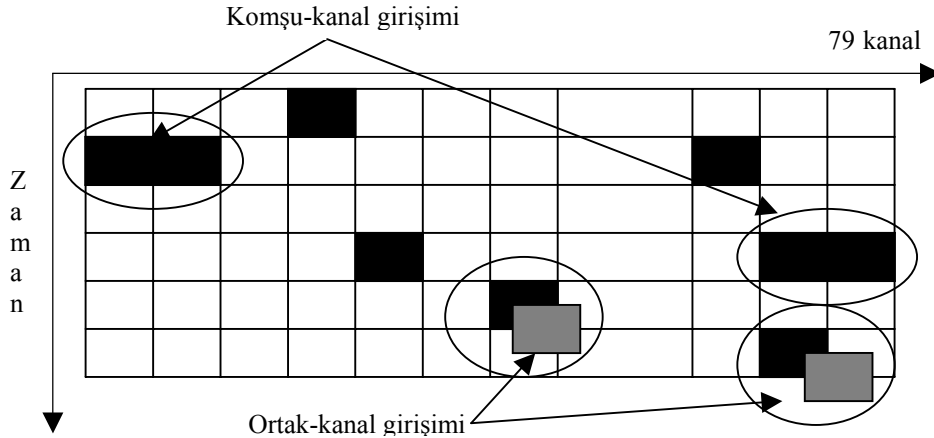
## 1. Giriş

Bluetooth üniteleri lisanssız 2.4 GHz ISM (Industrial Scientific Medical) bandında çalışırlar [1]. Frekans atlama sistemi kullanılarak girişim azaltılmaya çalışılır. Bu tür kablosuz ağlarda girişim genel olarak iki sınıfa ayrılır. Birinci sınıf girişim bluetooth üniteleri dışındaki ünite veya aynı bandı kullanan diğer sistemlerden kaynaklanandır. Bu tür girişimler telsizler, mikrodalga fırınlar ve IEEE 802.11b gibi diğer yerel alan ağlarından kaynaklanır. İkinci sınıf girişim ise bluetooth ünitelerinin birbirleriyle olan girişimidir. Bu çalışmamızda daha çok bluetooth ünitelerinin kendi aralarındaki girişimi üzerinde durulacaktır.

## 2. Sistem Modeli ve Kabuller

**Bluetooth Transport Tabakası:** Bluetooth, kablolu bağlantıda kabloyu ortadan kaldırmayı planlamaktadır. Girişim ve bayımlardan kurtulmak için bluetooth frekans atlama biçimini kullanır. Bluetooth GFSK modülasyon biçimini seçer ve veri hızı 1 Mbit/s'dir. İki yönlü link sağlayabilmek için TDD (Time Division Duplex) biçimi kullanılır. Frekans atlama oranı 1600 hop/s'dir. Ağda koordinasyonu sağlayabilmek için master-slave konfigürasyonuna gidilmiştir. Her bir slotta bir tek veri paketi gönderilir. Tek numaralı slotlar slave tarafından kullanılırken çift numaralı slotlar master tarafından kullanılır. Bir slot süresi sabit olup  $625 \mu s$ 'dir [1,2]. Bluetooth farklı modlarda çalışabilmekte ve farklı paket formatları kullanabilmektedir. Analizi basitleştirebilmek için şu kabulü yapabiliriz. Link sürekli kurulmuş ve paket boyu slot süresine eşit olsun. Piconetin merkezindeki sabit ünite master olup etrafındaki hareketli düzenekler slave olarak düşünülebilir.

**Sistem Modeli:** Buradaki model bir alan içerisinde bulunan birden çok erişim noktasının (AP) birbirlerinden olan uzaklıklarına göre girişimi belirlemek. İstenilen üniteyle doğrudan haberleşmek için AP'den biri ayrılır. Bu erişim noktası dışındakiler ise haberleşme kurulacak ünite için girişim oluşturmaktadırlar. Söz konusu girişimler: 1) İki erişim noktası aynı zaman aralığında aynı kanalı kullanmaları sonucunda ortak kanal girişimi oluşur. 2) İki erişim noktası aynı zaman aralığında komşu kanalları kullanmaları halinde ise komşu kanal girişimi oluşur. Bluetooth standardının, girişimi önlemek için önerdiği frekans atlama olayını iki senkronizasyon AP için Şekil 1 ile gösterebiliriz.



Şekil 1. Girişim altındaki AP'ler

*Kabuller:* İki bluetooth RF linki 79 MHz'lik band genişliğini FHSS ile kullanmaktadır. Frekans atlama paterni %100 birbiriyle ilişkisizdir. Komşu kanallar arasındaki band genişliği 1 MHz'dir. Gönderilen işaret her 625 µs'lik slot sonunda frekansı değiştirir. Bir slot süresince tek bir paket gönderilir. Verilen piconette 1 MHz'lik kanalın seçilme olasılığı  $P_{hop}=1/79$ 'dur. Piconetteki kullanıcılar ya sabit ya da yavaş hareket ettikleri kabul edilir. Çok yönlü yayılımdan dolayı işaretin zarfı Rayleigh dağılımına sahiptir. Her AP sabit doluluk/boş (duty cycle) oranında çalışır. Bu oran AP'nin aktif olduğu sürenin bir ölçüsüdür.

*Sistemin Çalışması:* Girişim eşliğinde bluetooth ağının performansını hesaplayabilmek için aşağıdaki kuralları kullanacağız. Paketler eşit olasılıklı duty cycle ile gönderilir. Örneğin, eğer ağın duty cycle oranı %50 ise verilen slot süresince paket iletimi olasılığı 0.5 olur. Kanal 79 frekanstan birini random olarak seçer. İki girişim ağ arasındaki kanal seçimi birbiriyle ilişkisizdir. Frekans belirlendikten sonra paket master ünitesinden slave ünitesine gönderilir. Alınan paket yol kaybı ve Rayleigh bayılmadan dolayı gücü azalır düşebilir. Bina içi ortamlarda yol kaybı ifadesi (1) nolu denklemle verilir.

$$P_{kayıp} = 40 + 35 \log(d) \text{ (dB)} \quad (1)$$

İfadedeki d, verici ile alıcı arasındaki mesafe m cinsinden olup 40 dB sabit değeri ise, 1 m'lik mesafedeki ve 2.4 GHz frekansındaki direkt dalga kaybını gösterir. Simulatör iki ağ arasındaki frekansı karşılaştırır:

- İki girişim ağ aynı kanalı seçmişlerse ortak kanal testi yapılır. Eğer alınan  $(C/I)_{co}$  oranı  $(C/I)_{coeşik}$  değerinden büyükse paket başarılı olarak alınmıştır. Aksi durumda paket hata oranı 1 artırılır.
  - Eğer iki girişimli ağ komşu kanalları seçmişlerse, komşu kanal testi uygulanır. Eğer  $(C/I)_{adj}$  oranı  $(C/I)_{adjeşik}$  değerinden büyükse paket başarılı alınmıştır. Aksi durumda paket hata oranı 1 artırılır.
  - Diğer bütün durumlarda paket başarılı olarak alınmıştır kabul edilir.
- $(C/I)_{coeşik}$  ve  $(C/I)_{adjeşik}$  değerleri bluetooth standardında belirlenmiş olup sırasıyla 11 ile 0 dB'dir [3].

### 3. Teorik Analiz

*Başarı Performansı (Kablolü Ortamlarda):* Senkron bir sistem için başarı eşitliği (2) ile verilir.

$$Q_{sync} = N \left( \frac{C-1}{C} \right)^{N-1} Dv \quad (2)$$

Burada N: Erişim noktası sayısı, C: İzin verilen spektrumdaki frekans atlama kanalları sayısı, D: Etkin kanal veri hızı, v: Her bir AP için duty cycle değeridir. Asenkron bir ağ için ise başarı (3) nolu denklemle verilebilir.

$$Q_{async} = \frac{N(C-1)(C-2)^{N-1}}{C^N} Dv \quad (3)$$

*Kablosuz Ortamda Başarı Performansı:* Verilen bir slot aralığında iki girişimli bluetooth ağının aynı kanalı seçme olasılığı (4) ve iki girişim ağının komşu kanalları seçme olasılığı ise (5) nolu denklemle ifade edilir.

$$P_{hitC} = \frac{1}{79} \quad (4)$$

$$P_{hitA} = \frac{2 * 78}{79^2} \quad (5)$$

Esas olarak paket hatasının oluşması için iki durum vardır. Alınan  $(C/I)_{co}$  değeri,  $(C/I)_{coeşik}$  değerinden daha küçükse hata oluşur. Bu durumun olması olasılığı (6) nolu denklemle verilir.

$$P_{co} = P_{hitC} \Pr ob((C/I)_{co} < (C/I)_{adjeşik}) \quad (6)$$

İkinci hata oluşma durumu ise  $(C/I)_{adj}$  değeri  $(C/I)_{adjeşik}$  değerinden daha küçükse olur. Bu durumun olma olasılığı (7) nolu denklemle verilir. Bu iki durum altında paket hata olasılığı (8) nolu denklemle gösterilir [4, 5].

$$P_{adj} = P_{hitA} \Pr ob((C/I)_{adj} < (C/I)_{adjE}) \quad (7)$$

$$PER = v_1 v_2 P_{hitC} \Pr ob((C/I)_{co} < (C/I)_{coE}) + v_1 v_2 P_{hitA} \Pr ob((C/I)_{adj} < (C/I)_{adjE}) \quad (8)$$

PER ifadesindeki  $v_1$  ve  $v_2$  AP'lerin duty cycle değerleridir. C ve I'nın ortalama işaret güçlerinin 1 olduğu ve Rayleigh dağılıma sahip oldukları kabul edilir. C ve I'ya  $20 \log(.)$  uygulayarak zarf dağılımı (9) nolu denklemlerle gösterilir.

$$P_s(s) = \frac{\ln(10)}{10} 10^{\frac{s}{10}} (\exp(-10^{\frac{s}{10}})) \quad (9)$$

$P_s(\gamma)$  ile  $P_s(-\gamma)$  arasındaki konvolüsyon (10) nolu denklemlerle verilir. Böylelikle (8) nolu denklemler yeniden düzenleyerek (11) nolu denklemler elde edilebilir

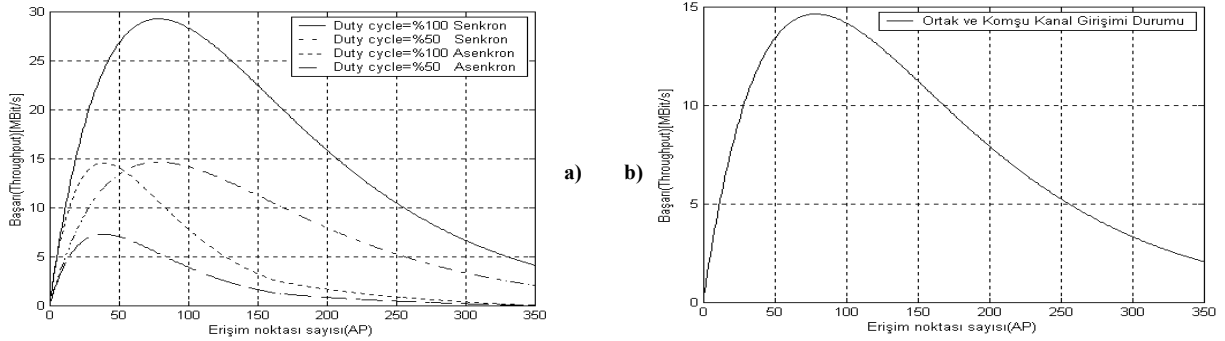
$$P_{(C/I)}(\gamma) = P_s(\gamma) \otimes P_s(-\gamma) \quad (10)$$

$$PER = v_1 v_2 P_{hitC} \int_{-\infty}^{(C/I)_{coE}} P_{(C/I)}(\gamma) d\gamma + v_1 v_2 P_{hitA} \int_{-\infty}^{(C/I)_{adjE}} P_{(C/I)}(\gamma) d\gamma \quad (11)$$

(11) nolu denklemler iki girişimli AP'nin varlığındaki sistem paket hata oranını tanımlamaktadır.

#### 4. Benzetim Sonuçları

Şekil 2 a) aktif piconet sayısının bir fonksiyonu olan sistem başarısını göstermektedir. Bütün benzetim sonuçları için duty cycle değeri %100 ve %50 alınmıştır. Senkron çalışmada duty cycle %100 iken max. 29 Mbit/s'lik başarı 80 civarındaki AP'de oluşmaktadır. Duty cycle %50 iken başarı yaklaşık 15 Mbit/s olmaktadır. Asenkron çalışmada ise %100'lük duty cycle altında 15 Mbit/s'lik max. başarı 40 AP'de olmaktadır. %50 duty cycle altında ise max. başarı 7.5 Mbit/s olmaktadır.



Şekil 2. a) Erişim noktası- Başarı eğrisi ve b) Girişim altında AP-Başarı eğrisi

Daha gerçekçi bir analiz hem ortak kanal ve hem de komşu kanal girişim için eşik değerlerini içerecektir. Şekil 2 b) sistemin başarısını girişim altında göstermektedir. Burada sunulan çalışma bluetooth sisteminin diğer bluetooth ünitelerden kaynaklanan girişim varlığındaki sistem performansını araştırmayı içermektedir. Bu çalışma ile şu sonuçlar elde edilmiştir: Piconetlerin senkronize olmaları max. başarı oranını getirmektedir. AP'lerin sayısının artması komşu kanal girişim etkisini, ortak kanal girişim etkisinden bir kaç kat daha fazla artırmaktadır. Güvenli ve kaliteli bir kablosuz haberleşme için Frekans Atlama (FH) olayı gerçekleştirilmelidir.

#### Kaynaklar

- [1]. Miller, B. A., Bisdikian, C., Bluetooth Revealed, Prentice-Hall, Inc., 2001.
- [2]. Amre El-Hoiydi, "Interference Between Bluetooth Networks-Upper Bound on the Packet Error Rate" in IEEE Comm. Letters, Vol.5, No.6, June 2001
- [3]. Bluetooth SIG, " Specification of the Bluetooth System," Core Version 1.1, Feb., 2001.
- [4]. Bluetooth White Paper 1.1, AU-System, Jan., 2000.
- [5]. Janssens G. et. Al. " Wideband Indoor Channel Measurement and BER Analysis of Frequency Selective Multipath Channels at 2.4, 4.75, and 11.5 GHz " IEEE Transactions on Communications. 44 (10), October 1996.