

Kablosuz Ağlarda Farklı Ağ Erişim Teknolojileri için Güç Tüketim Hesabı

Mehmet Fatih Tüysüz

Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa

Geliş Tarihi: 05.08.2016

Kabul Tarihi: 08.09.2016

Özet

Günümüzde akıllı cihazlar farklı ağ bağdaştırıcıları kullanarak İnternete erişebilmekte, farklı cihazlarla iletişim kurabilmekte ve kullanıcılarına kısa veya uzun dönemli işlerini bu cihazlar üzerinden gerçekleştirebilme fırsatı sunmaktadır. Bu cihazlar limitli bir bataryaya sahip olduklarından, enerji verimliliği konusu hem akademik hem de iş camiasında önemli bir konu haline gelmiştir. Farklı kablosuz ağ arayüzlerinin bir cihazda konuşlandırılabilmesi ve İnternete herhangi bir yerden herhangi bir zamanda girebilme isteği enerji verimliliği konusunu daha da önemli kılmaktadır. Bu çalışmada günümüzdeki akıllı cihazlarda en çok kullanılan ağ bağdaştırıcıları hakkında ön bir bilgi verilerek, her bir ağ erişim teknolojisi için tahmin edilen güç tüketim değeri hesabı sunulmaktadır.

Anahtar kelimeler: Enerji verimliliği, Kablosuz Ağ Erişim Teknolojileri, Güç Tüketimi

Computation of Power Consumption in Wireless Networks for Different Radio Access Technologies

Abstract

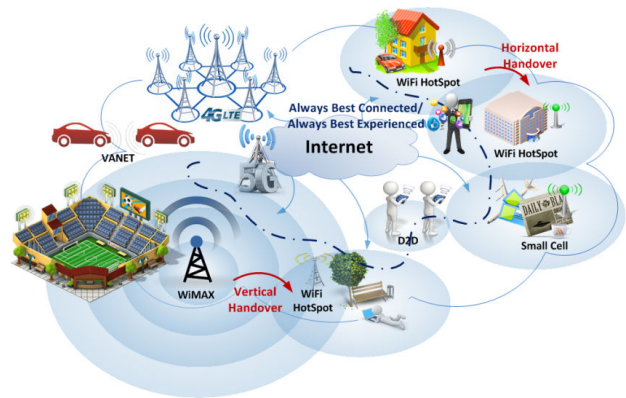
Nowadays, smart mobile devices equipped with various wireless networking interfaces are used to access the Internet, communicate, socialize and handle short or long-term businesses. As these devices rely on their limited batteries, energy-efficiency has become one of the major issues in both academia and industry. Due to the variety of Radio Access Technologies (RATs) and the necessity of connecting to the Internet anytime and anywhere, makes energy efficiency process even more important in recent years. In this context, this paper first gives brief information of most well-known RATs used in current smart mobile devices and then formulates RAT-based estimations of expected power consumption of mobile terminals.

Keywords: Energy efficiency, Wireless Radio Access Technologies, Power Consumption

1. Giriş

Kablosuz ağların ve akıllı mobil cihazların önemli derecedeki hızlı yayılımı ve gelişimi, kullanıcılara kesintisiz, sürekliliği olan ve kaliteli bir iletişim ortamı kazandırmıştır. Bu sayede günümüzde kullanıcılar bir cihazdan başka bir cihaza, ister hareket halinde isterse sabit olsun, istenilen servis kalitesi düzeyinde bir düşüme uğramadan veya sınırlı bir düşüme iletilişlerini sürdürmektedirler.

Kablosuz ağlardaki artan trafik sorununu ve hizmet kalitesi ihtiyacını karşılayabilmek için yeni nesil kablosuz ağ altyapısı Şekil 1'de gösterildiği üzere çok sayıda baz istasyonu/erişim noktası kullanımı ve IEEE 802.11 yerel alan ağları (WLAN), 3G, Uzun Vadeli Evrim (LTE) ve Dünya Çapında Birlikte İşleyen Mikrodalga Erişimi (WiMax) gibi farklı kablosuz ağ erişim teknolojilerinin tek cihazda konuşlandırılması prensibini öngörmektedir.



Şekil 1. Yeni nesil Kablosuz iletişim senaryosu

Yakın bir zamana kadar Bilgi ve İletişim Teknolojilerinin (ICT) asıl hedefi performansa ve fiyata odaklı bir iletişim sağlamak iken, günümüzde bu hedef belirtilen ölçütlerin enerji verimliliği de göz önüne alınarak gerçekleştirilmesi olmuştur. Günümüzde hükümetlerin ve büyük ölçekli şirketlerin karbon emisyonu artışını sınırlandırma

amaçlı gerçekleştirdikleri bazı çalışmalara rağmen, cihaz ve kullanıcı sayısındaki hızlı yükseliş karbondioksit salınım oranlarının her geçen gün daha da artmasına sebep olmaktadır [1].

SMART 2020 [2] çalışmasında belirtildiği üzere, ICT-temelli karbondioksit salınımı yıllık yaklaşık olarak %6 oranında artmaktadır. 2020 yılında ise ICT-temelli karbondioksit salınım oranının toplam karbondioksit salınımının %12'lik bir kısmını oluşturacağı öngörülmektedir.

Enerji tüketiminin düşürülebilmesi için altyapı-temelli enerji kazanımı ilkesini benimseyen Greentouch consortium [3], EARTH [4] ve Mobile VCE [5] gibi büyük bütçeli global ölçekli projeler de mevcuttur. Bu projelerin temel amacı yenilikçi, kolaylıkla yüklenilebilen ve performanslı yeni yaklaşımlar ve tasarımlar geliştirerek daha çevreci bir kablosuz ağ operasyonu sağlamaktır.

Günümüzde mobil cihazlar birden fazla kablosuz ağ bağdaştırıcısı bünyesinde barındırdığı için en enerji verimli ağa bağlanmak, her ağ erişim teknolojisinin harcayacağı muhtemel enerji tüketimi hesabının yapılması ve en enerji verimli ağ bağdaştırıcısının kullanılmasıyla mümkündür. Bu kapsamda, bu çalışmada günümüzdeki akıllı cihazlarda en çok kullanılan ağ bağdaştırıcıları hakkında ön bir bilgi verilerek, her bir ağ erişim teknolojisi için tahmin edilen güç tüketim değeri hesabı sunulmaktadır.

2. IEEE 802.11 Kablosuz Ağları

2.1. IEEE 802.11 Kablosuz Yerel Alan Ağları

IEEE 802.11 kablosuz yerel ağ standardında cihazların ağa erişimini sağlayan temel yöntem Dağıtık Koordinasyon Fonksiyonu (DCF) yöntemidir. DCF CSMA/CA yaklaşımını ikili üssel backoff (BEB) algoritması kullanarak gerçekleştirmektedir. DCF yaklaşımında, ağa erişmek isteyen bir cihaz iletim öncesi ağa bir DIFS (Distributed Interframe Space) süresi kadar bekler. Bu süre zarfında kanalın meşgul olduğu algılanırsa, cihaz iletimini kanalın boşalacağı süreye kadar beklemeye alır. Birden fazla cihazın bulunduğu bir ağda, ağın meşgul olduğunu anlayan cihazların tamamı ağ boşalana kadar iletimlerini öterler. Ağın boşaldığı algılanınca cihazlar aynı

anda iletim yapmaya kalkışılırsa, iletilen çerçeveler çarpışır. Aynı ağdaki farklı cihazların aynı anda çerçeve iletim ihtimalinin azaltılması için DCF cihazlar üzerinde rassal bir backoff algoritması çalıştırır. Bu algoritma cihazların çerçeve iletimlerini DIFS sonrası belirli bir süre daha beklendikten sonra iletim prensibine dayanır. Kablosuz ağlarda zaman dilimi slotlara ayrılmıştır ve cihazların beklemesi gereken toplam slot sayısı her cihaz tarafından rassal olarak belirlenir.

$$Backoff = \text{rassal}(1, CW) \times \text{slot süresi}$$

Bu yöntem ile ağın boşaldığını aynı anda algılayan cihazlar backoff değerlerini rassal olarak seçerek iletim zamanlarını farklılaştırırlar ve çerçevelerin çarpışma ihtimalini azaltırlar. Bir cihaz çerçevesini ilk defa iletmek için hatta yarışıyor, cihaz o çerçeve için 1 ile CW_{min} (31) arası bir backoff değerini rassal olarak seçer ve toplam backoff süresini belirler. İletilen çerçevenin başka bir çerçeve ile çarpışması durumunda ise, cihaz o çerçeve için daha büyük bir backoff aralığı seçerek, çerçevenin tekrar çarpışma ihtimalini azaltır. İletilmeye çalışılan çerçeve başka çerçevelerle çarpıştıkça, backoff slot aralığı büyütülür. Yalnız, çerçeve aralığı CW_{max} (1024) değerinden büyük olamaz. DCF protokolü tarafından kullanılan ikili üssel backoff algoritması Algoritma-1'de gösterilmektedir. İletilen çerçevelerin başarılı olması durumunda ise alıcı tarafından iletiçiye çerçevenin başarıyla alındığını bildiren ACK çerçevesi yolları.

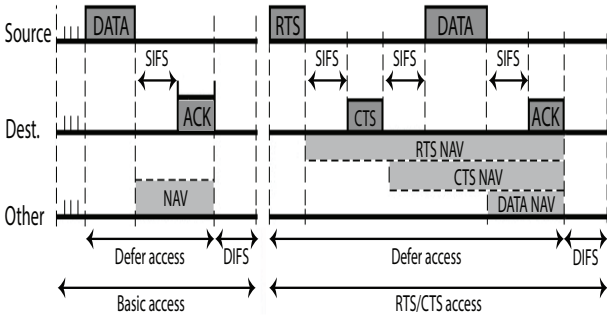
Algoritma 1: İkili Üssel Backoff Prosedürü (BEB)

```

if (  $R_c == 0$  ) then // ilk iletim
     $CW = CW_{min}$  //  $CW_{min} = 32$ 
else // tekrar iletim
     $CW = 2(CW + 1) - 1$ 
     $CW = \min(CW, CW_{max})$  //  $CW_{max} = 1024$ 
Backoff =  $\text{rand}(1, CW) \times (\text{slot})$ 

```

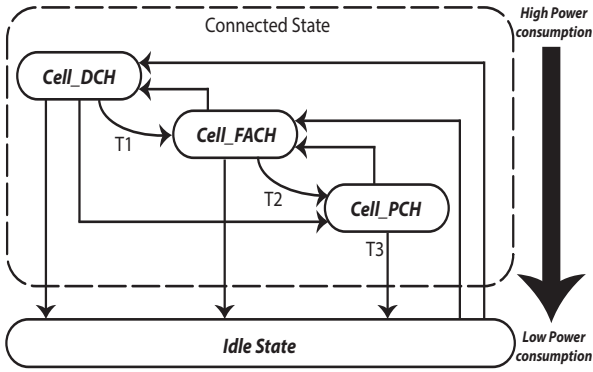
Ayrıca Şekil 2'de gösterildiği gibi, ağdaki çarpışmaların önlenmesi için Request to send ve Clear to send (RTS/CTS) ağ erişim metodu da kullanılabilir [6]. Yalnız bu yöntemde, özellikle de ağda çok sayıda cihaz bulunmuyor iken, ek RTS/CTS çerçeve gönderimlerinden dolayı, veri çerçevelerinin iletimleri daha uzun süreler alır ve bu da ağın iş-yükü performansının düşmesine ve enerji tüketiminin artmasına sebep olur.



Şekil 2. IEEE 802.11 Ağa Erişim Metotları.

2.2. 3G Ağları

3G ağlarda radyo kaynaklarının cihaz ve ağ arasında tahsisi Radyo Kaynak Kontrolü (RRC) protokolü ile gerçekleştirilir [7]. Bu protokole göre dört adet güç tüketim durumu söz konusudur: Cell_DCH, Cell_FACH, Cell_PCH ve Idle durumu. The RRC protokolünde belirtilen bu dört durum Şekil 3'te gösterilmektedir.



Şekil 3. Radyo Kaynak Kontrol (RRC) durumları.

Idle durumunda herhangi bir ağ aktivitesi icra edilmediğinden mobil cihaz en düşük enerji tüketimi ile çalışmaktadır. Herhangi bir ağ aktivitesi gerçekleşmesi durumunda, mobil cihaz Cell_DCH (Dedicated Channel) veya Cell_FACH (Forward Access Channel) gibi daha yüksek bir güç tüketimi durumuna geçmektedir. Cell_DCH durumunda cihaz için özel bir ağ tahsisi yapılır. Bu ağ sadece o cihaz için tahsis edilmiştir ve başka bir cihaza açık değildir. Bu durumdayken cihaz maksimum iş-yükü ve minimum çerçeve arası gecikme süresi elde eder. Yalnız, cihaz ayrıca bu durumdayken en yüksek güç tüketimi değerine sahip olur. Cell_FACH durumunda, kanal ağdaki diğer cihazlarla beraber paylaşılmaktadır. Bu durum cihazın küçük miktarlarda trafiğe sahip olduğu anlarda kullanılmaktadır ve Cell_DCH durumuna göre

yaklaşık olarak yarı yarıya azalan bir güç tüketimi söz konusudur.

Cell_PCH (Paging Channel) durumunda ise cihaz için herhangi bir ağ tahsisi bulunmamaktadır. Bu durumda iletim veya alım da yapılmamaktadır. Cihaz sadece Radyo Ağ Kontrolörü (RNC) tarafından gönderilen paging mesajlarını gözlemler. Cell_PCH durumunda cihaz yaklaşık olarak Cell_DCH durumunda tüketilen gücün %2-3'ü kadar bir güç tüketir [8].

3G ağlarda farklı güç tüketim durumları arasındaki geçiş süreleri ve aktivitesizlik zamanlayıcıları T1, T2 ve T3 değerleri RNC tarafından kontrol edilmektedir. Aktivitesizlik zamanlayıcıları mobil cihazın daha az güç tüketim değerlerine geçeceği zamanı belirler. Bir çerçeve gönderimi sonrası hemen yüksek bir güç tüketiminden düşük bir güç tüketim durumuna geçmek yerine, cihazlar durumlarını sadece ağın belirli bir süre boyunca (aktivitesizlik zamanlayıcılarının süresi boyunca) aktivitesiz kalmaya göre belirlerler. Yüksek durumda kalmak daha fazla güç tüketmektedir. Dolayısıyla tavsiye edilen mümkün olabilecek en düşük güç tüketim durumunda kalmaktır ve aktivitesizlik sürelerinin uzun bir süre olarak ayarlanmamasıdır. Yalnız, çok düşük bir aktivitesizlik süresinde ek sinyalleşmelerden ve sık durum değişikliklerinden dolayı karmaşıklığa ve farklı gecikmelere sebep olabilmektedir. Kısacası, çok küçük bir aktivitesizlik değeri de uygun bulunmamaktadır. Sonuç olarak aktivitesizlik süresi hesabı akademik bir çalışmadır ve farklı durumlara göre uyarlamalı olarak değişebilecek bir değerler kümesidir. Bu değerler günümüzde tipik olarak birkaç saniyelik değerler olarak ayarlanmaktadır [7].

2.3. LTE Ağları ve WiMAX

LTE mobil cihazlar ve veri terminalleri için yüksek hızlı iletişim standardıdır. GSM/EDGE ve UMTS/HSPA ağ teknolojileri temellidir. LTE ile iletişim hızı ve kapasitesi temel ağ iyileştirmeleri ile farklı bir radyo arayüzünün beraber kullanımıyla artırılmıştır.

Kapasite artışı ve yüksek hız yeni dijital sinyal işleme (DSP) teknikleri ve modülasyonlarla gerçekleştirilmiştir. Bir diğer amaç ise IP temelli ağ

mimarisinin yeniden tasarlanarak basitleştirilmesi ve 3G ağ mimarisine göre daha düşük iletim gecikmelerinin sağlanmasıdır. LTE kablosuz arayüzü 2G ve 3G ağlarla uyumsuz olduğundan, farklı bir radyo spektrumunda çalıştırılması gerekmektedir.

WiMax ise IEEE 802.16 kablosuz iletişim standardı kümesinin bir ailesidir. WiMax çoklu fiziksel katman (PHY) ve ağ erişim katmanı (MAC) opsiyonları sunar. WiMax kablolu iletişim standardına DSL'e alternatif olarak sunulan bir kablosuz iletişim standardıdır.

WiMax başlangıçta saniyede 30 – 40 Magabit veri iletimine imkan verecek şekilde tasarlanmıştır. Günümüzde ise bu iletişim hızı sabit cihazlar için saniyelik 1 Gigabitin üzerindedir.

3. Farklı Ağ Erişim Teknolojileri için Tahmini Güç Tüketim Hesabı

Farklı ağ erişim teknolojilerinin birim zamanda harcayacağı güç tüketimi hesabı yanlış bir ölçüme sebep olabilmektedir. Bunun temel nedeni ise idle modda kalan bir cihazın daha az güç tüketeceği için daha verimliymiş gibi görünebilmesidir. Halbuki güç tüketimi elde edilecek iş-yükü miktarını da dikkate alarak hesaplanmalıdır. Bu sayede birim miktar iş-yükü için farklı ağ erişim teknolojilerinin ne kadar güç tüketeceği birbirleriyle kıyaslanabilecektir.

Yukarıda bahsedilen açıklamalar doğrultusunda makalenin bu kısmında her bir ağ erişim teknolojisinde aynı miktarda iş-yükü elde edebilmek için tahmin edilen güç tüketim değerinin formülasyon hesabı sunulmaktadır.

3.1 IEEE 802.11 Tahmini Güç Tüketim Hesabı

Kablosuz ağlarda PSM (Güç-Kazanç-Modu) etkin cihazların güç tüketimlerini incelerken üzerinde durulması gereken iki temel faktör bulunmaktadır. Bu faktörlerin ilki uyanan bir istasyonun ne kadar süre uyanık kalacağı ve hattı ele geçirip alımı gereken tüm çerçeveleri alacağıdır. İkinci faktör ise cihazların beacon çerçeveleri arasındaki uyku sürelerinin nasıl kararlaştırılması gerektiğidir. Çok uyuyan bir istasyon haliyle az enerji tüketir. Yalnız, bu da çerçeve iletim/alım sürelerinin gecikmesine ve iş-yükü performansının düşmesine sebep olabilir. Çalışma kapsamında PSM-etkin ve PSM-pasif cihazların ne kadar güç tükettiği bu iki faktöre ve bir

de cihazların her enerji tüketim durumunda (iletim, alım, boşa çalışma ve uyku) ne kadar kaldıkları ve birim zamanda ne kadar güç tükettikleri bilgisiyle hesaplanmaktadır. Daha önceden yapmış olduğumuz bir çalışmada [9], IEEE 802.11b cihazların Wi-Fi arayüzünün güç tüketim analizi tarafımızca sunulmuştur. IEEE 802.11a/g ağları için de benzer varsayımlarda bulunulabilir. Bu çalışmada da cihazların güç tüketimi hesabı için benzer işlemler gerçekleştirilmiştir. Buna göre, Wi-Fi arayüzü tarafından harcanan toplam güç miktarı aşağıda kabaca hesaplanmıştır.

$$P_{total} = P_t(i, j) \times t_t + P_{idle}(i, j) \times t_{idle} + P_r(i, j) \times t_r + P_{doze}(i, j) \times t_{doze}$$

burada $P_t(i, j)$, $P_{idle}(i, j)$, $P_r(i, j)$ ve $P_{doze}(i, j)$ ifadeleri i ağındaki j tipli trafiğe sahip bir cihazın sırasıyla iletim, boşa çalışma, alım ve uyku durumlarında Wi-Fi arayüzü tarafından tüketilen güç miktarıdır. Ayrıca, t_t , t_{idle} , t_r ve t_{doze} ise cihazın iletim, boşa çalışma, alım ve uyku durumlarında kalış sürelerini ifade eder. t_t değeri iletilen çerçeve sayısına (N_f), iletim hızına R_{up} , çerçeve boyutuna $s(j)$, çerçeve hata oranına (FER) ve çarpışma olasılığına P_c bağlıdır. Dolayısıyla, t_t süresi hesabı aşağıdaki gibi hesaplanabilir,

$$t_t \cong \frac{s(j)}{R_{up}} \times N_f \times (1 + FER) \times (1 + P_c)$$

P_{t_NIC} iletim durumunda harcanan birim gücü ifade ederse, bu durumda iletim durumunda Wi-Fi arayüzü tarafından tüketilen toplam güç miktarı hesabı aşağıda verilmiştir.

$$P_t(i, j) \times t_t \cong P_{t_NIC} \times \frac{s(j)}{R_{up}} \times N_f \times (1 + FER) \times (1 + P_c)$$

Benzer şekilde, cihazın alım durumunda kalacağı süre t_r , çerçeve alım hızına, çerçeve boyutuna, çarpışma olasılığına ve trafik tipine (doğgun, doğgun olmayan trafik) bağlıdır. Doğgun trafik (TCP) durumunda t_r hesabı aşağıdaki gibidir,

$$t_r \cong \frac{s(j)}{R_{down}} \times N_{fACK} \times (1 + P_c)$$

Bu kapsamda, alım durumunda Wi-Fi arayüzü tarafından tüketilen toplam güç miktarı hesabı ise aşağıda verilmiştir.

$$P_r(i, j) \times t_r \cong P_{r_NIC} \times \frac{s(j)}{R_{down}} \times N_{f_ACK} \times (1 + P_c)$$

Doğun olmayan (UDP) trafikte iletişimin iki taraflı olabileceği düşünüldüğünde (örneğin VoIP), t_r hesabı aşağıdaki gibi yapılabilir.

$$t_r \cong \frac{s(j)}{R_{down}} \times N_{f_ACK} \times (1 + P_c) + N_{rcv_fr.} \times t_{as} \times (1 + FER)$$

burada $N_{rcv_fr.}$ cihazın iletişimde bulunduğu karşı tarafın gönderdiği toplam çerçeve sayısıdır. t_{as} karşı tarafın bir çerçeve iletimi için gerekli süredir. Dolayısıyla, doğun olmayan bir trafiğe sahip cihazın alım durumundaki toplam güç tüketimi aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$P_r(i, j) \times t_r \cong P_{r_NIC} \times \left(\frac{s(j)}{R_{down}} \times N_{f_ACK} \times (1 + P_c) + N_{rcv_fr.} \times t_{as} \times (1 + FER) \right)$$

Cihazların uyku durumunda kalış süresi t_{doze} beacon aralıklarındaki ortalama uyku süresine ($sleep_time$) ve kaç defa uykuya dalındığını belirten sayaca (c_{st}) göre belirlenebilir.

$$t_{doze} \cong \sum_{i=1}^{c_{st}} Sleep_Time_i$$

Cihazın uyku durumunda tüketileceği toplam güç miktarı ise aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$P_{doze}(i, j) \times t_{doze} \cong P_{doze_NIC} \times \sum_{i=1}^{c_{st}} Sleep_Time_i$$

Son olarak, cihazın boşta kalacağı süre t_{idle} ise, cihazın Wi-Fi arayüzünün açık kaldığı toplam süreye t_s ve cihazın iletim, alım ve uyku durumlarında kaldığı sürelerle bağlıdır.

$$t_{idle} \cong t_s - t_t - t_r - t_{doze}$$

Bu kapsamda, WiFi arayüzü tarafından cihazın boşta kaldığı durumlarda tüketilen toplam güç miktarı hesabı aşağıda verilmiştir.

$$P_{idle}(i, j) \times t_{idle} \cong P_{idle_NIC} \times (t_s - t_t - t_r - t_{doze})$$

3.2. 3G Tahmini Güç Tüketim Hesabı

Sürekliği olan bir veri akışı için $ramp^1$ ve $tail^2$ enerji etkisi çok düşük (ihmal edilebilir) olmaktadır. Bunun sebebi ise devam eden çerçeve iletiminin cihazı sürekli Cell_DCH durumunda tutmasıdır. Hedefimiz yeteri kadar büyük bir verinin iletimi için gerekli olan güç tüketimini hesaplamak olduğu için ramp ve tail enerji tüketimlerini çalışma kapsamında ihmal ediyoruz ve sadece Cell_DCH durumundaki güç tüketimi verilerine odaklanıyoruz.

Cell_DCH durumundaki bir cihaz hem Cell_DCH durumunu korumak (P_{DCH}) için hem de iletim/alım yapabilmek (P_{tr}) için enerji harcamaktadır. Dolayısıyla, bir cihazın 3G arayüzünün belirli bir miktar veriyi iletebilmesi veya alabilmesi için gereken tahmini güç tüketimi aşağıdaki gibi hesaplanabilir,

$$P_{total} \cong P_{DCH} + P_{tr}$$

Güç tüketimi ölçümündeki amaç n Mbps verinin iletimi/alımı olduğu için bu kadar veriyi iletebilmek için gereken transfer bloğu sayısı (N_{tb}) Maximum Transport Block Size (MTBS) cinsinden aşağıdaki gibi hesaplanabilir,

$$N_{tb} = \frac{n}{MTBS}$$

Not edilmelidir ki, n Mbps verinin iletimi için gerekli enerji tüketimi cihaz ve bağlanılan baz istasyonu arasındaki çerçeve paketleme aralığına (I_p) ve başarılı çerçeve iletim oranına ($S(C_i)$) da bağlıdır. Dolayısıyla, 3G arayüzü için belirtilen bir veri miktarının tahmin edilen toplam güç tüketimi değeri aşağıdaki gibi formülize edilebilir,

$$P_{total} = E_{DCH} \times \left(\frac{N_{tb} \times I_p}{S(C_i)} \right) + E_{tr} \times \left(\frac{N_{tb}}{S(C_i)} \right)$$

Burada E_{DCH} Cell_DCH durumunun korunabilmesi için gerekli enerji tüketim miktarı iken, E_{tr} ise bir transfer bloğunun iletimi veya alımı için gereken toplam güç tüketim miktarıdır.

¹ Idle durumdan veri transferi durumuna geçiş sırasındaki enerji tüketimi

² İletim sonrasında ara geçişlerdeki enerji tüketimidir.

3.3. LTE Tahmini Güç Tüketim Hesabı

LTE ağları 3GPP TR 36.213 [10] da belirtilen Transmit Power Control algoritmasına sahiptir. Bu algoritmada cihaza ait güç tüketim miktarı hesabı aşağıdaki gibi formülize edilmektedir,

$$P_{Tx} = \min(P_{max}, P_0 + 10 \log_{10} M + \alpha \times PL + \Delta_{TF} + f) [dBm]$$

burada P_{max} LTE'nin maksimum iletim gücüdür. P_0 path loss ve ek offset olmadığı durumlardaki her fiziksel kaynak bloğu (PRB) için hücreye özgü referans gücüdür [11]. M cihaza tahsis edilen PRB sayısıdır. α hücreye özgü path loss kompanzasyon faktörüdür. PL mobil cihaz tarafından ölçülen downlink path loss değeridir. Δ_{TF} Modulation and Coding Scheme (MCS) kullanılarak belirlenen her cihaza/hücreye özgü offset değeridir. f ise $eNodeB$ [12] ile alınan ek bir kapalı döngü komutudur.

Sonuç olarak, bir LTE arayüzüne sahip cihazın ortalama beklenen güç tüketimi cihazın iletim gücünün bir fonksiyonudur. Bir önceki denklemde gösterildiği gibi böyle bir güç hem PL hem de Tahsis edilen PRB sayısına bağlıdır [13].

3.4. WiMax Tahmini Güç Tüketim Hesabı

Bezzera et al. [14]'te IEEE 802.16e WiMAX ağları için tahmini bir güç tüketim modeli tasarlamışlardır. Bu çalışmaya göre, normal bir aktivite sırasında cihazın WiMax arayüzü tarafından tüketilen ortalama güç tüketimi hesabı aşağıdaki gibi formülize edilmektedir,

$$E_{Awaken} = \sum_{f=1}^F \left(E_{DL_Subframe} + \sum_{d=1}^D E_{Rx_{d,f}} + E_{Rx \rightarrow Tx} + E_{UL_Subframe} + \sum_{u=1}^U E_{Tx_{u,f}} + E_{Tx \rightarrow Rx} \right)$$

burada F toplam çerçeve sayısını ifade etmektedir. $E_{DL_Subframe}$ ve $E_{UL_Subframe}$ sırasıyla downlink ve uplink sırasında tüketilen minimum enerji miktarıdır. D toplam downlink burst sayısıdır. $E_{Rx_{d,f}}$ f çerçevenin d . downlink burst'u sırasındaki enerji tüketimidir. $E_{Rx \rightarrow Tx}$ downlinkten uplinkte geçerken harcanan güç tüketimi değeridir. U ise toplam uplink burst sayısıdır.

Benzer şekilde LTE arayüzü aktif bir cihazın idle moddaki enerji tüketimi de aşağıdaki gibi hesaplanabilir,

$$E_{idleMode} = \sum_{i=1}^I E_{idle} \times T_i \sum_{p=1}^P \left(E_{DL_Subframe} + \sum_{d=1}^D E_{Rx_{d,p}} + E_{Rx \rightarrow Tx} + E_{UL_Subframe} + E_{Tx \rightarrow Rx} \right)$$

burada I toplam idle periyod sayısıdır. E_{idle} idle moddaki toplam güç tüketim değeridir. P toplam paging periyod sayısıdır.

4. Sonuç

Kablosuz ağlardaki artan trafik sorununu ve hizmet kalitesi ihtiyacını karşılayabilmek için yeni nesil kablosuz ağ altyapılarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kapsamda IEEE 802.11 yerel alan ağları (WLAN), 3G, Uzun Vadeli Evrim (LTE) ve Dünya Çapında Birlikte İşleyen Mikrodalga Erişimi (WiMax) gibi farklı kablosuz ağ erişim teknolojilerinin tek cihazda konuşlandırılması öngörülmüş ve gerçekleştirilmiştir.

Günümüzde mobil cihazlar birden fazla kablosuz ağ bağdaştırıcısı bünyesinde barındırdığı için en enerji verimli ağa bağlanmak, her ağ erişim teknolojisinin harcaacağı muhtemel enerji tüketimi hesabının yapılması ve en enerji verimli ağ bağdaştırıcısının kullanılması mümkündür. Bu kapsamda, bu çalışmada günümüzdeki akıllı cihazlarda en çok kullanılan ağ bağdaştırıcıları hakkında ön bir bilgi verilerek, her bir ağ erişim teknolojisi için tahmin edilen güç tüketim değeri hesabı sunulmaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından 114E251 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] S. Zeadally, S. Khan, and N. Chilamkurti, "Energy-efficient networking: past, present, and future," *The Journal of Supercomputing*, vol. 62, pp. 1093-1118, 2012/12/01 2012.
- [2] T. C. Group. (2010). *Smart 2020 - Enabling the low carbon economy in the information age*. Available: <http://www.smart2020.org/>
- [3] (2012). *Green Touch Initiative*. Available: <http://www.greentouch.org>
- [4] M. Gruber, O. Blume, D. Ferling, D. Zeller, M. A. Imran, and E. C. Strinati, "EARTH—energy aware radio and network technologies," in *Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2009 IEEE*

- 20th International Symposium on, 2009, pp. 1-5.
- [5] C. Han, T. Harrold, S. Armour, I. Krikidis, S. Videv, P. M. Grant, *et al.*, "Green radio: radio techniques to enable energy-efficient wireless networks," *Communications Magazine, IEEE*, vol. 49, pp. 46-54, 2011.
- [6] K. Langendoen and G. Halkes, "Energy-efficient medium access control," *Embedded systems handbook*, pp. 34.1-34.29, 2005.
- [7] E. Harjula, O. Kassinen, and M. Ylianttila, "Energy consumption model for mobile devices in 3G and WLAN networks," in *Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), 2012 IEEE, 2012*, pp. 532-537.
- [8] L. Wang, A. Ukhanova, and E. Belyaev, "Power consumption analysis of constant bit rate data transmission over 3G mobile wireless networks," in *ITS Telecommunications (ITST), 2011 11th International Conference on*, 2011, pp. 217-223.
- [9] M. F. Tuysuz, "An energy-efficient QoS-based network selection scheme over heterogeneous WLAN – 3G networks," *Computer Networks*, vol. 75, Part A, pp. 113-133, 12/24/ 2014.
- [10] G. s. 36.213., ed.
- [11] B. Dusza, C. Ide, and C. Wietfeld, "Measuring the impact of the mobile radio channel on the energy efficiency of lte user equipment," in *Computer Communications and Networks (ICCCN), 2012 21st International Conference on*, 2012, pp. 1-5.
- [12] M. Coupechoux and J.-M. Kelif, "How to set the fractional power control compensation factor in LTE?," in *Sarnoff Symposium, 2011 34th IEEE*, 2011, pp. 1-5.
- [13] J. M. Rodríguez Castillo, "Energy-Efficient Vertical Handovers," 2013.
- [14] N. S. Bezerra, F. M. Abinader Jr, V. A. de Sousa Jr, G. Lozada, and P. Orava, "Modelling Power Consumption in IEEE 802.16 e WiMAX Mobile Nodes."