

TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ENERJİ VERİMLİ İLETİŞİM İÇİN OPTİMAL GÖNDERME
GÜCÜ SEVİYE KÜMESİ TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çağla TANTUR

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Bülent TAVLI

AĞUSTOS 2017

Fen Bilimleri Enstitüsü Onayı

.....
Prof. Dr. Osman EROĞUL
Müdür

Bu tezin Yüksek Lisans derecesinin tüm gereksinimlerini sağladığımı onaylarım.

.....
Doç. Dr. Tolga GİRİCİ
Anabilimdalı Başkanı

TOBB ETÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 151211032 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Çağla TANTUR**'un ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **“ENERJİ VERİMLİ İLETİŞİM İÇİN OPTİMAL GÖNDERME GÜCÜ SEVİYE KÜMESİ TASARIMI”** başlıklı tezi **16.08.2017** tarihinde aşağıda imzaları olan jüri tarafından kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Bülent TAVLI**
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

Eş Danışman : **Yrd. Doç. Dr. Hüseyin Uğur YILDIZ**
TED Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Hakan GÜLTEKİN (Başkan)**
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

Doç. Dr. Ali BOZBEY
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Ayhan AKBAŞ
THK Üniversitesi

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, alıntı yapılan kaynaklara eksiksiz atıf yapıldığını, referansların tam olarak belirtildiğini ve ayrıca bu tezin TOBB ETÜ Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

Çağla TANTUR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ENERJİ VERİMLİ İLETİŞİM İÇİN OPTİMAL GÖNDERME GÜCÜ SEVİYE

KÜMESİ TASARIMI

Çağla TANTUR

TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Bülent TAVLI

Tarih: Ağustos 2017

Kablosuz algılayıcı ağlarda (KAA) ağ yaşam süresinin en iyilenmesi önemli performans özelliklerinden biridir. Veri transferi için algılayıcıların alıcı-verici tasarımında mevcut bulunan en yüksek enerji seviyesinin kullanımı, sınırlı batarya enerjisine sahip olan algılayıcılarda büyük ölçüde enerji sarfiyatına neden olur. Bu nedenle link seviyesinde optimal enerji seviyesinin atanması ağ yaşamsüresini uzatmak için gereklidir. Kablosuz algılayıcı ağ düğümleri gönderme gücü kontrolünü algılayıcı gönderme gücü seviyelerinden seçim yaparak sağlar. Algılayıcı alıcı-vericilerin gönderme gücü seviye kümesi enerji veriminde önemli bir role sahiptir, fakat KAA ağ yaşamsüresi üzerindeki etkileri gözlemlenmeden tasarlanmışlardır. Bu tez çalışmasında, optimal gönderme gücü seviye kümesi tasarımı KAA ağ yaşamsüresi eniyilenmesi amacıyla araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kablosuz algılayıcı ağlar, Gönderme gücü kontrolü, Ağ yaşamsüresi, Optimal gönderme gücü seviye kümesi, Karışık tamsayılı programlama.

ABSTRACT

Master of Science

OPTIMAL TRANSMISSION POWER LEVEL SETS FOR LIFETIME

MAXIMIZATION IN WIRELESS SENSOR NETWORKS

Çağla TANTUR

TOBB University of Economics and Technology
Institute of Natural and Applied Sciences
Department of Electrical and Electronics Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Bülent TAVLI

Date: August 2017

For Wireless Sensor Networks (WSN), lifetime maximization is one of the most important performance metrics. Occupation of maximum available power level for data transmission results in energy waste for the sensors which have limited battery energy. Therefore, in order to prolonge lifetime, optimum transmission power level should be assigned at link level. WSN nodes perform transmission power control by selecting one of the transmission power levels of the transceiver. Also, power level set of the transceiver has a significant role on energy efficiency at WSNs; however, transceivers are designed without considering their effects on WSN lifetime. In this thesis study, optimal transmission power level sets are investigated for lifetime maximization in WSNs.

Keywords: Wireless sensor networks, Transmission power control, Network lifetime, Optimal transmission power level set, Mixed integer programming.

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Prof. Dr. Bülent TAVLI'ya, öğrenim bursu sağladığı için TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi'ne, kıymetli tecrübelerinden faydalandığım Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine ve destekleriyle her zaman yanımda olan aileme ve arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
KISALTMALAR	x
SEMBOL LİSTESİ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1 Literatürdeki Çalışmaların Araştırması	3
2.KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLAR	7
2.1 Algılayıcı Düğümlerin Donanımı.....	9
2.2 Haberleşme Protokolleri.....	11
2.3 Uygulama Alanları	12
2.4 KAA Alıcı- Verici Çiftleri ve Ayrık Güç Seviyeleri	13
3. MATEMATİKSEL OPTİMİZASYON	15
3.1 Doğrusal Programlama.....	15
3.2 Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama.....	16
4. SİSTEM MODELİ	19
4.1 Ağ Mimari Modeli	19
4.2 Enerji Modeli.....	21
5. KARMA TAMSAYILI DOĞRUSAL PROGRAMLAMA MODELİ	25
6. MODEL ANALİZİ	29
7. SONUÇLAR	33
KAYNAKLAR	35
ÖZGEÇMİŞ	39

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : KAA mimarisi	7
Şekil 2.2 : KAA ile kullanıcı arasındaki bağlantı	8
Şekil 2.1 : KAA kurulum süreci.....	9
Şekil 2.4 : Algılayıcı düğüm donanımı	10
Şekil 2.5 : Mica 2 platformu	10
Şekil 2.6 : Protokol katmanları	12
Şekil 4.1 : Tokalaşma durumları	20
Şekil 4.2 : Veri gönderme zaman dilimi	21
Şekil 6.1 : $3 R_{net}$ değeri için normalize edilmiş yaşam süreleri ve ζ ilişkisi.....	30
Şekil 6.2 : $R_{net} = 100$ m için güç seviye kümülatif olasılığı.....	31

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : KAA platformları.....	11
Çizelge 2.2 : KAA radyoları.	13
Çizelge 2.3 : CC1000 radyolarında gönderme güç seviyelerindeki gönderme güç tüketimi ($P_{tx}^{crc}(l)$) ve anten çıkış gücü ($P_{tx}^{ant}(l)$).....	14



KISALTMALAR

KAA	: Kablosuz Algılayıcı Ağ
KTDP	: Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama
DP	: Doğrusal Programlama



SEMBOL LİSTESİ

Bu çalışmada kullanılmış olan simgeler açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
l	Güç seviyesi
$P_{tx}^{crc}(l)$	l güç seviyesinde yapılan göndermedeki güç tüketimi
$P_{tx}^{ant}(l)$	l güç seviyesinde anten çıkış gücü
P_{rx}^{crc}	Alma durumundaki güç tüketimi
T_{rnd}	Tur süresi
ρ	Batarya gücü
S_i	Her bir turda algılayıcı düğümler tarafından üretilen paket sayısı
P_{slp}	Uyku modunda harcanan enerji
E_{DA}	Veri elde etme enerjisi
M_P	Veri paketi
M_A	Onay (ACK) paketi
T_{DA}	Veri elde etme ve işleme süresi
T_{grd}	Bekleme süresi
T_{rsp}	Cevap süresi
T_{slot}	Bir veri gönderme zaman dilimi süresi
ξ	Kablosuz kanalın veri hızı
Y_{ij}	Link- (i, j) üzerindeki log-normal yol kaybı modeli
P_n	Gürültü gücü
$\psi_{ij}(l)$	Düğüm j 'de düğüm i 'den l güç seviyesinde yapılan gönderim nedeniyle oluşan sinyal gürültü oranı
$p_{rx,ij}^{ant}(l)$	l güç seviyesinde link- (i, j) üzerinden yapılan gönderimde alınan sinyal gücü
$p_{ij}^s(l, \varphi)$	l güç seviyesinde link- (i, j) üzerinden yapılan φ -byte paket gönderiminin başarılı (hatasız) alınma olasılığı
λ_{ij}^l	l güç seviyesi link- (i, j) için paket yeniden gönderilme oranı
$p_{ij}^{HS,s}(l)$	Veri ve onay paketleri l güç seviyesi ile gönderildiğinde link- (i, j) için başarılı tokalaşma olasılığı
$E_{tx,ij}^D(l)$	Verici tarafından tokalaşmayı tamamlamak için harcanan enerji
E_{pp}	Paket işleme enerjisi
$E_{tx}^{HS}(l, M_p)$	Bir zaman dilimi süresi boyunca bir tokalaşma için verici tarafındaki enerji tüketimi

$E_{tx}^P(l, M_P)$	l güç seviyesinde M_P byte büyüklüğündeki veri paketini göndermek için verici tarafından harcanan enerji
$E_{rx,ji}^D(l)$	Alıcı tarafından tokalaşmayı tamamlamak için harcanan enerji
$E_{rx}^{HS,s}(l, M_A)$	Başarılı tokalaşma durumunda alıcı tarafından harcanan enerji
$E_{rx}^{HS,f}$	Başarısız tokalaşma durumunda alıcı tarafından harcanan enerji
P_{rx}^{crc}	Alma durumunda harcanan güç
$p_{ij}^s(l, M_P)$	Veri paketinin başarılı alınma olasılığı
$p_{ij}^f(l, M_P)$	Veri paketinin başarısız alınma olasılığı
$p_{ji}^f(l, M_A)$	Onay paketinin başarısız alınma olasılığı
$G = (V, A)$	Ağ topolojisini belirten yönlü graf
V	Baz istasyonunu kapsayan düğümler kümesi
W	Baz istasyonunu kapsamayan düğümler kümesi
A	Linkler kümesi
S_L	Kullanılabilir güç seviyeleri kümesi
f_{ij}^l	Düğüm i 'den düğüm j 'ye l güç seviyesinde gönderilen veri paketi sayısı
t	Tur sayısı
$I_{jn}^{l,l}$	Girişim fonksiyonu
b_l	Güç seviyesinin kullanımını gösteren iki değişken
\mathcal{M}	Pozitif büyük sayı
ζ	Güç seviye kümesi eleman sayı sınırlaması
$T_{bsy,i}$	Düğüm i 'nin kullanımda olduğu süre
P_{sns}	Hassaslık seviyesi
R_{net}	Disk şeklindeki ağ topolojisinin yarıçapı

1. GİRİŞ

Nesnelerin İnterneti (Internet of Things-IoT) son zamanlarda oldukça gündemde olan bir araştırma - geliştirme konusudur. Nesnelerin interneti, nesnelerin belirli protokollerle birbiriyle haberleştikleri ağ ortamıdır. Günümüzde 10 milyar civarı cihazın internete bağlı bulunduğu bilinmektedir. 2020 yılında bu rakamın 50 milyara ulaşacağı tahmin edilmektedir. Kablosuz Algılayıcı Ağlar ise IoT'i mümkün kılacak anahtar roldeki altyapılardan biridir.

Kablosuz Algılayıcı Ağların temeli 1950li yıllarda Amerika Birleşik Devletleri askeriyesi tarafından ses gözetleme sistemi amacı ile atılmıştır. Bu sistem okyanusa yerleştirilen sensörlerle denizaltıların tespitinde kullanılmıştır. 1980 yılında DARPA (United States Defense Advanced Research Projects Agency) tarafından başlatılan Distributed Sensor Network (DSN) projesiyle dağıtılmış ve kablosuz algılayıcı ağların implementasyonu araştırılmıştır [1].

Mikro-elektro-mekanik teknoloji (MEMS), kablosuz haberleşme ve dijital elektronikte son zamanlardaki ilerlemeler düşük güçlü ve maliyetli, çok fonksiyonlu, küçük boyutlu algılayıcı düğümlerin haberleşmesini mümkün kılmıştır [2]. Kablosuz Algılayıcı Ağların (KAA) gün geçtikçe araştırma ve endüstri açısından önemi artmaktadır. Günümüzde sıcaklık, basınç, hareket, titreşim gibi çevresel koşulların izlenmesi için, tarım, sağlık, üretim gibi alanlarda kullanımı mevcuttur.

KAA'lar çok sayıda algılayıcı düğüm ve en az bir baz istasyonundan oluşmaktadır. Algılayıcı düğümler çevrelerindeki veriyi toplayıp doğrudan veya dolaylı olarak kablosuz kanal aracılığı ile baz istasyonuna iletirler. Algılayıcı düğümlerin yoğun bir şekilde dağılmış ve çok sayıda olması nedeniyle uygun bir şekilde ağın işlemlerini sağlamak, algılayıcı düğümlerin sağladığı verinin doğru bir şekilde toplanması için ayrıca işlenmiş verinin düzgün bir şekilde iletimi için KAA'ların haberleşme protokollerinin tasarımı oldukça önemlidir. Algılayıcı düğümleri sınırlı batarya enerjisine sahiptir. Bu nedenle haberleşme protokülü dışında, alışılmadık şekilde ağ performans ölçütleri olan zamanlama ve üretilen çıktının tersine, KAA'nın enerji

verimliliği, KAA'lar için önemli bir performans ölçütüdür. Algılayıcı düğümlerin yerleştirilmesi KAA protokol tasarlanmasında dikkat edilen bir diğer husustur. Düğümlerin pozisyonları önceden belirlenmez, rasgele dağılmış olarak varsayırlar, ancak bu protokollere KAA düğümlerinin kendi organize olması sorumluluğunu getirir. Düğümlerin iletim menzili kısadır, bu nedenle bir KAA'da düğümler sık konuşlandırılmışlardır. Bu durumda tek atlamalı iletim yerine çok atlamalı iletimin tercih edilmesi enerji verimliliğine büyük oranda katkı sağlar. Ancak aynı zamanda düğümlerin arasındaki mesafenin kısa olması uzaysal ve zamansal boyutlarda ilinti yaratır. Haberleşme protokolü tasarımında verimliliği artırmak için bu da göz önünde bulundurulur [3].

KAA'larda enerji verimliliği araştırmaya ihtiyaç duyulan bir konu olması nedeniyle literatürde geniş bir yere sahiptir. Bu amaçla yeni ağ mimarisi önerilmesi, düğümlerin uyku modunun zamanlanması, yeni yönlendirme protokollerinin tanımlanması bu çalışmalardan birkaçıdır [4, 5, 6].

Uzun bir ağ yaşam süresi için güç farkındalığı olan bir sistem tasarımına ihtiyaç vardır. Sistemde bütün seviyelerinde bir düğümün enerji harcamasının sinyal işleme algoritması, ağ protokolleri, işletim sistemi, entegre devreleri gibi bir çok bileşeni vardır [7]. Algılayıcılar temel olarak veri algılama, veriyi işleme ve diğer algılayıcılarla veya baz istasyonu ile haberleşmek için enerji harcarlar. Bu enerji tüketiminin büyük çoğunluğu haberleşme kaynaklıdır. Haberleşme enerjisinin kontrolü KAA'larda yaşam süresini uzatmak ve enerji verimliliğini sağlamak için etkili bir faktördür.

Algılayıcı düğüm platformunda bulunan alıcı-verici çifti ayrık gönderme gücü seviyeleriyle tasarlanmıştır. Bu gönderme gücü seviye kümesinden alıcı-verici bir güç seviyesini seçebilmektedir. Ağdaki bütün linklerin mevcut bulunan en yüksek enerji seviyesinin kullanılmasının büyük miktarda enerji kaybına neden olduğu görülmüştür. Bu nedenle her bir link için optimal güç seviyesinin atanması enerji kaybını büyük ölçüde düşürür ve ağ yaşam süresini yükseltir [8].

Bu çalışmada

1. Yaşam süresini enbüyüklemek için ayrık gönderme gücü seviyelerinin tümü gerekli midir?

2. Gönderme gücü seviye kümesinin eleman sayısı ile ağ yaşam süresi arasında nasıl bir orantı vardır?
3. Optimal güç seviyeleri nasıl belirlenir?

sorularının cevaplanması amaçlanmıştır.

Bu tez çalışması şu şekilde oluşturulmuştur: 2. Bölümde kablosuz algılayıcı ağlar, 3. Bölümde matematiksel optimizasyon tanıtılmıştır. 4. Bölümde sistem modeli sunulmuştur. 5. Bölümde ağ yaşam süresini maksimize etmek için oluşturulan KTDP optimizasyon modeli anlatılmıştır. 6. Bölümde sunulan modelin mevcut verilere göre analizi yapılmıştır. 7. bölümde ise çalışmadan elde edilen sonuçlar aktarılmıştır.

1.1 Literatürdeki Çalışmaların Araştırması

Haberleşme KAA'larda en çok enerji tüketen faaliyet olması nedeniyle gönderme gücü kontrolü teknikleri haberleşme enerji sarfiyatını düşürmek için etkili yöntemlerden biridir. Bu tez çalışmasında mevcut link seviyesindeki mekanizmalar kullanılarak optimum yaşam süresi analizi yapılırken, literatürde protokol öneren ve mevcut protokollere ekleme yapan çalışmalar bulunmaktadır.

[9]'da önerilen PSMAC protokolünde iki düğüm arasındaki haberleşmenin simetrik olduğu varsayılarak optimal gönderme gücü şu şekilde hesaplanmaktadır: Senkronizasyon periyodunda bütün düğümler senkronizasyon paketlerini maksimum güç seviyesinde gönderir. Eğer bir düğüm komşu düğümden senkronizasyon paketi alırsa alınan sinyal gücü göstergesine (RSSI) göre minimum gönderme gücünü hesaplar ve bunu kayıt altında tutar. Böylece o düğümlerle yapacağı haberleşmede gönderme gücünü bu şekilde belirler.

[10]'da herhangi bir MAC protokolüne eklenebilecek iki teknik önerilmiştir. Bu çalışmada da Mica2 düğümleri kullanılmıştır. Tekniklerden ilki

hibrit metodudur. Bu metodda var olan en yüksek gönderme gücü seviyesi ile algoritma çalışmaya başlar. Verici alıcı tarafına anlamlı veriyle birlikte güç sorgu mesajı gönderir, alıcı tarafından gelen onay paketine göre optimal seviyesine karar

verir. Ortamdaki gürültü vb. değişikliklere göre gönderme gücü seviyesi artırılır veya azaltılır. İkinci metod olan AEWMA metodunda ise verici tarafı alıcı tarafına mevcut gönderme gücü ile ilgili bilginin bulunduğu veri paketini yollar. Alıcı tarafına alınan sinyal gücüne göre ve de veri haberleşmesi gerçekleşmezken ortamdan aldığı sinyalin gücünü kullanarak elde ettiği gürültü bilgisine göre gerekli olan gönderme gücünü hesaplar ve bu bilgiyi onay paketinde verici tarafına gönderir. Bu bilgi alıcı tarafında saklanır.

Sheu ve arkadaşları MicaZ düğümleri kullanılarak CC2420'inin 32 gönderme gücü seviyesini 8'e indirgemiş ve bu 8 enerji seviyesi arasından gönderme güç kontrol algoritmasıyla haberleşmenin yapılabileceği minimum güç seviyesi hesaplanmıştır [11]. İki fazda işleyen algoritmada ilk fazda düğümler 8 farklı güç seviyesinde güç seviyesi tespit paketi yollarlar. Her bir düğüm komşu düğümden alınan tespit paket sayısına göre o komşu düğüm ve mevcut düğüm arasında optimum gönderme güç seviyesi belirlenir. İkinci fazda ise link kalite göstergesi (LQI) ve alınan sinyal gücü göstergesine (RSSI) göre güç seviyesi korunur, güncellenir.

[12]'de ise PCSMAC isimli protokolle gönderme güç kontrolü yapılarak, veri, onay paketlerinin en yüksek enerji seviyesi yerine optimal enerji seviyesi ile gönderilmesi önermiştir. 2-8 arasında sayıları değişen güç seviyeleri için düğüm başına düşen güç kazancı analiz edilmiş ve 8'de maksimum kazanç gözlemlenmiştir.

[13]'te dinamik bir gönderme gücü kontrol algoritması sunulmuş ve bu algoritma ile yapılan deneysel çalışmaların sonucunda MicaZ düğümlerinde gönderme gücü için ağ seviyesindeki bir güç kontrol çözümünün yaklaşık % 78.8'i kadar bir tüketim gösterildiği görülmüştür.

Leabi ise 1965 yılında geliştirilmiş Fuzzy mantığını güç kontrol algoritmasına uyarlamış ve bu algoritmanın ağ yaşam süresi, düğümler tarafından kullanılabilir kalan güç, tüketilen enerji miktarı, atlama sayısı gibi birçok ağ özelliği açısından mevcut kontrolsüz ağ durumuna göre iyileşme sağladığı görülmüştür [14].

[15]'te güç seviyelerinin ayrıklaştırılmasının ağ yaşam süresine olan etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda ağ genelinde optimum olarak tek bir güç seviyesinin kullanılmasına göre, düğümler arası link seviyesinde optimum güç seviyesinin atandığı bir güç kontrol tekniğinin kullanılmasının ağ yaşam süresini % 20 oranında arttırdığı görülmüştür.

[8] ise link seviyesinde tokalaşma mekanizmasını baz alarak veri ve onay paketlerinin gönderme güç seviyelerinin kontrolü ve seçimi için global güç seviyesi atanması, link seviyesinde güç seviyesi atanması gibi stratejileri sunup, iki farklı veri paketi büyüklüğü için ağ yaşam süresi açısından incelemiştir. Bu stratejilerden link seviyesinde güç seviyesi atanmasında global seviye atanmasının tersine (diğer linkler de düşünülerek bütün olarak optimizasyon yapılır) sadece alıcı ve verici düğümün enerji harcaması düşünülerek optimum güç seviyeleri seçilir. Mica2 düğümleri kullanılarak yapılan analizler sonucunda link seviyesi stratejisindeki ağ yaşam süresinin global seviyedekiyle farkının % 1'i aşmadığı gösterilmiştir.

[16]'da ise [8]'daki çalışmadan daha spesifik olarak link seviyesi stratejisi ile veri paketi büyüklüğü ve güç seviyesi birlikte optimize edilmiştir. Bu çalışma sonucunda veri paketi büyüklüğünün ağ yaşam süresini maksimize edecek, her bir farklı senaryoda (düğümler arası uzaklık, düğüm sayısı, ağ seviyesinde seçilen güç seviyesi) bir değeri olduğu gösterilmiştir. Ancak Mica2 düğümlerinin hassaslık seviyesine yeterli olmayan, alıcı-vericilerin yüksek paket alım oranında çalışmadığı haberleşme durumlarında ağ yaşam süresinin en büyük veri paketi büyüklüğünün kullanıldığı durumda maksimize olduğu görülmüştür.

[17]'de ise algılayıcı ağlarda 4 adete kadar güç seviyesi kullanımı karşılaştırılmıştır ve enerji verimliliğinin güç seviyesi arttıkça arttığı ortaya koyulmuştur.

Yukarıda belirtilen çalışmaların hepsinde ayrı güç seviyeleri kullanılmış ya da varsayılmış ve mevcut gönderme güç seviyelerinden enerji sarfiyatını minimum seviyeye düşürecek şekilde optimal güç seviyelerini seçme ve kontrol etme yöntemleri belirtilmiştir. Ancak daha önce hiç bir çalışmada optimum gönderme gücü seviye kümesi eleman sayısının ağ yaşam süresi ile analizi yapılmamıştır.

Bu çalışmanın araştırma konusuna yakın olacak şekilde güç seviyesinin başka ağ performans metrikleriyle ilişkisi incelenmiştir. [18]'de çıktı, başarılı paket transferi oranı, iyileştirmesi, miktarının artırılması amacıyla gönderme güç seviyelerinin olasılıksal dağılımı incelenmiştir. [19] ise kullanılabilir ayrı gönderme gücü sayısı arttıkça gönderim kapasitesinin arttığını ortaya koymuştur. [20]'de adaptif kodlanmış modülasyon (ACM) için gönderme güç seviyeleri ve veri hızının sürekli ayrı olma durumunu spektral verimlilikle olan ilişkisi araştırılmıştır. Ayrı gönderme güç seviyeleri ve veri hızının sürekli olan duruma göre 4 güç seviyesi ve veri hızı

çeşitliliğiyle sürekli oldukları durumun 1 dB bandında spektral verimlilik sağlandığı gösterilmiştir. Ayrıca veri hızı çeşitlenmesi güç seviye sayısı arasında spektral verimlilik açısından ters orantı olduğu, birbirleriyle takas edilebilecekleri elde edilen verilerde gözlemlenmiştir.

[18]'e benzer olarak [21]'de de çıktı miktarının saturasyonu ve gönderme güç seviyesi arasındaki ilişki incelenmiştir. Düğüm sayısının fazla olduğu durumda paket çarpışmaları çok olacağı için güç seviyesi randomizasyonu bir diğer deyişle çeşitlenmesi ağ çıktısını arttıracak ve düşük güç seviyelerinin düğüm sayısından bağımsız olarak olasılıksal olarak daha çok seçildiği, düğüm sayısı azaldıkça bu olasılıksal dağılımın düzgün dağılıma yaklaştığı gösterilmiştir.

[22]'de ise yavaş sönmölen kanal modellerinde ayrık göndermenin sürekli gönderme sistemlerindeki ortalama çıktı miktarına ulaşması için daha az sayıda güç seviyesi ve kod hızına ihtiyaç duyduğu gösterilmiştir.

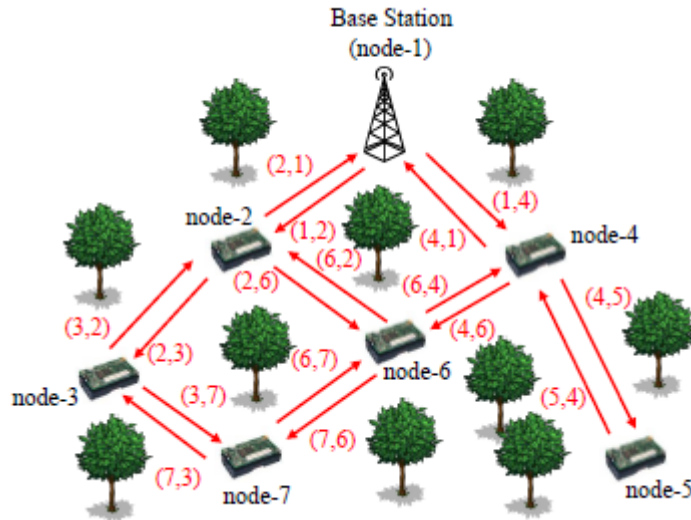
[23]'te ise CC2420 radyoları kullanılarak kablosuz vücut algılayıcı ağların link seviyesi kanal karakteristiği incelenmiştir, vücutta konuşlandırılması ve kullanılan gönderme güç seviyesine göre alınan sinyal gücü göstergesi elde edilmiştir. Beklendiği üzere yüksek gönderme güçlerinde alınan sinyal gücünün arttığı gözlemlenmiştir.

[24]'te ağın servis kalitesinin gönderme gücü kontrolünün uygulanmasıyla iyileştirilebileceğini ve daha az gönderme gücü tüketildiğinde daha az girişim oluşması nedeniyle gecikme ve çıktı miktarının optimal değere daha çok yaklaşacağı belirtilmiştir.

[25]'te ise bu tez çalışmasındakinden farklı bir açıyla ayrık gönderme güç seviyeleri ve enerji arasındaki ilişkiye yaklaşılmıştır. Bir Mica2 ayrık radyo modeli kullanılarak ayrık radyo modellerindeki ağ yaşam süresinin ayrık olmayan radyo modellerine göre daha çok olduğu ortaya konmuştur.

2. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLAR

Kablosuz Algılayıcı Ağlar (KAA), birçok sayıda algılayıcı düğümden ve en az bir baz istasyonundan oluşan ağ yapılarıdır. Algılayıcı düğümler ilgili alandan topladıkları verileri baz istasyonuna iletirler. Bu iletim kısa menzilli olarak kablosuz bir ortam aracılığıyla gerçekleşir. Algılanan sıcaklık, nem, hareket, basınç, ses gibi veriler baz istasyonuna tek atlamalı, direkt olarak, ya da çok atlamalı, diğer algılayıcı düğümler aracılığıyla gönderilirler. Şekil 2.1'de tipik bir KAA mimarisi görülmektedir [16].



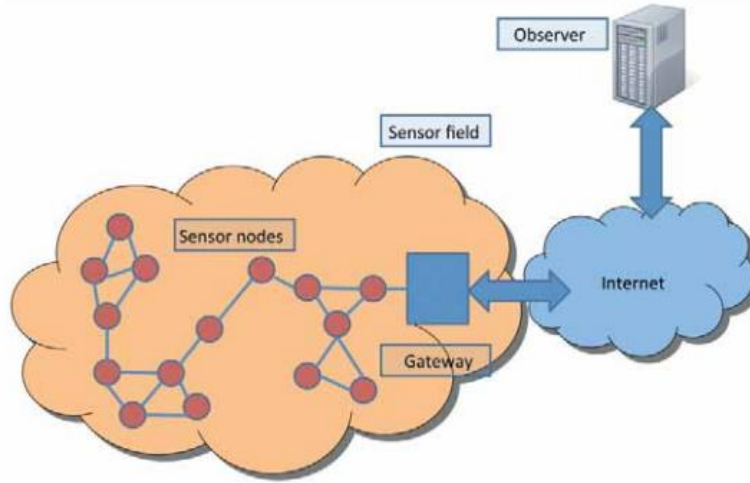
Şekil 2.1: KAA mimarisi.

Algılayıcı düğümler geniş bir coğrafyaya dağıtılarak kablosuz, ad-hoc ağ oluştururlar. Bu algılayıcı düğümler işbirliği yaparak KAA'yı oluştururlar. Mevcut kablosuz ad-hoc ağ yapısına göre KAA'ların bazı avantajları bulunmaktadır. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Geniş kapsama alanı çok sayıda algılayıcı düğümün dağıtılmasıyla sağlanabilir.

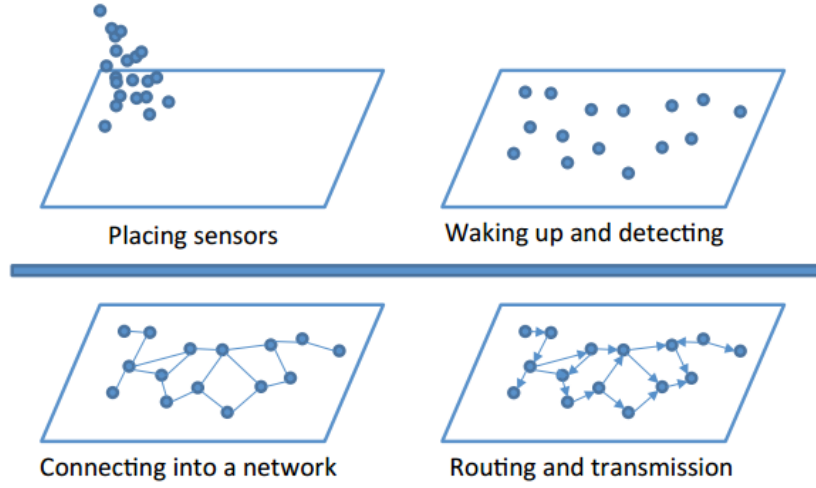
2. Herhangi bir algılayıcı düğümün arızalanması durumunda kalan düğümler çalışmaya devam eder, KAA'nın işleyişi bozulmaz.
3. Baz istasyonları ağ geçidi görevi görüp internet, geniş alan ağları ile olan bağlantılar üzerinden uzaktan erişime olanak verir.
4. Ağda değişen durumlara dinamik olarak cevap verebilirler.
5. Erişmesi zor alanlarda ortam takibi ve monitörlemesi için kullanılabilirler.
6. Ayrık fenomenini uygulamaya koyarak daha az güç tüketimi sağlayabilirler.
7. Kullanıcı kontrol ve yönetimi daha az gerekli kılabilirler.

Algılayıcı düğümler topladıkları bilgiyi ağ geçidi görevi de gören baz istasyonu olan düğüme iletirler. Ağ geçidinden geçtikten sonra bilgi internet ya da uydu aracılığı ile yönetim düğümüne geçer. Kullanıcı yönetim düğümü ile KAA'yı konfigüre eder, algılayıcı görev tanımlamalarını yapar, ve sensörlerle izlenen alanda elde edilen verileri takip eder [26]. Bu iletim yapısı Şekil 2.2 ile gösterilmiştir.



Şekil 2.2: KAA kullanıcı arasındaki bağlantı.

KAA'ların kurulum süreci ise Şekil 2.3 ile gösterildiği üzere şu şekildedir: İlk olarak algılayıcı düğümler diğer düğümler tarafından tespit edilmek için yayın yaparlar ve yayın yapan diğer düğümleri tespit ederler. İkinci olarak ağ topolojisine göre algılayıcı düğümler bağlı ağ yapısı için organize olur. Ardından izlenen alandan toplanan verileri göndermek, baz istasyonuna, ağ geçidine iletmek için kablosuz ağ üzerinde uygun yollar hesaplanır ve tek atlamalı ya da diğer düğümler üzerinden çok atlamalı olarak veri göndermesi yapılır [26].



Şekil 2.3 : KAA kurulum süreci.

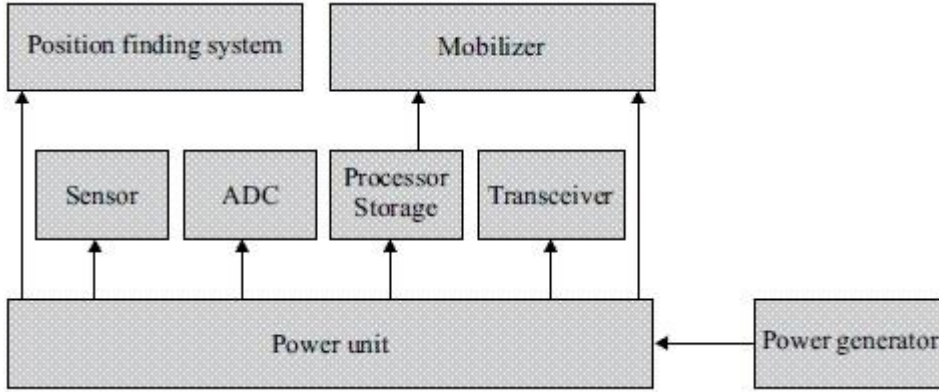
Algılayıcı düğümler küçük boyutlu olup, düşük maliyete ve güç tüketimine sahip, çok işlevli aygıtlardır. Tipik bir algılayıcı platformunda radyo-haberleşme modülü, mikroişlemci, algılayıcı kartı ve güç ihtiyacını karşılayan batarya bulunur. Algılayıcı kartı ile ortamdan elde ettikleri işlenmemiş veriyi baz istasyonuna iletmek yerine veriyi mikroişlemci ile işleyip anlamlı bilgiyi transfer ederler. Bu transferi mikroişlemci ve alıcı-verici çifti ile gerçekleştirirler.

Algılayıcılar mevcut batarya enerjisini, algılamak, haberleşmek ve veri işlemek için kullanırlar. Algılayıcıların pil ömrü sınırlı olması nedeniyle, KAA protokolleri ilk olarak güç tasarrufuna odaklanmış durumdadır. KAA'lardaki algılayıcı düğümlerin belirli olarak tasarlanmış yer ve konum bilgileri bulunmaz, rastgele yayılım gösterirler. Ancak rastgele yayılım beraberinde kendi kendini organize eden haberleşme protokolünü getirir. Algılayıcı düğümler kısa menzilli olmaları nedeniyle bir KAA ortamında yoğun bir şekilde dağılmışlardır. Düğümler arası mesafe kısa olduğu için çok atlamalı haberleşme tek atlamalı haberleşmeye göre daha az enerji kaybına neden olur [3].

2.1 Algılayıcı Düğümlerin Donanımı

Şekil 2.4'te tipik bir algılayıcı platformunun donanımsal olarak içerdiği birimler gösterilmiştir. Temel olarak bulunduğu ortamı algılamasını ve veri toplamasını sağlayan sensor birimi, aldığı bilgiyi ve haberleşme protokollerinden gelen bilgiyi analog dijital

çeviricilerden geçirip işlemlerini sağlayan işlemci birimi, haberleşmeyi sağlayan alıcı-verici çifti ve algılayıcıya enerji veren güç biriminden oluşmaktadır.



Şekil 2.4: Algılayıcı düğüm donanımı.

Gelişen haberleşme protokollerinde en çok tercih edilen platformlardan biri Mica ailesidir. Bu tez çalışmasında model alınan Mica2 algılayıcı platformu Şekil 2.5 ile gösterilmiştir. Bu platformun özellikleri ise şöyledir: Atmel ATmega 128L mikroişlemcisi, modülasyon olarak 38.4 Kbaud veri hızına sahip Frekans Kaydırmalı Anahtarlama, ChipCon1000 RF alıcı-verici çifti bulundurmaktadır, fonksiyonel pil ömrü yaklaşık 1 yıl olacak şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 2.5: Mica 2 platformu.

Piyasada en çok tercih edilen KAA platformları Çizelge 2.1'de verilmiştir [27].

Çizelge 2.1: KAA platformları.

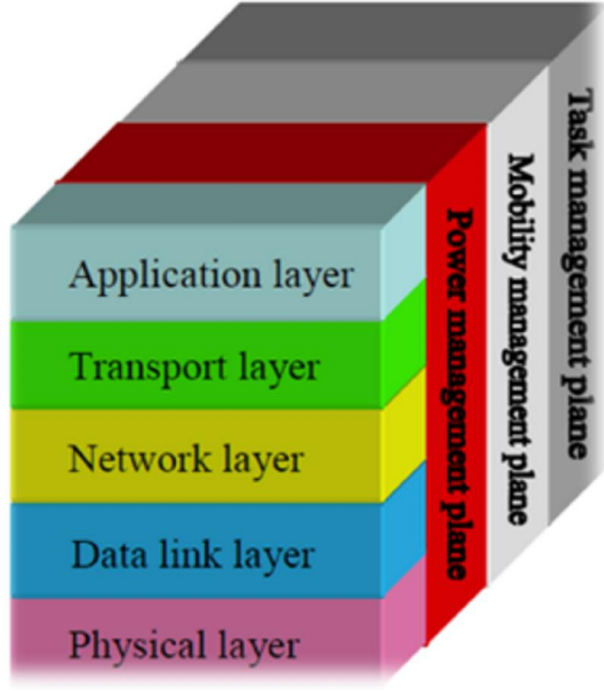
Parameter	TelosB/Tmote Sky	MICA2/MICAZ	SHIMMER	IRIS
Controller	TI MSP430F1611	AT Atmega128L*	TI MSP430F1611	AT Atmega1281*
BUS size (Bits)	16	8	16	8
Frequency (MHz)	8	16	8	16
Wake-up time (µs)	6	180	6	4300
FLASH (Bytes)	48K	128K	48K	640K
RAM (Bytes)	10K	4K	10K	8K
EEPROM (Bytes)	1M	512K	No support	4K
Serial Communication	UART	UART	UART	UART
Current Active mode (mA)	1.8	8	1.8	8
Current Sleep (µA)	5.1	<15	5.1	8
Operating voltage (V)	1.8 to 3.6	2.7 to 3.3	1.8 to 3.6	2.7 to 3.3
Power consumption active (mW)	3	33	5.94	21.6
Power consumption sleep (µW)	2	30	16.83	21.6
Timer support	Two 16 bit	Two 8-bit Two 16-bit	Two 16 bit	Two 8-bit Four 16-bit
Watchdog	Yes	Yes	Yes	Yes
ADC	12-bit SAR	10-bit	12-bit SAR	10-bit
ADC channels	8	8	8	8
Operating temperature range (°C)	-40 to +85	-55 to +125	-40 to +85	-55 to +125
Package	64-pin QFN	64-lead TQFP, 64-Pad QFN/MLF	64-pin QFN	64-pad QFN/MLF, 64-lead TQFP
OS support	Contiki, TOS, Mantis OS	TOS, Mantis OS	TOS	Mote Runner, TOS, MoteWorks
Programming and IDE	TOS, CCS, IAR	TOS	TOS	TOS

2.2 Haberleşme Protokolleri

Protokol katmanları Şekil 2.6'da verilmiştir. En alt katman, fiziksel katman (physical layer) sinyal algılaması, kiplemesi, frekans seçiminden sorumludur.

Veri bağlantı, link katmanı (data link layer) temel olarak güç sınırlamasını göz önünde bulundurarak komşu düğümler arasında veri aktarımı sırasındaki paket çarpışmalarını engellemelidir. Ağ katmanı (network layer) mevcut verinin tek-atlamalı ya da çok-atlamalı olarak yönlendirmesi, iletilmesinden sorumludur. İletim katmanı (transport layer) enerji ve diğer kısıtlı kaynaklar nedeniyle KAA'da hassas olan güvenilirliğin iyileştirilmesini ve veri trafiğini kontrol eder. Uygulama katmanında (application layer) ise mevcut ana uygulamaya ek olarak başka ek uygulamaların yazılımları KAA'ya tanıtılabilir ve ağ yönetimi sağlanır [3].

Güç yönetimi düzeyi (power management plane) bir algılayıcı düğümün algılama hesaplama ve haberleşme görevleri için enerji tüketimini yönetir. Hareketlilik yönetimi düzeyi (mobility management plane) algılayıcı düğümlerin hareketini algılar, kaydeder algılayıcı düğümlerin komşu düğümlerinin bilgilerini tutar, buna göre algılayıcı düğümler güç tüketimlerini ve görevlerini düzenleyebilir.



Şekil 2.6: Protokol katmanları.

Görev yönetim düzeyi (task management plane) ise algılayıcı düğümlerin algılama görevlerini yerine getirmelerini düzenler [28].

Veri bağlantı katmanı seviyesindeki Medium Access Control (MAC) protokolü KAA'lar için gerekli olan iki gereksinimi sağlar. İlki KAA için gerekli ağ altyapısını, kendi kendini organize eden ve atlamalı kablosuz ağ yapısını oluşturmak ve haberleşme linklerini kurmaktır. İkinci olarak zaman, frekans ve enerjinin etkili bir biçimde KAA tarafından kullanılmasını sağlamaktır [3].

MAC protokolünün bir KAA'da en önemli işlevi enerji verimliliğini sağlamaktır. Örneğin algılayıcı düğümün modlarını enerji tasarrufu sağlayacak şekilde kontrol edebilmelidir, gerektiği durumlarda alıcı-vericiyi kapatabilmelidir [3].

Günümüzdeki KAA'lar için tercih edilen MAC protokolleri:T-MAC, B-MAC, PW-MAC, LEACH, PEDAMACS, PRIMA'dır [29].

2.3 Uygulama Alanları

Kablosuz Algılayıcıların bir çok uygulama alanı vardır: Askeri uygulamalarına örnek olarak savaş alanı gözetimi, hedef alma, karşı güçlerin ve bölgenin keşfi, nükleer, biyolojik, kimyasal saldırı tespit etme verilebilir [3].

Çevresel kullanım alanları tarım ve hayvancılık için çevre koşullarının takip edilmesi, sulama, deniz, toprak, atmosferik açıdan biyolojik ve çevresel izleme, kirlilik çalışmaları, orman yangınlarının algılanması, sel saptama, meteorolojik ve jeofiziksel araştırmalardır [3]. Sağlık alanında ise hastalara tanı konması, entegre hasta takibi, hastanelerde ilaç kullanımı, hasta fizyolojik belirtilerinin izlenmesi, yapay retina kullanım alanlarıdır [3].

Endüstriyel alanda ise otomatik üretim ortamlarında robot kontrolü ve rehberliği, fabrika işleyiş kontrolü ve otomasyonu, akıllı ofisler, araç izleme ve tespiti, rüzgar tünel ve döner makine ölçümleri, nakliye, malzeme dayanıklılığını izleme, envanter yönetiminde kullanılmaktadır [3].

2.4 KAA Alıcı-Verici Çiftleri ve Ayrık Güç Seviyeleri

Literatürde bir çok çalışmada gönderme gücünün sürekli olduğu ve düğümlerin gönderme güçlerin doğru olarak ayarlanabileceği varsayılsa da uygulamada güç seviyeleri ayrık değerlerden oluşan bir kümeden seçilir [15].

Çizelge 2.2: KAA radyoları.

Model	Frequency	Max Data Rate	Modulation	Tx Power
CC1000	1000-3000 Mhz	76.8 kbps	2-FSK	10 dBm
nRF903	433 or 915 Mhz	76.8 kbps	GFSK	10 dBm
TR1000	916 Mhz	115.1 kbps	OOK/ASK	0 dBm
CC2420	2.4 Ghz	250 kbps	DSSS/O-QPSK	0 dBm
CC2500	2.4 Ghz	512 kbps	2-FSK	1 dBm
PH2401	2.4 Ghz	1 mbps	GFSK	2 dBm

Tipik KAA alıcı-verici çiftler ve özellikleri Çizelge 2.2'de verilmiştir [30]. Mica2 algılayıcı platformlarında bulunan CC1000 RF alıcı-vericilerin 4 adet operasyonel modu bulunmaktadır: alma, gönderme, bekleme ve uyku modu. Gönderme modunda, alıcı-verici çiftinin RF çıkış gücü programlanabilmektedir. Bu programlama CC1000

lerin ilgili güç kütüklerine konfigürasyon arayüzü üzerinden yapılan yazma transferi ile gerçekleşir. -20 ile +10 dBm arasında seçilebilen anten çıkış gücü için karşılık gelen gönderme gücü tüketimlerinin hesapladığı bir çalışma mevcuttur [31].

Çizelge 2.3: CC1000 radyolarında gönderme güç seviyelerindeki gönderme güç tüketimi ($P_{tx}^{crc}(l)$) ve anten çıkış gücü ($P_{tx}^{ant}(l)$).

l	$P_{tx}^{crc}(l)[mW]$	$P_{tx}^{ant}(l)[mW]$	$P_{tx}^{ant}(l)[dBm]$
1	25.8	0.0100	-20
2	26.4	0.0126	-19
3	27.0	0.0158	-18
4	27.1	0.0200	-17
5	27.3	0.0251	-16
6	27.8	0.0316	-15
7	27.9	0.0398	-14
8	28.5	0.0501	-13
9	29.1	0.0631	-12
10	29.7	0.0794	-11
11	30.3	0.1000	-10
12	31.2	0.1259	-9
13	31.8	0.1585	-8
14	32.4	0.1995	-7
15	33.3	0.2512	-6
16	41.4	0.3162	-5
17	43.5	0.3981	-4
18	43.6	0.5012	-3
19	45.3	0.6310	-2
20	47.4	0.7943	-1
21	50.4	1.0000	0
22	51.6	1.2589	1
23	55.5	1.5849	2
24	57.6	1.9953	3
25	63.9	2.5119	4
26	76.2	3.1623	5

Bu ayrık gönderme gücü seviyeleri Çizelge 2.3'te verilmiştir. Ayrık gönderme güç seviye sayısı KAA platformlarına göre değişiklik göstermektedir. Örneğin Çizelge 2.2'de de görülebilecek TmoteSky platformunda bulunan CC2420 radyosunda ise 32 güç seviyesi bulunmaktadır. nRF903 KAA radyosunda ise 4 ayrık güç seviyesi bulunmaktadır.

3. MATEMATİKSEL OPTİMİZASYON

Matematiksel optimizasyon bir problemin en iyi çözümünü bulmayı, bir performansı eniyileyecek tasarımı bulmayı sağlayan yöntemdir. Optimizasyon teknikleri günümüzde endüstri planlaması, kaynak tahsisi, karar alma, zaman planlama gibi bir çok durumda çözüm üretir. Doğrusal programlama, tamsayı programlama, doğrusal olmayan programlama, dinamik programlama başlıca optimizasyon teknikleridir. Birçok ağ optimizasyon problemi modelleme açısından uygun olması nedeniyle matematiksel programlama tekniğiyle çözülebilir.

3.1 Doğrusal Programlama

Doğrusal Programlama (DP) kısıtlı optimizasyon durumunda en çok tercih edilen optimizasyon tekniğidir. Kısıtlı optimizasyon kısıtları olmayan optimizasyon problemlerine göre daha karışık ve zordur. Çözüm sadece optimum değer değil aynı zamanda belirli kısıtları da sağlayan bir değer olmalıdır. Burdaki kısıtlar genelde limitli kaynakları temsil eder.

Kısıtlı optimizasyon probleminin temel elemanları aşağıdakilerden oluşmaktadır:

1. Değişkenler: Problem çözümü başlangıcında değerleri belli olmayan, değerleri belirlenerek amaç fonksiyonunu optimize eden elemanlardır.
2. Amaç fonksiyonu: Maksimize ya da minimize edilmesi gereken gücü, değişkenler cinsinden belirtilen fonksiyondur. Örneğin kar ya da süreyi modellemek için kullanılabilir.
3. Kısıtlar: Değişkenleri ve değişken kombinasyonlarını mümkün olan çözüm açısından limitleyen denklemlerdir. Kısıtlar süreyi, sermayeyi vb. faktörleri temsil edebilir.

4. Değişken Sınırları: Değişkenleri alabileceği değerler açısından herbirini sınırlandıran denklemlerdir.

DP'da amaç fonksiyon ve kısıtlar doğrusal denklemlerdir. Standard bir DP için, amaç fonksiyonu maksimize etme şeklinde olmalı, kısıtlayıcılar değişkenler ve değişken kombinasyonlarına pozitif ya da 0 bir üst sınır tanımalı ve bütün değişkenler pozitif ya da 0 olmalıdır. Şu şekilde gösterilebilir:

$$\text{Maks. } X = a Z + b Y$$

$$\text{Kst. } c Z + d Y \leq k_1$$

$$f Z \leq k_2$$

$$Z \geq 0$$

$$Y \geq 0$$

DP'lerin çözümü için kullanılan metodların başlıcaları Simpleks Metodu, İç Noktalar Metodudur.

3.2 Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama

Bazı problem modellerinde değişkenler tamsayı değeri ya da ikili değer alabilir. Örneğin bir projeye atanacak çalışan sayısı tamsayı olabilirken evet/hayır şeklinde alınacak kararlar da ikili değişken olarak modellenebilir. Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama (KTDP) DP'deki özelliklere ek olarak bazı değişkenlerin sadece tamsayı değeri alabildiği optimizasyon tekniğidir. Standard bir KTDP aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$\text{Maks. } X = a Z + b Y$$

$$\text{Kst. } c Z + d Y < k_1$$

$$f Z < k_2$$

$$Z \geq 0$$

$$Y \in \{0, 1, 2, 3, 4, \dots, n\}$$

[32]'de KTDP çözümü için kullanılan çözücü algoritmalar anlatılmıştır. Üç temel çözücü algoritmadan dal-kesme algoritması en hızlı ve güvenilir algoritma olarak önerilmiştir. Bu algoritmalar şu şekilde özetlenebilir:

1. Dal sınır algoritması: Bu algoritmada KTDP problemi bir DP gibi ele alınır (LP relaxation). DP olarak optimal sonuç elde edilir. Elde edilen sonuç değişkenlerin tam sayı değeri aldığı şekilde bulunursa çözüm bulunmuş olunur. Ancak eğer sonuç tamsayı değilse dal-sınır ağacı üretilir. Tamsayı değeri almayan değişkenlerden aday bir değişken dallanma için seçilir ve eğer bu değişken k ve $k+1$ tamsayıları arasında değer alıyorsa çözüm iki dala ayrılır; DP problemine bu değişken için iki farklı sınır tanımlanır ($x \leq k$ ve $x \geq k + 1$). Bu şekilde dallanma tam sayı değer koşulunu sağlayan ve sınırlama fonksiyon değeri diğer dala göre daha iyi olan çözümü bulana kadar devam eder. Bu yöntem Dakin yöntemi olarak da geçmektedir.
2. Kesme düzlemi algoritması: Bu yöntemde de KTDP problemi bir DP gibi ele alınır. Kısıtlardan eşitsizliğin sağ tarafı tam sayı olmayan kısıttan kesme, yeni bir kısıt, üretilir ve DP tablosuna kısıt olarak eklenir ve dual simpleks metodu ile çözülür, çözüm tamsayı ise durulur değilse yeniden kesme üretilir.
3. Dal kesme algoritması: Dal sınır algoritması şeklinde başlayan algoritmada sınırlama fonksiyon değeri daha iyi olan dala kesme yöntemi ile kısıt eklenerek optimal sonuca ulaşılır.

KTDP'de en çok tercih edilen problem çözüm yöntemleri dal sınır algoritması ve dal kesme algoritmalarıdır.



4. SİSTEM MODELİ

4.1 Ağ Mimari Modeli

KAA topolojisi yönlü graf özelliği gösterir: her bir kenarı iki düğümlle etiketlenmiş ve kenarlar spesifik yöne sahiptir. Burada düğümler algılayıcıları, kenarlar ise düğümler arasındaki linkleri temsil eder. Düğümler için iki küme tanımlanmıştır: V , tüm düğümler kümesi ve W , baz istasyonu dışındaki tüm düğümler kümesi. Linkler kümesi ise şu şekilde belirtilmiştir: $A = \{ (i, j) : i \in W, j \in V - i \}$. A kümesinin tanımında görüleceği üzere baz istasyonunda veri transfer çıkışı olmaz, sadece W 'deki düğümler algılayıcı düğüm olarak davranır. Aynı zamanda A kümesi düğümlerin kendilerine veri transferleri yapmayacak şekilde tanımlanmıştır.

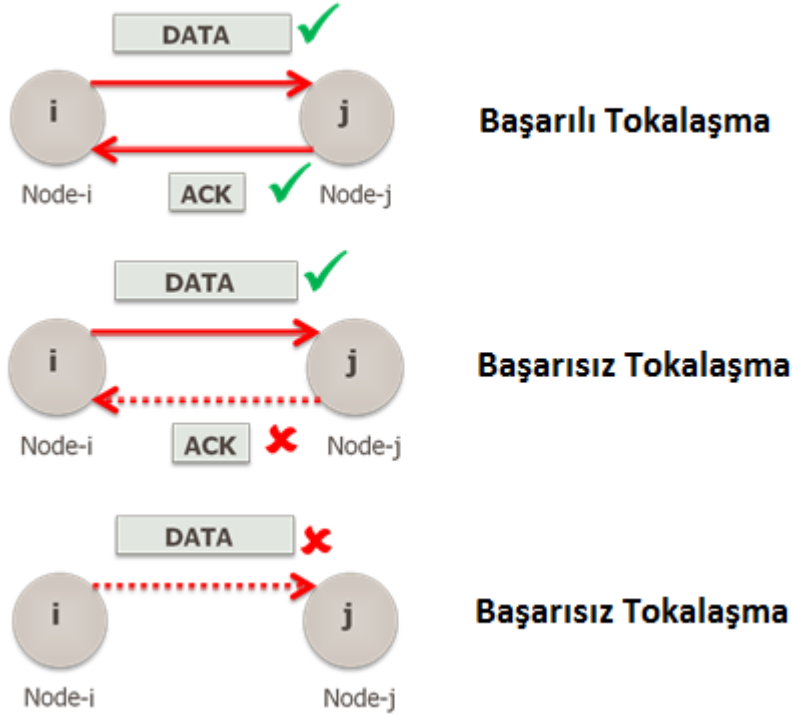
MAC protokolü olarak Zaman Bölmeli Çoklu Erişim seçilmiştir. Bu protokole göre her kullanıcı kanala kendine ayrılan zaman dilimi süresince, T_{slot} , erişir böylece haberleşme halinde olan linkler arasındaki girişim azaltılır.

Zaman, tur süresinin katlarıyla hesaplanacak şekilde düzenlenmiştir. Tur süresi, T_{rnd} , 60 saniye olarak kabul edilmiştir. Her bir turda her bir sensör düğümün s_i veri paketi ürettiği varsayılmıştır. Bir veri paketi, yük (*payload*) ve başlık (*header*) paketinden oluşur. Yük paketi verinin kendisini içerirken, başlık paketi kullanılan haberleşme protokolü bilgisini içerir. 240 Byte yük paketi ve 16 Byte başlık paketi ile veri paketi, M_p , 256 Byte olarak alınmıştır.

İki düğüm arasındaki veri değişimi iki taraflı tokalaşma mekanizması ile gerçekleşir. Verici düğüm tarafından gönderilen veri paketine alıcı, onay (ACK) paketi ile karşılık verir. Bir tokalaşma mekanizması Şekil 4.1 ile gösterildiği üzere üç farklı şekilde sonuçlanabilir:

1. Veri paketi ve onay paketi hatasız bir şekilde iki tarafa da iletilir.

2. Veri paketi hatasız bir şekilde alınırken, onay paketi hatalı bir şekilde iletilir.
3. Veri paketi hatalı bir şekilde iletilir.

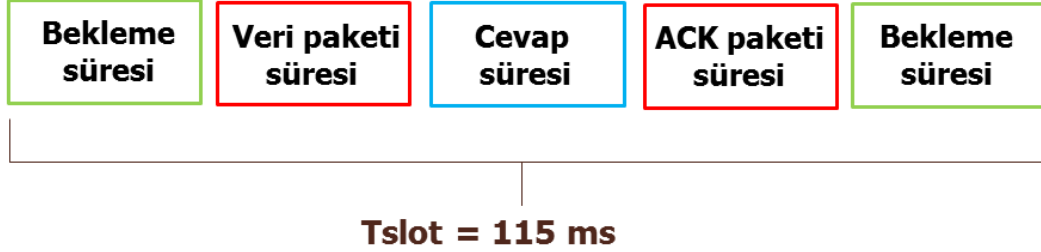


Şekil 4.1: Tokalaşma Durumları.

Bir veri gönderme zaman dilimi, Şekil 4.2'deki gibi özetlenebilir: Bekleme süresi, alıcı düğümün veri paketini kaçırma durumuna karşı alıcı-vericisini beklenen paket varışından önce aktive etmek için ya da senkronizasyon hatalarından kaynaklanabilecek paket çarpışmalarını önlemek için kullanılır [33, 34]. Bekleme süresi maksimum senkronizasyon hatasının iki katı olacak şekilde $T_{grd} = 100 \mu s$ seçilmiştir [8].

Veri paketi süresi, veri paketi büyüklüğünün bit cinsinden kablosuz kanal veri hızına bölünmesi ile bulunur. Kablosuz kanal veri hızı, $\xi = 19.2$ Kbps olarak alınmıştır [16]. Bu durumda veri paketi süresi yaklaşık olarak 106 ms'dir. Onay paketi $M_A = 20$ Byte olarak alınmıştır [8]. Bu durumda onay paketi süresi, veri paketi süresiyle aynı şekilde hesaplanır ve 8 ms'e denk gelir. Cevap süresi ise veri paketinin iletiminin bitiminden onay paketinin başlangıcına kadar geçen süreyi temsil eder, yayılım gecikmesi gibi bazı gecikme değerlerini içerir, $T_{rsp} = 500 \mu s$ olarak

alınmıştır [8]. Sonuç olarak, bir veri gönderme zaman dilimi, T_{slot} , yaklaşık olarak 115 ms'dir.



Şekil 4.2: Veri gönderme zaman dilimi.

4.2 Enerji Modeli

CC1000 radyolarında kullanılan ayırık gönderme güç seviyeleri Bölüm 2.4'te anlatılmıştı. Bu bölümde bu güç seviyeleri kullanılarak Karma Tamsayı Programlama problemi oluşturmak için çeşitli denklemler tanımlanacaktır.

Veri transferi gerçekleşirken alıcıdan vericiye gönderilen sinyal enerji kaybına uğrar. Enerji kaybı birleştirilmiş yol kaybı ve gölgeleme ile modellenenabilir [35]. Bu model aşağıdaki denklem ile gösterilir:

$$Y_{ij}[dB] = Y_0[dB] + 10n \log_{10} \left(\frac{d_{ij}}{d_0} \right) + X_\sigma \quad (4.1)$$

Burada, Y_0 referans uzaklıktaki yol kaybını, n yol kaybı üssel katsayısını, d_{ij} düğüm i ile düğüm j , alıcı ile verici arasındaki uzaklığı, d_0 referans uzaklığını, X_σ ise gölgeleme etkisini denkleme ekleyen, 0 beklenen değerli σ standart sapmalı Gauss dağılımlı rastgele değişkendir. Mica2 düğümleri için bu değerler $n=3.69$, $\sigma=1.42 \text{ dB}$, $d_0=1 \text{ m}$, $Y_0=31 \text{ dB}$ olarak alınmıştır [36].

Bu çalışmada [8]'deki varsayımlar temel alınmıştır, bu varsayımlar şu şekilde sıralanabilir:

1. Ağ hareketsiz algılayıcı düğümler ve baz istasyonundan oluşur.
2. Baz istasyonu tüm ağ alanının topoloji bilgisine dolayısıyla her bir linkteki yol-kayıbı değerine sahiptir. Baz istasyonu aynı zamanda gerekli

hesaplamaları yapıp her bir link üzerindeki veri akışını da planlar. Ayrıca Zaman Bölmeli Çoklu Erişim (TDMA) için zaman dilimi atanması da baz istasyonu tarafından gerçekleştirilir. Algılayıcı düğümler sadece gönderme gücü seviyesi seçiminde görev alır.

3. Tüm düğümler zamansal olarak senkronizedir.
4. Ağ yeniden yapılanma periyodu topoloji keşif ve rota oluşturulmasında harcanan enerji, toplam ağ enerji tüketiminde yoksayabilecek derecede uzundur.
5. Zaman Bölmeli Çoklu Erişim MAC protokolü paket çarpışmalarını ve düğümlerin gereksiz dinlemelerini (*overhearing*) minimum seviyede tutacak şekilde kullanılmaktadır.
6. Herbir link üzerindeki yol kaybı kapalı devre güç kontrol sistemi ile bilinmektedir.
7. Algılayıcı düğümler tarafından üretilen veri paketleri herhangi bir ara algılayıcı düğüm tarafından parçalanamaz ya da başka paketlerle birleştirilemezler.

l güç seviyesinde link(i, j) üzerinden yapılan gönderimde alınan sinyal gücü denklemsel olarak şu şekilde belirtilebilir [8]:

$$P_{rx,ij}^{ant}(l) [\text{dBm}] = P_{tx}^{ant}(l) [\text{dBm}] - Y_{ij} [\text{dB}] \quad (4.2)$$

Alıcıya ulaşan sinyal gücünün gürültüye oranı, sinyal-gürültü oranı (SNR) ise [8]:

$$\psi_{ij}(l) [\text{dB}] = P_{rx,ij}^{ant}(l) [\text{dBm}] - P_n [\text{dBm}] \quad (4.3)$$

Burada gürültü gücü, P_n , Mica2 düğümleri için 300 Kelvinde -115 dBm olarak alınmıştır [37].

l güç seviyesinde link- (i, j) üzerinden yapılan φ -byte paket gönderiminin başarılı (hatasız) alınma olasılığı ise Mica2 düğümlerinde kullanılan evreuyumsuz frekans kaydırmalı anahtarlama (FSK) ve Sıfıra Dönüşsüz Kodlama (NRZ) için şu şekilde hesaplanır [37]:

$$p_{ij}^s(l, \varphi) = \left(1 - \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{\psi_{ij}(l)}{2} \frac{1}{0.64}\right)\right)^{8\varphi} \quad (4.4)$$

Başarısız (hatalı) alınma olasılığı :

$$p_{ij}^f(l, \varphi) = 1 - p_{ij}^s(l, \varphi) \quad (4.5)$$

eşittir.

Ağ mimari modeli bölümünde bahsedilen tokalaşma mekanizması için alıcı ve verici tarafında harcanan enerji hesaplamaları ise Eşitlik (4.4) ve (4.5) baz alınarak yapılır. Veri ve onay paketleri l güç seviyesi ile sırasıyla M_P ve M_A byte büyüklüğündeki paketlerle gönderildiğinde link- (i, j) için başarılı tokalaşma olasılığı :

$$p_{ij}^{HS,s}(l) = p_{ij}^s(l, M_P) \times p_{ji}^s(l, M_A) \quad (4.6)$$

ile elde edilebilir.

Eşitlik (4.6)'yı olasılık hesabında kullanabilmek için gönderilen veri ve onay paketlerinin alıcı taraflarına ulaşan güçleri hassaslık seviyesi eşik değerini aşmalıdır. Hassaslık seviyesi eşik değeri alıcının demodüle edip anlamlı bilgiyi elde edebileceği sinyalin sahip olabileceği en düşük gücü ifade eder. Veri paketi ve onay paketi için bu koşul sırasıyla:

$$P_{rx,ij}^{ant}(l) \geq P_{sns}, P_{rx,ji}^{ant}(l) \geq P_{sns} \quad (4.7)$$

şeklinde ifade edilir. Bu iki koşul sağlanmadığı takdirde ise başarılı tokalaşma olasılığı, $p_{ij}^{HS,s}(l) = 0$ 'dır. Mica2 düğümleri için hassaslık seviyesi eşik değeri, $P_{sns} = -102$ dBm olarak alınmıştır [31]. Başarısız tokalaşma olasılığı ise :

$$p_{ij}^{HS,f}(l) = 1 - p_{ij}^{HS,s}(l) \quad (4.8)$$

eşittir. Ortalama olarak her bir veri paketi $\lambda_{ij}(l)$ kez yeniden gönderilmelidir:

$$\lambda_{ij}(l) = 1 + \sum_{n=1}^{N_{rtr}} [p_{ij}^{HS,f}(l)]^n \quad (4.9)$$

N_{rtr} yeniden gönderme limitini temsil eder. $N_{rtr} \rightarrow \infty$ durumunda [8]:

$$\lambda_{ij}(l) = \frac{1}{p_{ij}^{HS,s}(l)} \quad (4.10)$$

eşitliği sağlanır.

l güç seviyesinde M_P Byte büyüklüğündeki bir veri paketini göndermek için verici tarafından harcanan enerji aşağıdaki gibi formalize edilebilir:

$$E_{tx}^P(l, M_P) = P_{tx}^{crc}(l) T_{tx}(M_P) \quad (4.11)$$

Verici aktif edildiği bir zaman diliminde veri gönderiminde bulunmuyorken dinleme modunda çalışmaktadır. Dinleme modunda alıcı tarafından gönderilecek onay paketini beklemektedir. Dinleme durumundaki güç tüketimi sabit, $P_{rx}^{crc} = 35.4$ mW,

olarak alınmıştır. Bir zaman dilimi süresi boyunca bir tokalaşma için verici tarafındaki enerji tüketimi:

$$E_{tx}^{HS}(l, M_P) = E_{tx}^P(l, M_P) + P_{rx}^{crc}(T_{slot} - T_{tx}(M_P)) \quad (4.12)$$

eşittir.

Tokalaşmaların başarısız olması durumunda, veri paketi ortalama $\lambda_{ij}(l)$ kez yeniden gönderilir. Bu durumda paket kayıpları ve paket işleme enerjisi dahil edildiği durumda vericinin enerji harcaması:

$$E_{tx,ij}^D(l) = E_{PP} + \lambda_{ij}(l)E_{tx}^{HS}(l, M_P) \quad (4.13)$$

olarak elde edilir. Burada paket işleme enerjisi sinyal işleme anlamında bir defa harcanır, başarısız tokalaşma durumlarında yeniden veri gönderme esnasında harcanmaz. Mica2 düğümleri için veri paketi büyüklüğü $M_P = 256$ Bytes olduğu durumda $E_{PP} = 120\mu\text{J}$ olarak alınmıştır [8]. Başarılı tokalaşma durumunda alıcı tarafından harcanan enerji ise alıcı tarafın veri paketini dinlerken harcadığı enerji ve onay paketini gönderirken harcadığı enerjinin toplamına eşittir. Başarısız tokalaşma durumunun iki nedeni vardır: başarısız tokalaşma onay paketinin kaybından ise alıcı tarafı bu durumda yine başarılı tokalaşmadaki enerji tüketimini gösterir , eğer veri paketinin kaybından kaynaklı ise alıcı bir zaman dilimi boyunca veri paketi için dinleme modunda kalır ve enerji tüketimi bu şekilde olur. İki durum Eşitlik (4.14) ve (4.15)'de matematiksel olarak belirtilmiştir.

$$E_{rx}^{HS,S}(l, M_A) = P_{rx}^{crc}(T_{slot} - T_{tx}(M_A)) + E_{tx}^P(l, M_A) \quad (4.14)$$

$$E_{rx}^{HS,f} = P_{rx}^{crc}T_{slot} \quad (4.15)$$

Tokalaşmaların başarısız olması durumunda, veri paketi veya onay paketi kaybı gerçekleştiğinde, alıcı-verici arasında ortalama $\lambda_{ij}(l)$ kez yeniden tokalaşma gerçekleşir ve alıcı tarafında enerji tüketimi Eşitlik (4.16)'daki gibi olur:

$$E_{rx,ji}^D(l) = E_{PP} + \lambda_{ij}(l)[p_{ij}^{HS,S}(l)E_{rx}^{HS,S}(l, M_A) + p_{ij}^S(l, M_P)p_{ji}^f(l, M_A)E_{rx}^{HS,S}(l, M_A) + p_{ij}^f(l, M_P)E_{rx}^{HS,f}] \quad (4.16)$$

5. KARMA TAMSAYILI DOĞRUSAL PROGRAMLAMA MODELİ

Bu bölümde ağ yaşamsüresini maksimize etmek için tasarlanan karma tamsayılı doğrusal programlama modeli anlatılmıştır. Ağ yaşam süresi saniye cinsinden $t \times T_{rnd}$ şeklinde ifade edilir. Burada bir tur süresi $T_{rnd} = 60$ sn olarak alınmıştır. KTDP modelinde maksimize edilmek istenen değişken t birimsizdir, tur sayısını temsil eder. Yani bu KTDP modelinde amaç fonksiyonu tur sayısıdır. KTDP modelinin kısıtları ise bu bölümün devamında bahsedilmiştir.

Veri akışı denge kısıtı, baz istasyonu dışında bütün düğümler için düğüme gelen ve düğümden giden veri akış miktarının birbirini dengelediğini belirtir. Bir diğer deyişle algılayıcı düğüm i 'de üretilen veri miktarı ve düğüm i 'ye komşu düğümlerden gelen veri miktarının toplamı, algılayıcı düğüm i 'den diğer düğümlere giden veri miktarına eşittir. Bu çalışmada her bir turda algılayıcı düğümler tarafından üretilen paket sayısı, $s_i = 1$ olarak alınmıştır. Veri akışı denge kısıtı Eşitlik (5.1)'deki gibi ifade edilebilir.

$$\sum_{l \in S_L} \sum_{(i,j) \in A} f_{ij}^l - \sum_{l \in S_L} \sum_{(j,i) \in A} f_{ji}^l = t \times s_i, \forall i \in W \quad (5.1)$$

Düğüm i 'nin enerji denge kısıtını belirtebilmek için algılayıcı düğüm i 'nin üzerindeki CC1000 radyosunun hangi modda ne kadar zaman geçirdiğini bilmemiz gerekmektedir. Düğüm i 'nin veri gönderme, veri alma, veri elde etme ve işleme sürelerinin toplamı düğüm i 'nin kullanımda olduğu toplam süreyi, $T_{bsy,i}$, oluşturur. Burada ilk terim her bir veri paketi gönderilişinde ortalama $\lambda_{ij}(l)$ kez zaman dilimi süresi geçtiğini, ikinci terim ise bir veri paketi alınışında ortalama $\lambda_{ji}(l)$ kez zaman dilimi süresi geçtiğini, üçüncü terim ise veri elde etme ve işleme sürelerinin her bir turda bir kez harcandığını gösterir.

$$T_{bsy,i} = T_{slot} \sum_{l \in S_L} [\sum_{(i,j) \in A} \lambda_{ij}^l f_{ij}^l + \sum_{(j,i) \in A} \lambda_{ji}^l f_{ji}^l] + t \times T_{DA}, \forall i \in W \quad (5.2)$$

Düğüm i 'nin enerji denge kısıtı ise şu şekilde açıklanabilir; düğüm i 'de her bir veri paketi gönderimi için yeniden gönderimler dahil edildiğinde,

$E_{tx,ij}^D(l)$ miktarında enerji harcanır. Her bir veri paketi alımı için yeniden gönderimler dahil edildiğinde, $E_{rx,ji}^D(l)$ miktarında enerji harcanır. Veri toplama ve işleme tur başına bir defa, E_{DA} miktarında enerji tüketimine neden olur. Düğüm i kullanımda olmadığı durumda uyku modundaki güç harcamasını, P_{slp} gerçekleştirir. Tüm bu enerji tüketimlerinin toplamı algılayıcı düğümün batarya enerjisi, $\rho = 25$ kJ, tarafından sınırlanmış durumdadır. Eşitsizlik 5.3'de bu durum özetlenmiştir.

$$\sum_{l \in S_L} \sum_{(i,j) \in A} E_{tx,ij}^D(l) f_{ij}^l + P_{slp}(t \times T_{rnd} - T_{bsy}, i) + \sum_{l \in S_L} \sum_{(j,i) \in A} E_{ji}^{rx,l} f_{ji}^l + t \times E_{DA} \leq \rho, \quad (5.3)$$

Bant genişliği bütün algılayıcı düğümler ve baz istasyonu için kullanılabilir bant genişliği tarafından kısıtlanmıştır. Bant genişliği kısıtı Eşitsizlik (5.4)'de verilmiştir.

$$T_{slot} \sum_{l \in S_L} [\sum_{(i,j) \in A} \lambda_{ij}^l f_{ij}^l + \sum_{(j,i) \in A} \lambda_{ji}^l f_{ji}^l + \sum_{(j,n) \in A} \lambda_{jn}^l f_{jn}^l I_{jn}^l] \leq t \times T_{rnd}, \quad \forall i \in V \quad (5.4)$$

Eşitsizlik (5.4)'de $I_{jn}^{l,l}$ terimi girişim akışlarını temsil eder. Düğüm j 'den düğüm n 'ye veri akışı gerçekleşirken düğüm i 'nin bantgenişliği bu durumdan etkilenir. Bir diğer deyişle düğüm i üzerinde girişim akışı oluşur. Girişim fonksiyonu aşağıdaki gibi belirtilebilir:

$$I_{jn}^{l,l} = \begin{cases} 1, & P_{rx,ji}^{ant,l} \geq P_{sns} \\ 0, & P_{rx,ji}^{ant,l} < P_{sns} \end{cases} \quad (5.5)$$

Eşitsizlik (5.5)'de belirtildiği gibi düğüm j 'den düğüm n 'ye veri akışı gerçekleşirken düğüm i 'de alınan sinyal gücü Mica2 düğümleri hassaslık seviyesinden, P_{sns} , büyükse girişim akımı oluşur.

Gönderme güç seviyesi kullanımı ise Eşitsizlik (5.6)'da belirtilmiştir. Eşitsizlik (5.6)'daki \mathcal{M} pozitif bir büyük sayıyı temsil etmektedir. Düğüm i 'den düğüm- j 'ye olan veri akışlarının herhangi birinde l güç seviyesi kullanılırsa b_l 1, aksi takdirde 0 değerini alır.

$$\sum_{(i,j) \in A} f_{ij}^l \leq \mathcal{M} \times b_l, \quad \forall l \in S_L \quad (5.6)$$

$$b_l \in \{0,1\}, \quad \forall l \in S_L \quad (5.7)$$

Güç seviye kısıtı ise ağda kullanılabilicek birbirinden farklı güç seviyelerinin sayısını sınırlamak için oluşturulmuştur:

$$\sum_{l \in S_L} b_l \leq \zeta \quad (5.8)$$

Son kısıt, Eşitsizlik (5.9) ise veri akışlarını 0 ya da pozitif değerler almasını sağlar.

$$f_{ij}^l \geq 0, \forall l \in S_L, (i, j) \in A \quad (5.9)$$





6. MODEL ANALİZİ

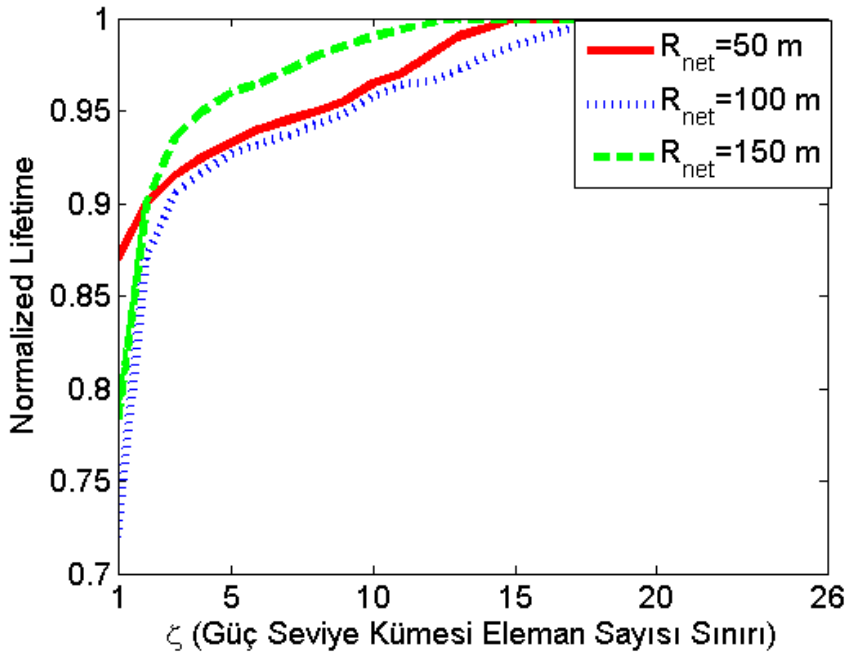
Bu bölümde sunulan KTDP modelinin performansının sayısal olarak analizi yapılmıştır. Ağ topolojisi olarak disk şeklindeki ağ topolojisi kullanılmıştır. Baz istasyonu merkezde olmak üzere algılayıcı düğümler bu diskin içinde dağılmış durumdadır. Algılayıcı düğüm sayısı 20 olarak belirlenmiştir. Yarıçap, R_{net} , ise sırasıyla 50, 100 ve 150 metre olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar 100 farklı optimizasyon koşurmasının ortalaması alınarak verilmiştir. Bir diğer deyişle, 100 farklı koşurma sonucunda 100 farklı rastgele ağ topolojisi, 100 farklı algılayıcı düğüm pozisyonu elde edilmiştir. Aynı zamanda elde edilen değerler ağ yaşam süresi değerlendirmesinde her bir yarıçap değeri için mevcut en yüksek ağ yaşam süresiyle normalize edilmiştir, grafiklerde bu şekilde sunulmuştur.

Enerji modelindeki denklemlerin modellenmesi için MATLAB programı kullanılırken, KTDP modellenmesi ve çözümü için General Algebraic Modeling System (GAMS) programı ve programın CPLEX çözücüsü tercih edilmiştir.

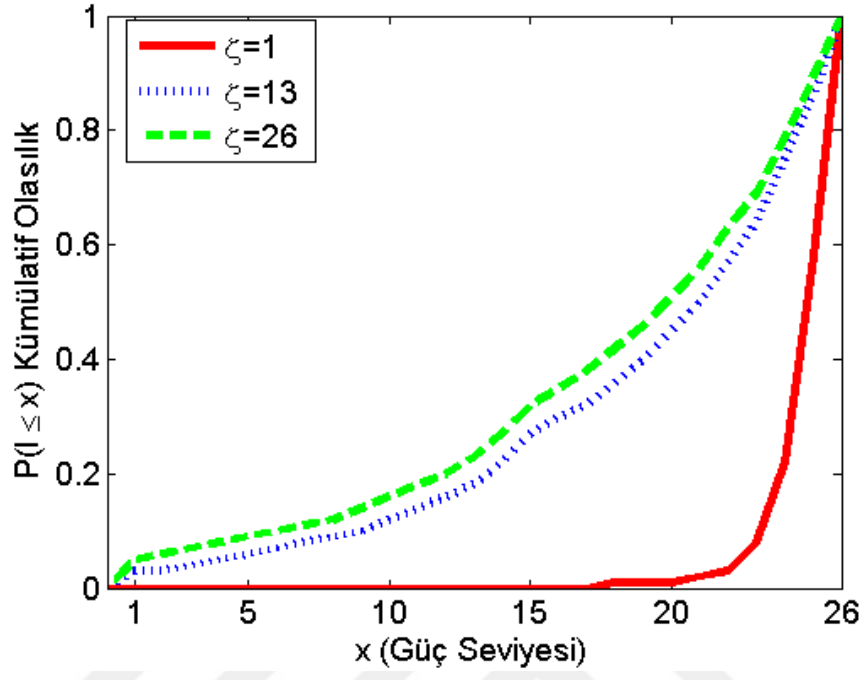
İlk sunulan grafik, Şekil 6.1'de, normalize edilmiş yaşam süresinin güç seviye kümesi eleman sayısı ile değişimi sunulmuştur. Görüldüğü üzere maksimum yaşam süresi, güç seviye kümesinde herhangi bir sınırlandırma olmadığı durumda, $\zeta = 26$ durumunda elde edilmiştir. $\zeta = 5$ seçildiği durumda maksimum yaşam süresinin yaklaşık olarak %90 değerini elde etmenin mümkün olduğu görülmektedir. $\zeta = 5$ değerinden itibaren yaşam süresi en çok $R_{net} = 100$ m değeri için artmaktadır. Bunun nedeni $R_{net} = 100$ m durumunda ağdaki algılayıcı düğümlerin yerleşimi ortalama mesafelidir. Bu nedenle algılayıcı düğümler güç seviyelerinin çeşitli seçildiği bir davranış şekli gösterirler. Örneğin, $R_{net} = 50$ m durumunda, algılayıcı düğümler ağ topolojisinde sık konumlanmışlardır, yol kaybı bu durumda az miktardadır, bu nedenle genelde düşük güç seviyelerini tercih ederler. $R_{net} = 150$ m durumunda, algılayıcı düğümler seyrek olarak dağılmış vaziyettedirler, bu nedenle yüksek güç seviyelerini kullanarak diğer algılayıcı düğümlerle haberleşebilecek enerji miktarına

sahip olurlar. $\zeta = 10$ 'dan itibaren maksimum yaşam süresinin %95 değerinde yaşam süresi sonuçları alınır.

Şekil 6.2'de, üç farklı ζ değeri için güç seviye kümülatif olasılığı, $P(l \leq x)$, verilmiştir. Grafikten anlaşıldığı üzere $\zeta = 1$ durumunda $R_{net}=100$ m yarıçaplı bir ağda, ağ güç seviyelerinin %92'si 24-26 güç seviyesi bandından seçilir ($P(l < 24) = 0.08$). Bu davranışın sebebi paket kaybını önlemek için yüksek güç seviyelerinin tercih edilmesidir, yaşam süresinden ödün verilmesidir. Şekil 6.1'de görüldüğü üzere $\zeta = 1$ durumunda, yüksek güç seviyeleri kullanıldığında, maksimum yaşam süresinin yaklaşık olarak %70 değeri elde edilir. Aynı nedenle $\zeta = 13$ ve $\zeta = 26$ durumları içinde, grafik eğimlerinin artmasından anlaşılabileceği üzere, büyük oranda yüksek güç seviyeleri kullanılır, ancak düşük ve orta güç seviyeleri de tercih edilir. $\zeta = 13$ durumunda ($P(l > 24) = 0.36$) iken $\zeta = 26$ durumunda ($P(l > 24) = 0.30$) olarak elde edilmiştir.



Şekil 6.1: 3 R_{net} değeri için normalize edilmiş yaşam süreleri ve ζ ilişkisi.



Şekil 6.2: $R_{net} = 100$ m için güç seviye kümülatif olasılığı.



7. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında KAA'larda optimal gönderme gücü seviye kümesi tasarımı araştırılmıştır. Link seviyesinde Mica2 düğümlerinin enerji karakteristiği kullanılarak bir KTDP modeli oluşturulmuştur. Elde edilen verilerin sonucunda, Mica2 düğümleri gönderme gücü seviye kümesinin elemanlarının %50'si ile mevcut elde edilebilecek maksimum ağ yaşam süresinin %95'ini elde etmenin mümkün olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca sonuçlar monotik olmayan şekilde davranış göstermişlerdir. Bir diğer deyişle sık yerleştirilmiş algılayıcı düğümler düşük gönderme gücü seviyelerini, seyrek yerleştirilmiş algılayıcı düğümler yüksek gönderme gücü seviyelerini tercih ederken, birbirlerine ortalama mesafede yerleştirilmiş algılayıcı düğümler için gönderme gücü seviyesi çeşitliliğinin ağ yaşam süresini uzatmada önemli bir etken olduğu sonucuna varılmıştır.



KAYNAKLAR

- [1] **Silicon Laboratories I.**, The Evolution of Wireless Sensor Networks. Silicon Laboratories, Inc., 2013.
- [2] **Akyildiz I., Su W., Sankarasubramaniam Y., and Cayirci E.**, “Wireless sensor networks: a survey,” *Computer Networks*, vol. 38, no. 4, pp. 393 – 422, 2002.
- [3] **Akyildiz I. F., Vuran M. C.**, *Wireless Sensor Networks: Advanced Texts in Communications and Networking*. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, August 2010.
- [4] **Athanassoulis S. H. M., Alagiannis I.**, “Energy efficiency in wireless sensor networks: A utility-based architecture,” *European Wireless 2007*, April 2007.
- [5] **Jiang B., Han K., Ravindran B., Cho H.**, “Energy efficient sleep scheduling based on moving directions in target tracking sensor network,” in *2008 IEEE International Symposium on Parallel and Distributed Processing*, pp. 1–10, April 2008.
- [6] **Pantazis N. A., Nikolidakis S. A., Vergados D. D.**, “Energy-efficient routing protocols in wireless sensor networks: A survey,” *IEEE Communications Surveys Tutorials*, vol. 15, pp. 551–591, Second 2013.
- [7] **Min R., Bhardwaj M., Cho S.-H., Shih E., Sinha A., Wang A., Chandrakasan A.**, “Low-power wireless sensor networks,” in *VLSI Design, 2001. Fourteenth International Conference on*, pp. 205–210, IEEE, 2001.
- [8] **Yildiz H. U., Tavli B., Yanikomeroğlu H.**, “Transmission power control for link-level handshaking in wireless sensor networks,” *IEEE Sensors Journal*, vol. 16, pp. 561–576, Jan 2016.
- [9] **Zhao Z., Zhang X., Sun P., Liu P.**, “A transmission power control mac protocol for wireless sensor networks,” in *Networking, 2007. ICN '07. Sixth International Conference on*, pp. 5–5, April 2007.
- [10] **Correia L. H., Macedo D. F., dos Santos A. L., Loureiro A. A., Nogueira J. M. S.**, “Transmission power control techniques for wireless sensor networks,” *Computer Networks*, vol. 51, no. 17, pp. 4765 – 4779, 2007.
- [11] **Sheu J.-P., Hsieh K.-Y., Cheng Y.-K.**, “Distributed transmission power control algorithm for wireless sensor networks,” *J. Inf. Sci. Eng.*, vol. 25, no. 5, pp. 1447–1463, 2009.
- [12] **Nar P. C., Cayirci E.**, “Pcsmac: A power controlled sensor-mac protocol for wireless sensor networks,” in *Wireless Sensor Networks, 2005. Proceedings of the Second European Workshop on*, pp. 81–92, IEEE.
- [13] **Lin S., Zhang J., Zhou G., Gu L., Stankovic J. A., He T.**, “Atpc: adaptive transmission power control for wireless sensor networks,” in *Proceedings of the 4th international conference on Embedded networked sensor systems*, pp. 223– 236, ACM, 2006.

- [14] **Leabi S. K., Abdalla T. Y.**, “Fuzzy transmission power control scheme for maximizing lifetime in wireless sensor networks,” *Iraqi Journal for Electrical & Electronic Engineering*, vol. 11, no. 2, 2015.
- [15] **Cotuk H., Bicakci K., Tavli B., Uzun E.**, “The impact of transmission power control strategies on lifetime of wireless sensor networks,” *IEEE Trans. Comput.*, vol. 63, pp. 2866–2879, Nov. 2014.
- [16] **Akbas A., Yildiz H. U., Tavli B., Uludag S.**, “Joint optimization of transmission power level and packet size for wsn lifetime maximization,” *IEEE Sensors Journal*, vol. 16, pp. 5084–5094, June 2016.
- [17] **Galluccio L., Leonardi A., Morabito G., Palazzo S.**, “On the convenience of turning off the radio interface and using multiple transmission power levels in sensor networks applying geographical forwarding,” in *Wireless Communication Systems, 2006. ISWCS'06. 3rd International Symposium on*, pp. 88–92, IEEE, 2006.
- [18] **Zou M., Chan S., Vu H. L., Ping L.**, “Throughput improvement of 802.11 networks via randomization of transmission power levels,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 65, pp. 2703–2714, April 2016.
- [19] **Liu C. H., Rong B., Cui and S.**, “Optimal discrete power control in poissonclustered ad hoc networks,” *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 14, pp. 138–151, Jan 2015.
- [20] **Gjendemsjo A., Oien G. E., Orten P.**, “Optimal discrete-level power control for adaptive coded modulation schemes with capacity-approaching component codes,” in *2006 IEEE International Conference on Communications*, vol. 11, pp. 5047–5052, June 2006.
- [21] **Sahraei S., Ashtiani F.**, “Effect of power randomization on saturation Throughput of ieee 802.11 wlan,” in *2010 IEEE International Conference on Communications*, pp. 1–5, May 2010.
- [22] **Lin L., Yates R. D., Spasojevic P.**, “Adaptive transmission with discrete code rates and power levels,” *IEEE Transactions on Communications*, vol. 51, no. 12, pp. 2115–2125, 2003.
- [23] **Lee W.-S., Choi M., Kim N.**, “Experimental link channel characteristics in wireless body sensor systems,” in *Information Networking (ICOIN), 2012 International Conference on*, pp. 374–378, IEEE, 2012.
- [24] **Noack A., Bok P.-B., Kruck S.**, “Evaluating the impact of transmission power on qos in wireless mesh networks,” in *Computer Communications and Networks (ICCCN), 2011 Proceedings of 20th International Conference on*, pp. 1–6, IEEE, 2011.
- [25] **Pala Z.**, “Effects of mica2-based discrete energy levels on lifetime of cooperation neighbor sensor networks,” *Turk J Elec Eng Comp Sci*, vol. 24, pp. 2671–2678, 2016.
- [26] **Board I. M. S.**, *Wireless Sensor Networks. International Electrotechnical Commission, Switzerland*, 2014.
- [27] **Gajjar S., Choksi N., Sarkar M., Dasgupta K.**, “Comparative analysis of Wireless sensor network motes,” *2014 International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN)*, pp. 426–431,

2014.

- [28] **Al-Obaisat Y., Braun R.**, “On wireless sensor networks: architectures, protocols, applications, and management,” in International Conference on Wireless Broadband and Ultra Wideband Communication (AusWireless), 2006.
- [29] **Kabara J., Calle M.**, “Mac protocols used by wireless sensor networks and a general method of performance evaluation,” International Journal of Distributed Sensor Networks, vol. 8, no. 1, p. 834784, 2012.
- [30] **Baccour N., Koubâa A., Mottola L., Zúñiga M. A., Youssef H., Boano C. A., Alves M.**, “Radio link quality estimation in wireless sensor networks: A survey,” ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN), vol. 8, no. 4, p. 34, 2012.
- [31] **Vales-Alonso J., Egea-Lopez E., Martinez-Sala A., Pavon-Marino P., Bueno-Delgado M. V., Garcia-Haro J.**, “Performance evaluation of MAC transmission power control in wireless sensor networks,” Computer Networks, vol. 51, pp. 1483–1498, 2007.
- [32] **Albert S.**, Solving mixed integer linear programs using branch and cut algorithm. Master’s thesis, Faculty of North Carolina State University.
- [33] **Xu M., Zhao M., Li S.**, “Lightweight and energy efficient time synchronization for sensor network,” in Proceedings. 2005 International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2005., vol. 2, pp. 947–950, Sept 2005.
- [34] **Chang T., Wang Q.**, “Adaptive compensation for time-slotted synchronization in wireless sensor network,” International Journal of Distributed Sensor Networks, vol. 10, no. 4, p. 540397, 2014.
- [35] **Kurt S., B. Tavli**, “Propagation model alternatives for outdoor wireless sensor networks,” in Proc. of the IFIP Wireless Days (WD), pp. 1–3, 2013.
- [36] **Martinez-Sala A., Molina-Garcia-Pardo J. M., Egea-Ldpez E., Vales-Alonso J., Juan-Llacer L., Garcia-Haro J.**, “An accurate radio channel model for wireless sensor networks simulation,” Journal of Communications and Networks, vol. 7, pp. 401–407, Dec 2005.
- [37] **Zuniga M., Krishnamachari B.**, “Analyzing the transitional region in low Power wireless links,” in Proc. IEEE Communications Society Conf. Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks (SECON), pp. 517–526, 2004.



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Çağla Tantur
Uyruğu : T.C.
Doğum Tarihi ve Yeri : 1991, KOCAELİ
E-posta : ctantur@etu.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2015, ODTÜ, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2017, TOBB ETÜ, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

Yıl	Yer	Görev
2014	Arçelik	Aday Mühendis
2015	Aselsan	Sayısal Tasarım Mühendisi

YABANCI DİL: İngilizce

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Tantur, C., Yildiz, H. U., Kurt, S., & Tavli, B.** (2016, October). Optimal transmission power level sets for lifetime maximization in wireless sensor networks. In *SENSORS, 2016 IEEE* (pp. 1-3). IEEE.