

KANAL KALİTESİNE BAĞLI BLUETOOTH İLETİŞİM PERFORMANSININ İYİLEŞTİRİLMESİ

Radosveta SOKULLU¹, Uygur POYRAZ²
Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
35100 Bornova - İzmir

radosveta.sokullu@ege.edu.tr , uygur_poyraz@hotmail.com

Anahtar Sözcükler : Bluetooth, Link Kalitesi, BER, Performans

ABSTRACT

In this paper we present an algorithm and supporting experimental environment for improving Bluetooth throughput performance based on the link quality and using HCI layer user accessible commands. In the experiment we use file transfer to investigate how the BER and throughput of a Bluetooth connection are influenced by the link quality. During the file transfer we utilize different packet selection mechanisms – single packet type selection as opposed to double packet options - to improve the throughput and reduce the transfer time.

ÖZET

Bu çalışma, Bluetooth link kalitesi ölçümlerine dayanarak hazırlanmış olduğumuz deney düzeneği ile bu deneyin kullanıcı tarafından Bluetooth performansını arttırabilecek algoritmasını ve bu durumu destekleyen sonuçlarını içermektedir. Deneyde dosya transferi uygulamasından faydalanarak Bluetooth'da BER (bit error rate - hata oranı) ve veri aktarım kapasitesi parametrelerinin ortamın link kalitesinden ne derecede etkilendiği araştırıldı. Dosya gönderimi sırasında hem tekli hem de ikili paket seçenekleri kullanarak bu paketlerden hangilerinin daha yüksek performansa sahip olduğu gösterilmeye çalışıldı.

1. GİRİŞ

Son yıllarda ev, ofis kullanımı ve kişisel kullanım için sayısız elektronik cihaz üretilmiş olmasına rağmen, Kişisel Alan Network'lerindeki (Personal Area Networks) cihazların kendi aralarında iletişim kurmasını sağlayacak yaygın bir teknoloji çıkmamıştır. Bluetooth teknolojisi bu önemli iletişim boşluğunu doldurmakta; düşük güç tüketimli, ucuz ve tüm cihazlara entegre edilmeye imkan veren bir teknikte kablosuz veri ve ses iletişimin kapılarını açmaktadır.

Bluetooth, dizüstü bilgisayarlarla cep telefonları ve diğer mobil cihazlar arasında kısa mesafeli radyo bağlantısı kurmaya yönelik, düşük maliyetli bir teknolojinin adıdır. Bir standart olarak dünya genelinde kullanılabilme amacındadır. Bundan başka kısa mesafeli kablosuz teknolojiler olmasına karşın, Bluetooth düşük maliyeti ve geliştirilmeye açık imkanları sayesinde pazarda önemli bir paya sahip oldu. Birkaç yıl içinde Bluetooth çipler 5 dolardan çok daha az bir fiyata ulaşmıştır. Firmalar, Bluetooth pazarından iyi bir pay kapabilmek için, Bluetooth performansını artırma çalışmalarını çok aktif bir şekilde sürdürmektedirler.

Bluetooth, ilk kez 1994 yılında, cep telefonları ile diz üstü bilgisayarları birbirine kablosuz olarak bağlama

düşüncesiyle Ericsson firması tarafından gündeme getirilmiştir ve 2000 senesinden beri uluslararası bir standart haline gelmiştir. Dünyanın en büyük üretici firmalarının oluşturduğu Bluetooth Birliği tarafından desteklenen bu teknoloji, bugün tüm kısa-mesafeli veri ve ses haberleşmesini içerisine de alacak bir sisteme dönüştürülmüştür.

Bluetooth, radyo, 2.4 GHz lisanssız ISM bandında çalışmaktadır. Teoretik olarak, brüt veri hızı 1Mbps olup, tam dupleks, TDM iletim tekniği kullanılır. Bluetooth'un baseband protokolü (baseband protocol), hem devre hem de paket anahtarlama tekniklerinin birleşiminden oluşur. Senkron paketler için, "zaman aralıkları (slot)" ayrılmıştır. Her paket farklı bir atlama frekansında iletilir. Normal olarak bir paket tek bir zaman aralığını kaplar. Fakat gerekirse, 5 zaman aralığını kaplayacak şekilde uzatılabilir. Bluetooth, asenkron bir veri kanalı, aynı anda üç tane kadar senkron ses kanalı veya aynı anda tek bir asenkron veri ve senkron bir ses kanalı desteklemektedir. Her bir ses kanalı, 64Kbps'lik senkron bağlantıyı destekler. Asenkron kanal iki yöne doğru maksimum 721 Kbps ve dönüş yönünde 57.6 Kbps asenkron veya 432.6 Kbps senkron bağlantıyı destekler.

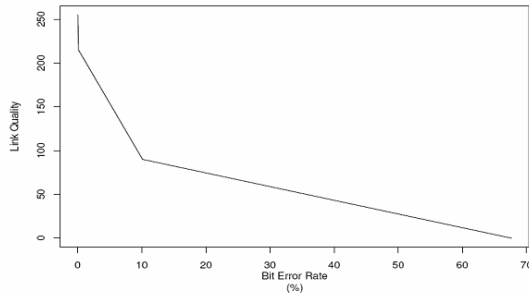
Bu çalışma, şuan hala güncelliğini koruyan Bluetooth HCI (Host Controller Interface – Host Denetleyici Arabirim) komutlarını kullanarak ve Bluetooth link kalitesi ölçümlerine dayanarak hazırlanmış deney ortamı ile bu deneyin Bluetooth performansını artırıcı sonuçlarını içermektedir. Daha önceki çalışmaların çoğu, yalnızca simülasyon verilerine dayanarak sonuçlanmıştır ve bu çalışmalarda daha çok, tek paketle göndermenin etkileri incelenmiştir [2],[3]. Bu simülasyon ortamında yapılan çalışmalar, sürekli anlamda sonuçlar ürettiği için oldukça akla yatkındır. Deneysel çalışmalarda ise yeterli veri elde edemeden sonuçlar üretilmiş ve bunlarda da genellikle tek paketle göndermenin üzerine durulmuştur [4]. Çalışmamızda, dosya transferi gibi bir uygulamayı kullanarak ve daha fazla deneysel veri üreterek Bluetooth performansını nasıl artırılacağı gösterildi. Bunun için kendi yazdığımız dosya transferi uygulamasından faydalanarak, bütün tekli ve ikili paket seçimleri kullanarak hangi paketin hangi link kalitesi ortamında daha iyi sonuçlar verdiği, deneysel bir şekilde gösterilmiştir. Çalışmada kullanılan yazılımın, IEEE 802.15.1 standartlardaki protokol formatlarına uygun olması sağlandı.

Bu makalede ilk önce Bluetooth teknolojisinin kısa bir tanıtımı yapılmış, ardından paket tipleri ile protokol yapısı

anlatılmıştır. Bir sonraki bölümde kanal kalitesine bağlı performans artırıcı paket seçimi ve bunu gerçekleştiren deneysel düzenek anlatılmıştır. Daha sonra önerilen algoritması anlatılarak elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

2. BLUETOOTH MİMARİSİ VE PAKET TİPLERİ

Bluetooth sistemlerin performansını etkileyen birden fazla faktör vardır: ortam faktörü olarak tabir edilen bağlantı kalitesi (LQ - link quality), sinyalin gücü ki, bu 10 m'ye kadarlık mesafeler için 0 dBm (1 mW), 100 m'ye kadarlık sistemler için -30 ile 20 dBm (100 mW) olarak tanımlanır ve son olarak en az diğerleri kadar önemli olan kullanılan paketin seçimidir. Gönderilen sinyalin gücü yaklaşık sabit olmasına karşın, diğer iki faktör Bluetooth sistemlerin performansını kontrol etmek ve arttırmak için değiştirilebilir. Her kablosuz sistemde olduğu gibi Bluetooth sistemler de ortamın gürültüsünden belli bir derece etkileniyor. Gerek TP (throughput - veri transfer kapasitesi), gerekse BER (hata oranı) ortam kalitesini belirleyen LQ değerine bağlılığını gösterir. Bu değer CSR (Cambridge Silicon Radio) tarafından belirlenen BER ölçümü ile tespit ediliyor. Şekil-1'de BER ölçüm sonucunda elde edilmiş S/N oranına bağlı transfer edilen bir bitin hatalı olma olasılığını gösteriyor.



$$\begin{aligned} \text{If } BER (\text{Bit Error Rate}) = 0, & \quad LQ (\text{Link Quality}) = 255; \text{ perfect channel.} \\ \text{If } BER \leq 40/40000, & \quad LQ = 255 - BER * 40000. \\ \text{If } 40/40000 < BER \leq 4000/40000, & \quad LQ = 215 - ((BER / 32) * 40000). \\ \text{If } 4000/40000 < BER \leq 40000/40000, & \quad LQ = 105 - ((BER / 256) * 40000). \end{aligned}$$

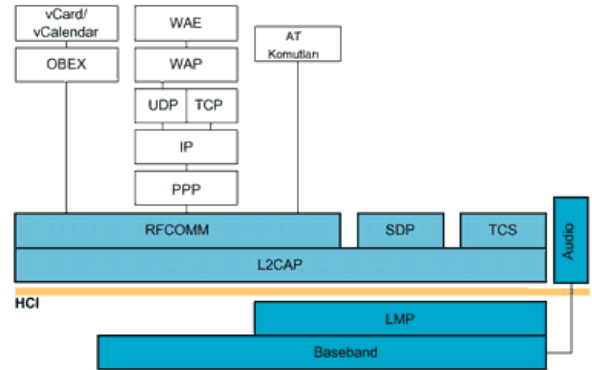
Ref: Cambridge Silicon Radio

Şekil-1 Link Kalitesi-Bit Hata Oranı (BER)

Verilen bir paket için, veri akış hızı radyo kanalının kapasitesine bağlıdır. Bir cihazın alıcı tarafındaki Kalite Ölçümleri, veri akış hızını düzenlemek amacıyla karşı cihazdan gönderilen paketin tipini kontrol etmek için kullanılabilir. Bu tip bir tasarıya CQDDR (Channel Quality Driven Data Rate - Kanal Kalitesine Duyarlı Veri Akış Oranı) olarak isimlendirilir.

Bluetooth mimarisi en alt kısımda analog bir radyo destekleyen kısmı ile Host Controller (HC - Host Denetleyici) adı verilen dijital bir kısımdan oluşur. HC, dijital sinyal işleme için kullanılan ve Link Controller (LC - Bağlantı Denetleyici) denilen bir donanıma, bir CPU çekirdeğine ve host platform için arabirimlere sahiptir. LC baseband işlemleri için gereken donanıma ve ARQ protokolüyle FEC kodlama gibi fiziksel katman protokollerine sahiptir. LC'nin fonksiyonları arasında asenkron transferler, senkron transferler, ses kodlaması ve

şifreleme bulunur. CPU çekirdeği Bluetooth modülünün sorgularla ilgilenmesine ve istek taleplerini filtrelemesine imkan tanır. HC, belli sayfa taleplerini yanıtlamak ve uzak bağlantıları onaylamak üzere programlanabilir. Link Manager (LM - Bağlantı Yöneticisi) katmanı CPU çekirdeği üzerinde çalışır. LM, diğer LM'leri tespit eder ve Link Manager Protokol (LMP) aracılığıyla onlarla iletişim kurar. Host tarafından gönderilen ya da alınan hem eş zamanlı hem de eş zamanlı olmayan trafik, HCI üzerinden geçer. HCI katmanı L2CAP katmanının altında yerleştiği için, spesifikasyonun gerekli bir parçası değildir. L2CAP katmanı, temel Bluetooth katmanlarının üzerinde protokol çoğullaması için, paket segmentasyonu ve yeniden yapılandırması için ve servis kalitesi bilgisini taşımak için kullanılır. RFCOMM protokolü, kablolu model kullanılarak seri haberleşme uygulamaların kolaylıkla kablosuz seri haberleşmeye uyarlanması için uygulamalara sanal bir seri port tanımlamaktadır. SDP (Service Discovery Protocol - Servis Keşif Protokolü), uzaktaki bir Bluetooth cihazından hangi servislerin alınabileceğini keşfetmek ve bu servislerin özelliklerini bulmak için bir araç görevini üstlenir. Bluetooth TCS (Telephone Control Specification - Telefon Kontrol Spesifikasyonu) katmanı ise, çağrı kontrolü ve grup yönetimini de kapsayan telefon fonksiyonlarını desteklemek için tasarlanmıştır. Şekil-2'de Bluetooth protokol katmanları mavi renkle belirtilmiştir.

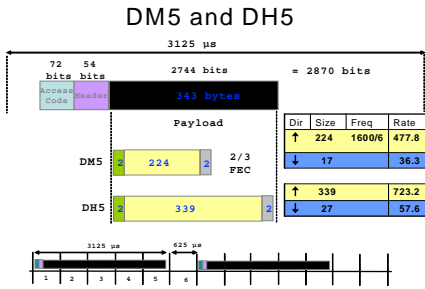


Şekil-2 Bluetooth Protokol Yapısı

Bluetooth ile bir uygulama gerçekleştirmek için her bir katmandan uygun protokoller seçilerek profiller oluşturmak gerekmektedir. Örneğin, dosya transferi için, HCI katmanı ve altındakilere ilave olarak L2CAP, RFCOMM ve bir de dosya transferine uygun olacak API katmanı yazmak gerekir. Esasında kullanıcının erişebileceği ve değişiklik yapabileceği katmanlar HCI ve yukarıdaki katmanlardır. Baseband ve LMP komutlarını sadece Bluetooth chipset üreticileri değiştirebilir. Kullanıcıya açık olan ve Bluetooth performansını kanal şartlarına göre değiştirmek için kullanılacak iki komut vardır: readLinkQuality() ve changePacketType(). Onlar Bluetooth protokol yığını (protocol stack) içinde HCI katmanında bulunmaktadır.

Performansı etkileyen diğer bir parametre ise paket tipi ve uzunluğu seçimidir. Bluetooth veri transferi paketler halinde yapılmaktadır. Standartlara göre paketler en genel anlamda ikiye ayrılır; bunlar kontrol paketleri ve ses/veri paketleridir. Ses/veri paketleri ise ses ve veri yani senkron

ve asenkron paketler olmak üzere ikiye ayrılır. HV ses paketlerini, DM ve DH da veri paketlerini sembolize eder. DM ve DH paketlerinde, veri doğru alınıncaya kadar tekrar göndermesi gerekiyor. Genel olarak paketler Access Kod, Header ve Payload isimleri verilen 3 kısımdan oluşmaktadır. Ayrıca DM paketlerde FEC ve CRC, DH paketlerde sadece CRC error control için kısımları taşınmaktadır. DH1 paket yapısında 1 bayt Header olmak üzere 28 bilgi baytı ve 16 bit CRC içermektedir. DH3 paket yapısında 2 bayt Header olmak üzere 185 bilgi baytı ve 16 bit CRC bulunmaktadır. DH5 paket yapısında ise 2 bayt Header olmak üzere 341 bilgi baytı ve 16 bit CRC bulunmaktadır. DM5 ve DH5 paket yapısının şematik karşılaştırılması Şekil-3'de gösterilmiştir.



Şekil-3 DM5 ve DH5 paketlerin yapısı

DM1, DM3 ve DM5 paketleri DH1, DH3 ve DH5 paketi ile benzer bir yapıya sahiptir fakat onların veri kapasitesi DH'e göre daha azdır çünkü onlar 2/3 FEC ile hata oranı azaltmak için korunmaktadır. Tablo 1'de paket tiplerini ve bunların veri taşıma kapasitesi değerlerini gösterilmektedir.

BLUETOOTH DATA PACKETS

Type	Max User Payload (bytes)	FEC	Max Rate (Kbps)
DM1	17	0	108.8
DH1	27	X	172.8
DM3	121	0	387.2
DH3	183	X	585.6
DM5	224	0	477.8
DH5	339	X	723.2

Tablo-1 Paket tipleri ve veri taşıma kapasiteleri

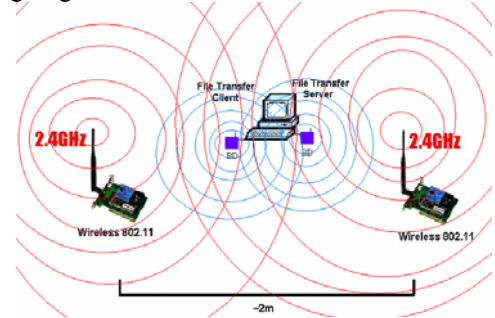
3. KANAL KALİTESİNE BAĞLI VE PERFORMANS ARTIRICI BLUETOOTH PAKET SEÇİMİ ALGORİTMASI

Şimdiye kadar yapılan çalışmalarda paket seçimi ve link kalitesi arasındaki ilişki sadece tekli paketlerin seçimi yapılarak araştırılmıştır. Bizim çalışmamızda yeni bir yöntem olarak ikili paket denenmiştir. Bunun anlamı şudur: kullanıcı *changePacketType()* fonksiyonuna ikili paketleri parametre olarak verirse chipset veri iletimi sırasında kullandığı paketleri kullanıcının belirlediği paket türlerinden birini seçerek yapar. Yani, eğer DM1+DM3 paketini seçilmiş ise (seçtiyse) chipset bunu "DM1 'i yada DM3 'ü kullan " olarak algılar. Böyle ikili paketleri denememizin önemli bir sebebi vardır: ikili paketler, birisi

diğerine göre daha fazla veri taşıyabilecek şekilde seçilir. Kullanıcı verisinin önemli bir kısmı büyük olan paket ile gönderilir. Eğer geriye kalan kısım daha az veri taşıyan pakete sığabiliyorsa, bu kısım daha kısa paket ile gönderilir. Bu sayede, 1200 baytlık veriyi 4 adet DH5 paketi ile 4x5 slotta taşıyabilecekken aynı miktardaki veriyi 3 adet DH5 ve 1 DH1 paketi kullanarak 3x5+1 slotta taşıyabiliyoruz. Bağlantı kalitesine bağlı paket seçimi yaparak, önerilen algoritmanın doğruluğunu gösteren deneysel bir ortam oluşturduk.

Deney düzeneği:

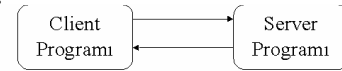
Bluetooth performansı ölçülmesi, kanal kalitesi gözleyebilmek için iki nod arasında dosya aktarımı gerçekleştirilmiştir. Bunun için iki adet Clarinox dongle ve Clarinox yazılımı kullanılmıştır. Gürültü ortamı yaratılmak amacıyla iki adet bilgisayar 802.11 kablosuz ağ üzerinden bağlanmıştır. Şekil 4'de kurduğumuz deney düzeneğini gösterilmektedir.



Şekil-4 Deney Düzeneği

Deney algoritması:

Her bir ölçüm farklı bir paket tipinde fakat aynı dosya için yapılacağı için, her bir sonuç alındığında gönderilen dosyanın silinip yenisinin gönderilmesi gerekiyor. Paket tipini değiştirmek için *changePacketType()* fonksiyonu kullanılmıştır.

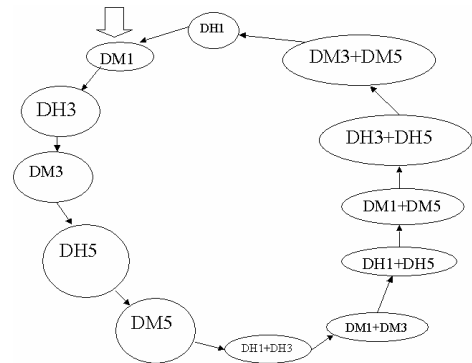


Client programı :

- Paket tipini her dosya transferi işleminde değiştirir.
- Her seferinde aynı dosyayı gönderir.
- Dosya gönderilmeye başladığı anı kaydeder.

Server tarafı :

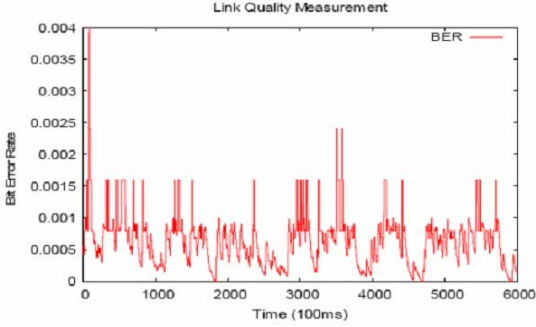
- Dosya gönderme bitiş anını kaydeder.
- LQ ortalamasını ölçer ve kaydeder.
- BER ölçer ve kaydeder.



Şekil-5 Deney algoritması

Ölçüm sonuçlarını, hem client (alıcı) hem de server (sunucu) programı aynı dosyaya (result.out) kaydeder. Bunun nedeni dosyanın gönderilmeye başladığı ve bittiği zamanları kullanarak transfer zamanının öğrenilmek istenmesidir.

Daha önce yapılan çalışmalar gösteriyor ki LQ değeri çok hızlı değişen bir parametredir [2]. Pratik olarak bunun değişimlerinden etkilenilmesi çok olağandır. Şekil-6, 5 dakika boyunca kaydı tutulmuş sonuçları göstermektedir.



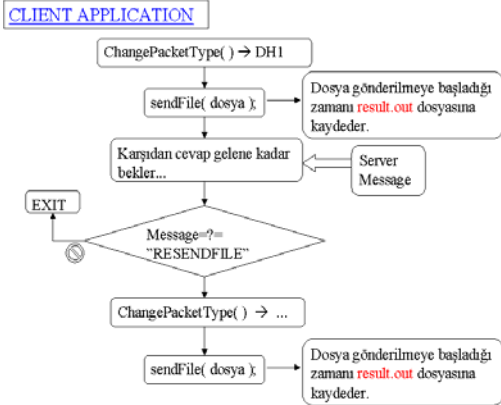
REF: Enhancing Bluetooth TCP Throughput via Packet Type Adaptation (Department of Computer Science, UCLA)

Şekil-6 Belirli bir süre için izlenmiş BER değeri

Yaptığımız çalışmada aşağıdaki verilen formüle göre, belli bir süre için ortalama alınmıştır:

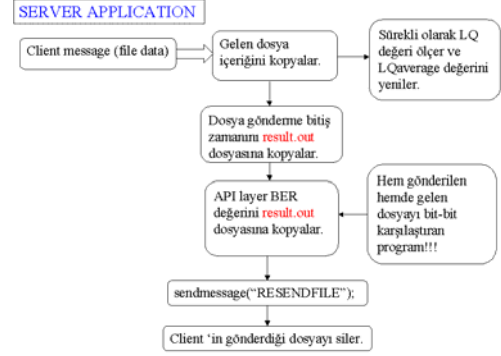
$$Average = \frac{Average \times (numberOfSamples - 1) + newValue}{numberOfSamples}$$

Sunucu programının hesapladığı BER her iki dosyanın bit-bit karşılaştırılıp, bulunan farklı bit sayısının, toplam bit sayısına bölümüyle hesaplanabilir. Bunu “pratik BER” diye isimlendirdik (CSR ’nin ölçümlerinde kullandığı BER ile karışmaması için). Aşağıdaki diyagramlar, client ve server uygulamaları için yazılmış deney algoritmasını özetlemektedir:

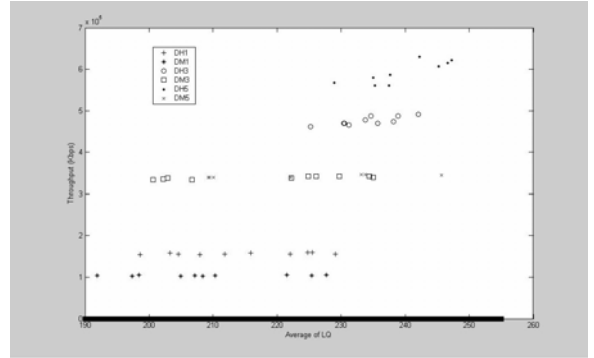


Şekil-7 Deney için hazırlanmış algoritmanın client tarafı

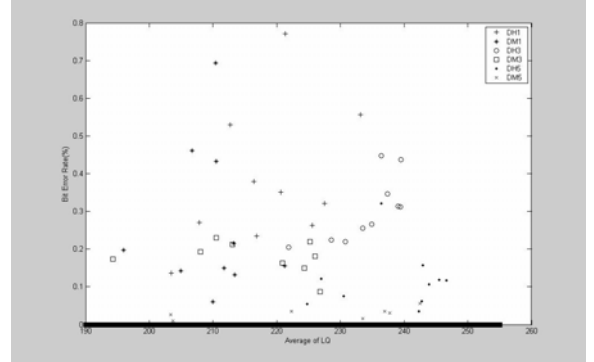
Herhangi bir deney 8-15 saat arasında gerçekleştirildi. Bütün paket tipleri için yeterince veri elde edebilmek için bir paket için en az 15-20 nokta da ölçüm alması gerekiyor. Fakat bazı ölçümlerde benzer değerler elde edildiği için tekrarlandı. Bu sebepten dolayı elde edilen grafikler farklı sayıda ve farklı noktalarda örnek içerebilir. Bütün ölçümler result.out isiminde tek bir dosyada toplandı ve buradaki veriler tek tek Matlab ortamına aktarılıp çizdirildi. Elde ettiğimiz grafikler Sekil 8 – Sekil 11’de verilmektedir:



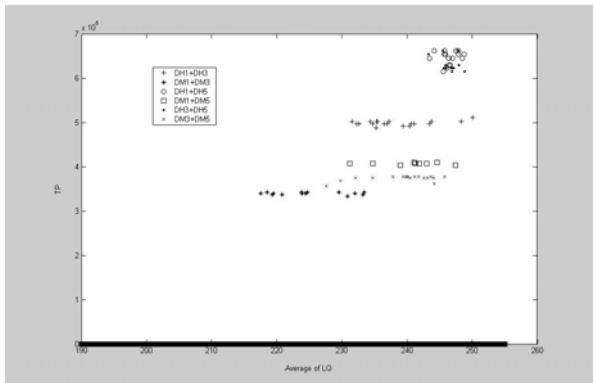
Şekil-8 Deney için hazırlanmış algoritmanın server tarafı



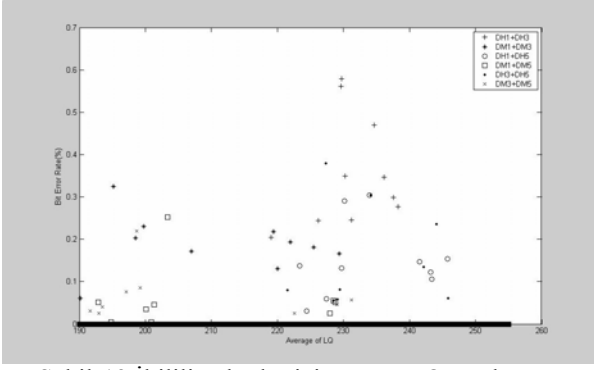
Şekil-9 Tekli paketler için, Throughput-LQ ortalaması



Şekil-10 Tekli paketler için, BER-LQ ortalaması

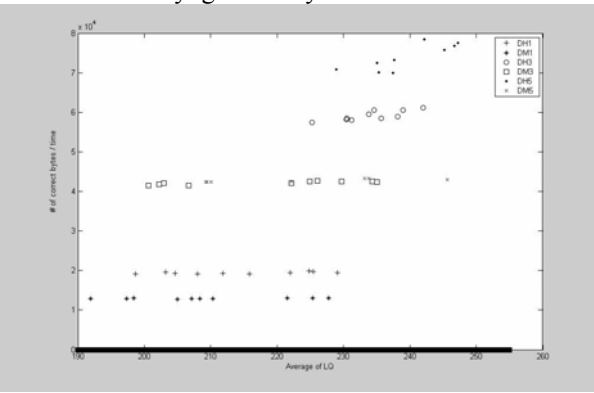


Şekil-11 İkili paketler için, Throughput-LQ ortalaması

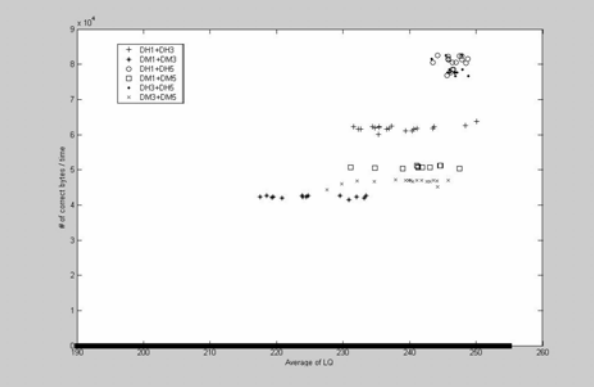


Şekil-12 İkili paketler için, BER-LQ ortalaması

Sonuçlar, çift paket seçiminin pratik olarak veri gönderme kapasitesini arttırdığı hipotezimizi kanıtlıyor. Hatta bu durum, sonuçların zamana göre normalize olarak verildiği Şekil 13’de daha iyi görülebiliyor.



Şekil-13 Tekli paketler için, normalize edilmiş değerler



Şekil-14 İkili paketler için, normalize edilmiş değerler

LQ ortalamasının 230 ‘dan büyük olduğu değerler için, iki paket seçiminin tek paket seçimine göre üstünlüğü vardır. DH3+DH5 ile DH5 paketi karşılaştırıldığında aynı LQ değerinde hata oranlarının her ikisinde de benzer olduğu görülmüştür. TP değeri DH3+DH5 paketleri için 610-670 Kbps arasında iken DH5 paketi için bunun 600-630 Kbps arasında olduğu görülmektedir. Bu kıyaslama LQ = 240-250 arasında iken yapılmıştır.

Uygulama seviyesinde BER karşılaştırılması yapıldığında, tek paket seçiminde DM5’in çok iyi olduğu görülür. Buna karşılık ikili paket seçiminde ise DM1+DM5 ile DM3+DM5 paketlerinin oldukça iyi sonuç verdiği görülmektedir. Bu durum teorik sonuçlarla bire bir uyuyor. DM paketleri DH paketlerine göre, içerisinde

FEC kısmı bulundurduğu için BER konusunda performansı daha iyidir.

Sonuçlara kullanıcı gözüyle bakacak olursak, sadece BER’i değil de, aynı zamanda tüm dosyanın gerçekleştiği toplam zamanın da (bu hem kullanıcı verisinin taşındığı hem de ARQ bilgilerinin iletildiği zamana karşılık geliyor) hesaba katılmasıyla, en yavaş olanın DM1 paketleri ve ardından DH1 olduğu sonucuna vardık. İkili DM paket seçiminde DM1+DM5 ardından DM3+DM5 olduğu görülmektedir. İkili paket seçiminin hız performansı konusunda da DH paketlerini çok daha iyi olduğunu görülmektedir. İkili DH paket seçiminde en hızlı dosya transferi gerçekleştirilen DH1+DH5 seçimi, daha sonra ise aralarında çok küçük bir farkla DH3+DH5 seçimidir. DH1 paketi DH3 paketine göre daha az veri taşımaya rağmen DH1+DH5 seçimi, DH3+DH5 seçiminin veri taşıma kapasitesinden daha yüksek olduğu görülmektedir.

Görüldüğü gibi, ikili paket seçiminde seçilen paketlerin boyu her zaman hem veri kapasitesi konusunda hem de veri transfer zamanı konusunda performansı artırıcı yönde etkili olduğu görülmektedir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, veri aktarım hızı açısından Bluetooth bağlantısının performansını etkileyecek faktörleri araştırdık. Çiftli paket seçimi kullanarak veri taşıma kapasitesini arttıran bir algoritma önerdik. Bu algoritma HCI komutlarına bağlı ve kullanıcı tarafından kolaylıkla gerçekleştirilebilir. Deneysel sonuçlar gösteriyor ki; büyük dosyaları gönderirken kullanılacak iki paket tipi arasında seçenek sunmak, performans arttıran bir etki oluşturuyor. Bu durum kapasite ve zaman açısından bakıldığında karşılaştırılır. Yani, Bluetooth chip içerisine inmeden performansı artırılabilir, daha hızlı ve daha kaliteli bir haberleşmeye HCI komutları kullanılarak ulaşılabilir.

5. KAYNAKLAR

1. <https://www.bluetooth.org/spec/>
2. Ling-Jyh Chen, Rohit Kapoor, M. Y. Sanadidi, Mario Gerla, Enhancing Bluetooth TCP Throughput via Packet Type Adaptation
3. Jesung Kim, Yujin Lim, Yongsuk Kim, Joong Soo Ma, An Adaptive Segmentation Scheme For the Bluetooth-based Wireless Channel
4. S. Zeadally, A. Banda, A. Kumar, Improving Bluetooth Performance in 802.11 Interference Environments
5. David McCall, Negotiate Your Way to Interference-Free Bluetooth, Communication Systems Design, July 2002
6. Sokullu R, Özdemir Ö, Küçük T, Karatepe E, DM1, DM3 ve DM5 Paket Tiplerinin Kullanıldığı Bluetooth Ağların Matlab-Simulink ile Modellemesi, ITUSEM Sempozyumu, pp 109-114, 17-19 Kasım 2005.