

**KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARINDA YAŞAM SÜRESİ ENİYİLEMESİ
İÇİN VERİ İŞLEME VE İLETİŞİM YÖNTEMLERİ**

ONUR CEYLAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ**

**TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

AĞUSTOS 2008

ANKARA

Fen Bilimleri Enstitü onayı

Prof. Dr. Yücel ERCAN

Müdür

Bu tezin Yüksek Lisans derecesinin tüm gereksinimlerini sağladığımı onaylarım.

Doç. Dr. Erdoğan Doğdu

Anabilim Dalı Başkanı

Onur CEYLAN tarafından hazırlanan KABLOSUZ ALGILAYICI AğLARINDA YAŞAM SÜRESİ EN İYİLEMESİ İÇİN VERİ İŞLEME VE İLETİŞİM YÖNTEMLERİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Bülent Tavlı

Tez Danışmanı

Tez Jüri Üyeleri

Başkan :Doç. Dr. Erdoğan Doğdu _____

Üye : Yrd. Doç. Dr. Bülent Tavlı _____

Üye : Yrd. Doç. Dr. Kadir Ertoğral _____

Üye : Yrd. Doç. Dr. Oğuz Ergin _____

Üye : Yrd. Doç. Dr. Tansel Özyer _____

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

.....

Onur Ceylan

Üniversitesi : TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
Enstitüsü : Fen Bilimleri
Anabilim Dalı : Bilgisayar Mühendisliği
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Bülent Tavlı
Tez Türü ve Tarihi : Yüksek Lisans – Ağustos 2008

Onur Ceylan

**KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARINDA YAŞAM SÜRESİ EN İYİLEMESİ
İÇİN VERİ İŞLEME VE İLETİŞİM YÖNTEMLERİ**

ÖZET

Elektronikteki gelişmeler sayesinde üretilen ucuz kablosuz sensörler kablosuz sensör ağların kullanıldığı uygulamaların artmasına neden olmuştur. Sensörlerin altyapısız, erişimden uzak ve farklı koşullar altında çalışması beklenmektedir, bu yüzden sensörlerin enerji kısıtlamaları kablosuz sensör ağların planlama ve kullanımında önemli bir yer tutmaktadır. Sensörlerin en iyi şekilde enerjisini kullanması ve ağ ömrünün optimize edilmesi için çeşitli protokoller ve yönlendirme algoritmaları geliştirilmiştir. Ağ içindeki trafiğin dengeli bir şekilde yönlendirilmesi sensörlerin enerjilerini uzun süre kullanabilmesi için önemli bir etkidir. Bu problem bir optimizasyon problemi olup optimizasyon problemlerinin çözümünde doğrusal programlama kullanımı yaygındır. Bu tez çalışmasında da kablosuz sensör ağının yaşam süresini optimize etmek için doğrusal programlama modelleri kurulmuş, ayrıca veri işleme teknikleri ile doğrusal programlama beraber kullanılmıştır. Yapılan testler sonucunda kullanılan modelin sadece akış optimizasyonu yapılan sistemlerden daha uzun bir ağ ömrü sağladığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kablosuz sensör ağlar, Sensör ömrü, Doğrusal programlama, Veri sıkıştırma, Yönlendirme.

University : TOBB University of Economics and Technology
Institute : Institute of Natural and Applied Sciences
Science Programme : Computer Engineering
Supervisor : Asst. Prof. Bülent Tavlı
Degree Awarded and Date : M. Sc. – August 2008

Onur CEYLAN

**DATA PROCESSING AND COMMUNICATION STRATEGIES FOR
LIFETIME OPTIMIZATION IN WIRELESS SENSOR NETWORKS**

ABSTRACT

The application of wireless sensor networks increased due to the production of inexpensive wireless sensors with the advances at the electronics. Sensors expected to operate at remote places under different conditions without having an infrastructure, because of these the power constraints of the sensors is a very important aspect at the design and applications of wireless sensor networks. Routing algorithms and protocols are developed for the optimization of network lifetime and effective usage of energy at the sensors. Routing of the traffic through the network is an important factor and traffic should be equally splitted between sensors for achieving longer sensor lifetimes. Maintaining longer wireless sensor lifetime is an optimization problem and linear programming is widely used as a solution of the optimization problems. In this study, we also used linear programming for lifetime optimization of wireless sensor networks along with data processing techniques. Our simulation results show that using of data processing techniques with linear programming provides better lifetimes compared to the systems that only use flow optimization strategies.

Key Words: Wireless Sensor Networks, Sensor Lifetime, Linear programming, Data Compression, Routing.

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren çok değerli hocam Bülent TAVLI'ya, kıymetli tecrübelerinden faydalandığım TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine, desteklerini esirgemeyen asistan arkadaşlarıma ve bana verdikleri manevi destekten dolayı ailem ve arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
KISALTMALAR.....	xi
SEMBOL LİSTESİ.....	xii
Simgeler Açıklama	xii
BÖLÜM 1	1
1. GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.....	3
2. KABLOSUZ SENSÖR AĞLAR	3
2.1. KSA'ların Yapısı	3
2.2. KSA Tasarım Kıstasları	6
2.3. KSA'ların kullanım alanları.....	8
2.4. KSA'larda Yaşam Ömrü.....	9
BÖLÜM 3	13
3. Doğrusal Programlama (LP).....	13
3.1. Doğrusal Programlama Modeli.....	14
3.2. Standart Maksimum Problemi	18
3.3. Standart Minimum Problemi.....	18
BÖLÜM 4	20
4. Kablosuz Ağlarda Yaşam Süresi En İyilemesi	20
4.1. Kablosuz Ağlarda Aktif Nokta Problemi.....	20

4.2.	Akış Optimizasyonu ve Sıkıştırma	22
4.3.	Enerji Modeli	23
4.4.	Kullanılan Stratejiler	24
4.4.1.	NCFB (Sıkıştırmasız Akış Optimizasyonu).....	24
4.4.2.	MCFB (Zorunlu Sıkıştırma ve Akış Optimizasyonu).....	25
4.4.3.	OCFB (Optimal Sıkıştırma ve Akış Optimizasyonu)	27
4.4.4.	TCFB (Ayarlanabilir Sıkıştırma ve Akış Optimizasyonu).....	28
4.4.5.	DCFB (Dinamik Sıkıştırma ve Akış Optimizasyonu)	30
BÖLÜM 5	.....	33
5.	NÜMERİK ANALİZ VE DEĞERLENDİRMELER	33
5.1.	Doğrusal topolojide tek seviyeli sıkıştırma.....	34
5.2.	Dairesel topolojide tek seviyeli sıkıştırma	36
5.3.	Doğrusal topolojide çok seviyeli sıkıştırma.....	39
5.4.	Dairesel topolojide çok seviyeli sıkıştırma	41
BÖLÜM 6	.....	43
6.	SONUÇLAR.....	43
KAYNAKLAR	.....	45
ÖZGEÇMİŞ	.....	48
YAYINLAR	.....	49

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.1 Yapılan analizlerin şeması.....	33
Çizelge 5.2. Farklı sıkıştırma seviyeleri için <i>gzip2</i> 'de görelî harcanan enerji.....	39

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Bir algılayıcı düğümün şeması.....	6
Şekil 3.1. Doğrusal programlama probleminin grafiksel çözümü.....	17
Şekil 4.1. KSA’larda tek atlamalı iletim akış şeması.....	21
Şekil 4.2. KSA’larda çok atlamalı iletim akış şeması.....	21
Şekil 4.3. Basit bir KSA topolojisi.....	24
Şekil 4.4. MCFB modeli için düğümlerin akış şeması.....	26
Şekil 4.5. OCFB modeli için düğümlerin akış şeması.....	27
Şekil 4.6. TCFB modeli için düğümlerin akış şeması.....	29
Şekil 4.7. DCFB modeli için düğümlerin akış şeması.....	31
Şekil 5.1. Doğrusal topolojide OCFB,MCFB,NCFB modellerinin KSA’daki düğüm sayısına karşı normalize edilmiş yaşam süreleri.....	34
Şekil 5.2. Dairesel topolojide OCFB,MCFB,NCFB modellerinin KSA’daki düğüm sayısına karşı normalize edilmiş yaşam süreleri. Düğüm alanı 100m ²	36
Şekil 5.3. Dairesel topolojide OCFB,MCFB,NCFB modellerinin KSA’daki düğüm sayısına karşı normalize edilmiş yaşam süreleri. Düğüm alanı 500m ²	37
Şekil 5.4. Doğrusal topolojide TCFB,MCFB ve NCFB modellerinin KSA’daki düğüm sayısına karşı normalize edilmiş yaşam süreleri.....	40
Şekil 5.5. Dairesel topolojide TCFB,MCFB,NCFB modellerinin KSA’daki düğüm sayısına karşı normalize edilmiş yaşam süreleri.....	41

KISALTMALAR

Kısaltmalar	Açıklama
KSA	Kablosuz Sensör Ağlar – Wireless Sensor Networks
GTA	Gezgin Tasarısız Ağlar – Wireless Ad hoc Networks
LP	Doğrusal Programlama – Linear Programming
NCFB	Sıkıştırmasız Akış Optimizasyonu – No Compression and Flow Balancing
MCFB	Zorunlu Sıkıştırma ve Akış Optimizasyonu – Mandatory Compression and Flow Balancing
OCFB	Optimal Sıkıştırma ve Akış Optimizasyonu – Optimal Compression and Flow Balancing
TCFB	Ayarlanabilir Sıkıştırma ve Akış Optimizasyonu – Tunable Compression and Flow Balancing
DCFB	Dinamik Sıkıştırma ve Akış Optimizasyonu – Dynamic Compression and Flow Balancing

SEMBOL LİSTESİ

Bu çalışmada kullanılmış olan simgeler açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler Açıklama

$P_{rx,i,j}$	i düğümünden j düğümünde 1 bit veri iletimi için harcanan enerji
P_{tx}	1 bit veri almak için harcanan enerji
ρ	sensör düğümünün elektronik donanımında harcanan enerji
ϵ	alıcı-vericinin verimlilik faktörü
α	yol kayıp faktörü
$d_{i,j}$	i düğümü ve j düğümü arasındaki mesafe
f_{ij}	i düğümünden j düğümüne sıkıştırılmamış veri akışı
g_{ij}	i düğümünden j düğümüne sıkıştırılmış veri akışı
g_{ij}^k	i düğümünden j düğümüne k seviyeli sıkıştırılmış veri akışı
$h_{i,\pi}^k$	i düğümünden k seviyeli π düğümüne sıkıştırılmamış veri akışı
P_{cp}	bir bit veriyi sıkıştırmak için harcanan enerji
P_{dc}	sıkıştırılmış bir bit veriyi açmak için harcanan enerji
γ	sıkıştırma katsayısı
γ_k	k seviyeli sıkıştırma katsayısı
s_i	birim zamanda i düğümde üretilen bit sayısı
e_i	i düğümünün enerjisi
π_i	sanal sıkıştırma düğümü
ω_i	sanal sıkıştırmayı açma düğümü

BÖLÜM 1

1. GİRİŞ

Kablosuz sensör ağlar (KSA) fiziksel bir olayı izleyen çok sayıda sensörden oluşurlar. Sensör düğümleri kısıtlı kaynaklara sahip olup veri işleme, veri toplama ve veri iletme görevlerine sahiptirler. Buldukları ortamda kablosuz iletişim ile topladıkları verileri baz istasyonuna iletirler. Kablosuz sensör ağların yerleştirildiği ortamlarda herhangi bir altyapı bulunmamaktadır ve bir çok durumda ağda bulunan düğümlerin bakım onarım ve enerjilerini yenileme imkanları bulunmamaktadır. Bu yüzden sahip olunan enerjiyi verimli bir şekilde kullanmak kablosuz sensör ağların işleminde önemli bir yer tutar. Kablosuz sensör ağlar tasarlanırken hataya toleranslı, kendi kendine organize olabilen ve enerjisini ağ içinde dengeli bir şekilde kullanabilecek şekilde tasarlanmalıdır.

Bu tez çalışması kapsamında kablosuz sensör ağların yaşam sürelerinin en iyi seviyelere ulaşması amaçlanmıştır. Kablosuz sensör ağların veri alım ve gönderim yapıları matematiksel olarak modellenmiş, doğrusal programlama kullanılarak veri alışverişleri dolayısı ile yaşam süreleri en üst seviyeye çıkarılmaya çalışılmıştır. Ağın içinde veri trafiğinin dengeli bir şekilde dağılması sağlanılarak sensör düğümlerin enerjilerini uzun zamanda tüketmesi sağlanmıştır. Kablosuz sensör ağda akış optimizasyonu ile beraber veri işleme tekniklerinin ağ ömrü üzerindeki etkisi incelenmiştir. Verilerin sıkıştırılarak iletiminin ağ ömrü üzerindeki etkileri farklı stratejiler kullanılarak incelenmiş ve karşılaştırılmaları yapılmıştır. Bu amaçla MATLAB kullanılarak nümerik analizler yapılmıştır . Farklı ağ büyüklükleri ve farklı ağ topolojileride nümerik yöntemle incelenmiştir.

Kablosuz sensör ağlarda sensör düğümlerin enerji kullanımının büyük bir kısmı veri gönderimi ve alımı sırasında olmaktadır. Örneğin, skalar sensör düğümleri (ısı ve

titreşim gibi skalar veri toplayan düğümler) olan Telos, MicaZ sensör düğümlerinde haberleşme için harcanan enerji toplam enerji kullanımının sırası ile %91'i ve %62'sidir [1]. Haberleşme için harcanan enerjinin optimize edilmesi ağ ömrünü belirgin şekilde uzatacaktır. Çokluortamlı kablosuz sensör ağlarda ise skalar sensör ağların aksine enerjinin büyük bir kısmı veri işleme sırasında harcanmaktadır. Örneğin, MicrelEye [2] sensör düğümünde haberleşme enerjisi toplam harcanan enerjinin %22'si kadardır. Skalar ve çokluortamlı sensör düğümlerinde benzer radyolar kullanılırken (250 Kbps IEEE 802.15.4 uyumlu CC2420), skalar sensör düğümlerinde 8 bitlik çokluortam sensör düğümlerinde ise 32 bitlik işlemciler yer almaktadır. Çokluortamlı sensör düğümleri yüksek işlem kapasitesine sahip olup enerjilerinin büyük kısmını veri işlemede kullanırlar. Bizim kullandığımız farklı modeller sayesinde işlemcide optimal şekilde kullanılıp çokluortamlı sensör ağlarda da ağ ömrü uzatılmaktadır.

Bölüm 2'de kablosuz sensör ağların yapısı, kullanım alanları, kablosuz sensör ağ tasarımını etkileyen faktörler ve literatürde kablosuz sensör ağlarla ilgili çalışmalar verilmiştir. Bölüm 3'te doğrusal programlama anlatılmış, bölüm 4'te geliştirilen doğrusal programlama ve sıkıştırma modelleri açıklanmıştır. Bölüm 5'te elde edilen sonuçlar sunulmuş ve karşılaştırmalar yapılmıştır. Bölüm 6'da ise çalışmanın sonuçları değerlendirilmiştir.

BÖLÜM 2

2. KABLOSUZ SENSÖR AĞLAR

2.1. KSA'ların Yapısı

Kablosuz iletişim ve elektronikteki ilerlemeler ucuz, az enerji harcayan ve fonksiyonel kablosuz sensör düğümlerinin üretilmesini sağlamıştır. Sensör düğümleri veri toplama, veri işleme ve haberleşme gibi görevleri yerine getirmektedirler ve bunun sayesinde fiziksel bir olayın takip edilmesini mümkün kılmaktadırlar. Sensör düğümleri sayesinde belirli bir alandaki sıcaklık, basınç, nem, hareket gibi veriler toplanmaktadır. Farklı ortam ve alanlara dağılan ve fiziksel olayları gözlemleyen bir çok sensör düğümü ise kablosuz sensör ağlar kavramını oluşturmaktadır [3]. Temel bir KSA fiziksel bir olayı gözlemlemek amacıyla belirli bir alana yayılmış ve kablosuz olarak haberleşen yüzlerce sensör düğümünden oluşur. KSA'ların belirli bir alt yapıları, topolojileri yoktur; sensör düğümleri rastgele olarak yerleştirilmektedir. Bu yüzden KSA'lar farklı alanlarda ve değişik koşullarda çalışabilmeli ve kendi ağlarını organize edebilmelidirler. KSA'lar için bir diğer önemli nokta ise düğümlerin işbirliği içinde çalışmaları ve her düğümün işlemsel kapasiteye sahip olmasıdır.

KSA'larla ilgili çalışmalar askeri uygulamalarla başlamış ve son yıllarda KSA'larda elde edilen sonuçlar ise bir çok askeri ve sivil uygulamanın geliştirilmesini sağlamıştır [4]. KSA'lar günümüzde güvenlik, trafik kontrolü, sağlık, doğal çevre takibi, endüstriyel kontrol gibi alanlarda kullanılmaktadır [5]. Özellikle askeri alanda kolay yerleştirilme, kendi kendine organize olabilme ve hata toleransı sayesinde KSA'lar haberleşme, haber alma, keşif, hedef alma sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

KSA'ların sağladığı yarar ve kolaylıklar şu şekilde sıralanabilir:

- Eski makrosensörlerin aksine kolay kurulum, bakım ve düşük maliyete sahiptirler. Kullanabildikleri fiziksel alanlar geniş olup, yüzlerce sensörün yerleştirildiği alanlarda bazı sensörlerin bozulması tüm sistemi fazla etkilemeyeceği için bakım maliyetleri azdır.
- Sensör düğümlerinin tek başlarına kapsamları küçükte olsa yoğun olarak dağıtılmış ve işbirliği içinde çalışan düğümler sayesinde KSA'nın kapsamı genişir.
- KSA'lar herhangi bir kablolama ve enerji alt yapısı gerektirmediği için taşınabilirlikleri yüksektir.
- KSA'daki düğümlerin görevi fiziksel bir olayı takip etmek ve veri toplamaktır. Bu göz önünde bulunudurlursa KSA'lar farklı şekillerde, defalarca yeniden kullanılabilirler.
- Sensör düğümleri yaşam tehlikesi olan alanlara bırakılabilir ve çevresel faktörlerden çok fazla etkilenmeyerek sürekli çalışabildikleri için her zaman her yerde kullanılabilirler.
- KSA'larda sensörler alana yoğun bir biçimde yerleştirildiği için ağırlık hataya karşı toleransı yüksektir. Aynı olayı gözlemleyen sensör düğümlerinin aldıkları veriler birbirleri ile ilişkili olduğundan sistemin herhangi bir düğümden oluşacak hatayı düzeltme imkanı tek bir makrosensörde meydana gelecek hatayı düzeltmekten çok daha kolaydır.
- Makrosensörlerin hata vermesi sensörün bulunduğu alanda sistemin işlevini yitirmesine yol açarken, KSA'larda mikrosensör düğümlerini bir kısmı hata verse de KSA kabul edilecek düzeyde veri üretebilir.

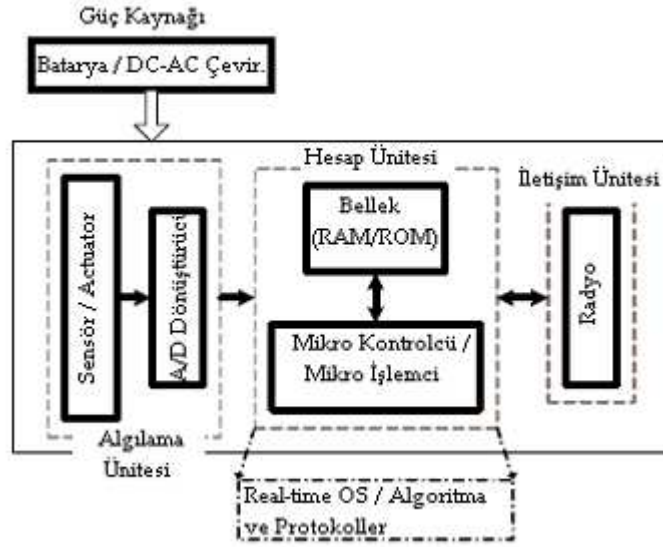
KSA'lardaki sensör düğümleri sensör birimi, radyo alıcı ve vericisi, işlem birimi ve güç kaynağı olmak üzere dört temel birimden oluşmaktadır (Şekil 2.1) [3]. Sensörlerin boyutları değişen ihtiyaçlara göre bir kibrit kutusu boyutunda veya daha küçük boyutlarda olabilir [6,7]. Temel bileşenlere ek olarak farklı uygulamalarda

kullanılabilecek yer bulma birimleri, güç jeneratörleri de içerebilirler. KSA'ların çalışma koşulları ve ortamları göz önüne alındığında bu birimlerden en kısıtlayıcı olanının güç kaynağı olduğu görülür. Çokluortam uygulamalarında kullanılan bazı sensör düğümlerin fiziksel yapısı şu şekildedir;

Panoptes[8]: Görüntülü güvenlik uygulamalarında kullanılan platformda 64MB bütünleşik bellekli Intel StrongARM 206 MHz işlemci, 640x480 çözünürlüklü bir VGA kamera, haberleşme içinse 802.11 kablosuz haberleşme kartı bulunmaktadır. Platformun üzerinde Linux işletim sistemi çalışmaktadır.

Meerkats[9]: Güvenlik ve nesne izleme uygulamalarında kullanılan platformda 400 Mhz'lik Xscale PXA255 işlemcisi, 32MB çakar bellek (Flash memory), 64MB SDRAM, 640x480 çözünürlüklü VGA kamera ve Orinoco Gold 802.11b PCMCIA kablosuz kartı bulunmaktadır. Üzerinde gömülü 2.6.19 Linux çekirdeği (Kernell) vardır.

MicrelEye[10] : Nesne tanıma uygulamalarında kullanılan platformda SoC (System on chip) işlemci çekirdeği, harici SRAM, görüntü algılayıcı ve alıcı-verici bulunmaktadır. Üzerinde ATMEL FPSLIC SoC işlemci, FPGA (programlanabilir mantık blokları), 36KB bütünleşik SRAM, 30 fps kayıt yapabilen VGA, 1MB harici CMOS RAM, LMX9820A Bluetooth alıcı-verici vardır.



Şekil 2.1 Bir algılayıcı düğümün şeması

2.2. KSA Tasarım Kısıtları

KSA'ların tasarımında hata toleransı, ölçeklenebilirlik, üretim maliyeti, donanım kısıtları, çevre kısıtları, ağ topolojisi, haberleşme ortamı ve güç tüketimi gibi bir çok faktör etkilidir. Bunları kısaca açıklarsak;

Hata toleransı: Hata toleransı ağın faaliyetlerini ağdaki sensör düğümlerinin devre dışında kalmasına rağmen sürdürebilmesidir.

Ölçeklenebilirlik: KSA kullanıldığı faaliyete göre yüzlerce hatta binlerce düğümden oluşabileceği için KSA ölçeklenebilir bir yapıda oluşturulmalıdır.

Üretim maliyeti: KSA'lar çok sayıda mikrosensör düğümlerinden oluştuğu için sensör düğümlerinin birim maliyeti ağın toplam maliyetini kabul edilebilir

düzeyleerde tutmalıdır. Mikrosensör düğümlerinin toplam maliyetleri aynı işlevi yapan makrosensörlerin maliyetlerini geçmiyecek şekilde ağ tasarımı yapılmalıdır.

Donanım kısıtları: Sensörlerin donanımları düşük maliyetli, zor şartlarda çalışabilecek, farklı ortamlara adapte edilebilecek, yüksek hacimsel yoğunlukta yerleştirildikleri ortamlarda çalışacak şekilde olmalıdır.

Çevre kısıtları: KSA'lar izlenilecek fiziksel olaya göre okyanus tabanı, çalışan bir makinenin iç kısmı, biyolojik veya kimyasal olarak kirletilmiş bir ortama yerleştirilebileceği için bakım gerektirmeden çalışabilecek bir yapıda olmalıdırlar.

Ağ topolojisi: KSA'lar yüksek hacimsel yoğunluklarda yerleştirilebildiği için kurulum ve kurulum sonrası değişiklikler göz önünde bulundurularak ağ topolojisi tasarlanmalıdır.

Güç tüketimi: KSA'lar tasarlanılırken hesaplanması gereken en önemli kıstas ise sensör düğümlerinin güç tüketimidir. Sensör düğümleri sınırlı güç kaynaklarına sahiptirler ve güç kaynaklarının yenilenmesi çoğu zaman mümkün değildir. Bu yüzden KSA'lar ömürlerinin uzun olabilmesi için güç tüketimi efektif bir şekilde ayarlanmalıdır.

KSA'ların sahip oldukları özelliklere bakarsak KSA uygulamalarında kablosuz gezgin tasarısız ağ (GTA) tekniklerinin kullanılabilceğini görürüz, fakat kablosuz tasarısız gezgin ağlar için önerilmiş bir çok teknik KSA'ların kendine has özellikleri yüzünden kullanılamamaktadır. KSA'lar ve tasarısız gezgin ağlar arasındaki temel farklılıklar ise şöyle sıralanabilir:

- KSA'lardaki sensör düğümü sayısı tasarısız gezgin ağlardaki düğüm sayısından defalarca fazla olabilir.
- Sensör düğümleri yoğun bir biçimde yerleştirilmiştir.
- Sensör düğümleri hataya yatkındırlar.
- Sensör ağların topolojisi sık değişmektedir.
- Sensör düğümleri kısıtlı güç kaynaklarına, kısıtlı bellek ve işlem kapasitesine sahiptir.
- Tasarısız gezgin ağlar noktadan noktaya haberleşme yöntemini kullanırken sensör düğümleri tümegönderim haberleşme sistemini kullanırlar.

2.3. KSA'ların kullanım alanları

KSA'lar sağladıkları bir çok avantajla günümüzdeki kablolu ağ uygulamalarına alternatif olmuş ve kablolu ağlarla yapılamayan bir çok uygulamanın gerçekleştirilmesini mümkün kılmıştır. KSA'ların genel kullanım alanları aşağıda sıralanmıştır:

Endüstriyel Otomasyon

- Süreç izleme ve kontrol
- Enerji hatlarının izlenmesi ve bütünlüğünün sağlanması
- Benzin-Gaz üretim ve taşımacılığı
- Titreşim izleme

Üretim, Depolama ve Taşımacılık

- Ürün takibi
- Trafik izleme
- Ürün yer tayini
- Güvenlik

Yapı Otomasyonu

- İzleme ve kayıt
- Güvenlik
- Işıklandırma kontrolü
- Yangın alarm sistemleri
- Akıllı evler

Çevresel Takip

- Tarım,sulama,seracılık
- Gıda Kalitesi
- Hava Durumu
- Deprem Tahmini

Sağlık

- Hastaların sağlık parametrelerini izleme (ateş, kan basıncı, nefes alma vb.)
- Yaşlıların ve özürülülerin durumlarının takibi

Askeri uygulamalar

- Gözetleme,keşif sistemleri
- Hedef alma sistemleri
- Haberleşme sistemleri.
- Kontrol ve haber alma sistemleri.

2.4. KSA'larda Yaşam Ömrü

KSA'ların günümüzde bir çok alanda kullanılması KSA'ların verimliliğini arttıracak protokollerin ve algoritmaların geliştirilmesine neden olmuştur. KSA'da meydana gelebilecek başlıca kısıtlama sensör düğümlerin güç tüketiminden dolayı KSA'nın ömrünün sensörlerin pil ömrülerine bağlı olmasıdır. KSA'larda düğümlerin yaptığı temel işlemler olan veri toplama, veri işleme ve haberleşme işlemlerinde sensör

düğümünün enerjisini en efektif şekilde kullanması gerekmektedir. KSA tasarlayanlar bu yüzden donanımda, sinyal işleme işlemleri sırasında, haberleşme ve ağ protokollerinin çeşitli aşamalarında yüksek enerji kullanımını azaltmak için çalışmalarda bulunmuşlardır. Bunun yanında sadece bireysel düğümlerin enerji tüketimini azaltmak bir KSA'nın en verimli şekilde çalışması için yeterli değildir. KSA içinde güç tüketimi dengelenmelidir, bu sayede bazı düğümlerin enerjilerinin erken tükenmesi ile ağ içinde izlenemeyen alanların oluşması engellenmiş olur.

KSA'lar gezgin tasarısız ağlardan ve diğer haberleşme yöntemlerinden farklı karakteristik özelliklere sahip olduğu için yönlendirme işlemi daha zordur. KSA'lar binlerce düğümden oluşabileceği için genel bir adresleme şeması oluşturulması mümkün değildir. Bu yüzden klasik IP-tabanlı protokoller KSA'lara uygulanamaz. Bunun yanında KSA'larda farklı bölgelerde bulunan düğümlerde toplanan veriler tipik haberleşme ağlarından farklı olarak bir alıcı istasyonunda toplanır. Ayrıca yan yana bulunan sensör düğümlerin aynı veriyi kaydetmesinde dolayı ağda toplanan verilerin oluşturduğu trafikte fazla sayıda gereksiz veri bulunabilir. KSA'lar haberleşme enerjisi, elektronik donanımın harcadığı enerji,depolama ve işlem gücü bakımından kısıtlamalara sahiptir.

Bu farklılıklar yüzünden KSA'larda yönlendirme problemini çözmeye yönelik yeni algoritmalar geliştirilmiştir. Bu yönlendirme mekanizmalarında kablosuz sensör ağların uygulama ve mimari kısıtlamaları ve sensör düğümlerinin karakteristikleri göz önünde bulundurulmuştur. Bu algoritmalar genel olarak veri-merkezli, hiyerarşik, konuma ve ağ akışına göre ya da bazı kalite servis parametrelerini sağlama amaçlıdır. Veri merkezli protokoller verilerin tanımlanması ile artık verilerin iletimini azaltma amaçlı olarak çalışır. Hiyerarşik protokollerde ise düğümlerde kümeleşme sağlanarak küme başlarının artık veriyi enerji kazancı sağlamak amacı ile azaltmasını hedefler. Konum tabanlı protokollerde ise yer bilgisinden yararlanılarak verinin en efektif biçimde istenilen yere gönderilmesi sağlanır.

KSA'larda enerjiyi verimli bir şekilde kullanarak KSA'nın ömrünü uzatmak için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan bazıları çeşitli MAC protokolleri geliştirerek [11-13], bazıları ise farklı yönlendirme algoritmaları hazırlayarak KSA'nın ömrünü uzatmaya çalışmışlardır. Varolan MAC protokollerinde esas olarak servis kalitesini sağlamak ve bant genişliğini verimli bir şekilde kullanmak amaçlanmaktadır. Bluetooth, tasarısız gezgin ağlar ve mobil diğer sistemlerde güç kaynaklarının kullanımını KSA'larda olduğu gibi büyük bir sorun oluşturmadığı için kullanılan MAC protokollerinde bu gözönüne alınmamıştır. Woo ve Culler KSA'lar için tasarlanmış CSMA tabanlı bir protokol [11], Sohrabi ve diğerleri ise yine MAC protokolleri olan SMACS ve EAR'ı [12] geliştirmişlerdir. Bu protokollerde enerji kazancı için sensör düğümü boş olduğunda sensörün geçici bir süre kapanması ve ortamı sabit aralıklarla dinleme gibi yöntemler kullanılmıştır.

KSA'ların ömrünü uzatmak için literatürde tasarlanmış bir çok yönlendirme algoritması vardır [14-16]. Sankar ve Liu [14], Madan ve Lall [15] dağıtık yönlendirme algoritmaları tasarlamış ve izlenecek en iyi yolun bulunmasını sağlamıştır. Hua ve Yum ise geometrik bilgilere dayanan bir yönlendirme algoritması tasarlamıştır. Park ve Srivastava [17], Singh ve diğerleri [18], Youssef ve diğerleri [19], Shah ve Rabaey [20] KSA'larda enerji odaklı yönlendirme protokolleri üzerine çalışmalar yapmışlardır. Bu protokollerde en iyi yollar yol üzerindeki sensör düğümlerinin enerjilerine göre seçilir. Daha uzun fakat daha çok enerjiye sahip düğümler kısa ve az enerjiye sahip düğümlere karşı tercih edilir. Yol seçiminde en az iletim enerjisinin seçildiği yöntemlerde vardır [21,22]. Bu algoritmalarda iletim enerjisini azaltmak için ortalarda yer alan düğümler tercih edilmektedir. Cristescu ve diğerleri [23], Goel ve Estrin [24] KSA'nın ömrünü uzatmak için veri kümelenmesi yöntemi ile ağda bulunan gereksiz veriyi kullanmayarak trafiği azaltma yolunu kullanmışlardır. Veri kümelenmesi yönteminde gözlenen bir durum ise elde edilen verinin tek bir yol üzerinden yönlendirilmesidir. Bu durum ise ağda bir enerji dengesizliği meydana getirmektedir, seçilen yol üzerinde olan düğümlerin enerjisi

erken biterken yol üzerinde olmayan düğümlerin enerjisi sabit kalır ve ağın enerjisinde bir dengesizlik meydana gelir. Bu dengesizliği engellemek ve trafiği ağ üzerinde dağıtmak için Sadagopan ve Krishnamachari [25], Heinzelman ve diğerleri [26] ağ akış modelleri tanımlanmıştır.

BÖLÜM 3

3. DOĞRUSAL PROGRAMLAMA (LP)

Günümüzde, işletme, ekonomi ve muhasebe dallarını en yakından ilgilendiren konulardan bir olan doğrusal programlama, aynı zamanda yöneylem araştırmasında da en önemli konulardan biridir. Doğrusal Programlama, kaynakların optimal dağılımını elde etmeye, maliyetleri minimize, karı ise maksimize etmeye yarayan bir tekniktir.

LP, optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan bir yöntemdir. 1947’de, George Dantzig, LP problemlerinin çözümünde kullanılan etkin bir yol olan Simpleks Algoritma’sını buldu ve bu buluşla birlikte doğrusal programlama, sıklıkla ve hemen hemen her sektörde kullanılmaya başlandı [27]. Özellikle bankacılık, eğitim sektörlerinde ve askeri alanda, optimizasyon problemlerinin çözümünde LP, çok defa kullanılmıştır ve kullanılmaya devam edilmektedir. LP o kadar önemlidir ki, yöneylem araştırması kitaplarının çok büyük bir kısmını tek başına kaplar.

Doğrusal programlama problemi doğrusal kısıtlara bağımlı olarak bir doğrusal fonksiyonu maksimize yada minimize etme problemi olarak tanımlanmaktadır. Temel olarak, LP, kıt kaynakların optimum şekilde dağılımını içeren deterministik bir matematiksel tekniktir.

3.1. Doğrusal Programlama Modeli

LP modelinden tutarlı sonuçların elde edilebilmesi için aşağıdaki varsayımlar sağlanmalıdır.

Doğrusallık ve Toplanabilirlik Varsayımı

Bir LP modelinin amaç fonksiyonunun karar değişkenlerinin bir doğrusal fonksiyonu olması (doğrusal olması) gerçeğinin iki gerekçesi vardır:

1. Amaç fonksiyonuna her karar değişkeninden gelen eklemeler karar değişkenlerinin değerleri ile doğru orantılıdır.
2. Bir amaç fonksiyonuna bir karar değişkeninin yaptığı katkı, diğer karar değişkenlerinin yaptığı katkıdan bağımsızdır.

LP kısıtlarının bir doğrusal eşitlik ya da doğrusal eşitsizlik olmaları gereğinin iki gerekçesi vardır:

1. Her değişkenin, her kısıtın sol tarafında yaptığı katkı, değişkenin değeriyle doğru orantılıdır.
2. Bir değişkenin herhangi bir kısıtın sol tarafına yaptığı katkı diğer değişkenlerden bağımsızdır.

Bir LP modelinde karar değişkenleri, her iki varsayımı da sağlamak zorundadır.

Bölünebilirlik Varsayımı

Bu varsayım, her karar değişkeninin ondalıklı bir sayı olabilmesine imkan verir.

Kesinlik Varsayımı

Bu varsayım, tüm parametrelerin (amaç fonksiyonu katsayısı, sağ el tarafı ve teknolojik katsayı) kesin olarak bilinmesini öngörür. Eğer bu değerler tam olarak bilinmiyorsa, sonuç güvenilir olmayacaktır.

Bu aşamada, doğrusal programa ile ilgili doğrusal fonksiyon ve doğrusal eşitsizlik kavramlarını açıklayalım.

Tanım 1: x_1, x_2, \dots, x_n in bir fonksiyonu olan $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, sadece ve sadece bir sabitler seti ile birlikte (c_1, c_2, \dots, c_n) kullanıldığında bir doğrusal fonksiyondur.

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

Örneğin; $f(x_1, x_2) = 2x_1 + x_2$, x_1 ve x_2 nin bir doğrusal fonksiyonudur. Fakat, $f(x_1, x_2) = x_1^2x_2$ fonksiyonu x_1 ve x_2 nin bir doğrusal fonksiyonu değildir.

Tanım 2: Herhangi bir $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ doğrusal fonksiyonu ve herhangi bir b sayısı için, $f(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq b$ ve $f(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq b$ eşitsizlikleri birer doğrusal eşitsizliklerdir.

Örneğin; $2x_1 + 3x_2 \leq 3$ ve $3x_1 + x_2 \geq 3$ birer doğrusal eşitsizliktir. Fakat $x_1^2x_2 \geq 3$ bir doğrusal eşitsizlik değildir.

Tanım 3: Bir LP problemi, aşağıdakilerin gerçekleştirilmesi ile yürütülen bir optimizasyon problemidir:

1. Karar değişkenlerinin oluşturduğu bir optimizasyon problemini maksimize ya da minimize etmeye çalışır. Maksimize ya da minimize edilmeye çalışılan fonksiyona amaç fonksiyonu denir.
2. Karar değişkenlerinin değerleri bazı kısıtları sağlamalıdır. Her kısıt bir doğrusal eşitlik ya da doğrusal eşitsizlik olmalıdır.
3. Bir işaret sınırı, her değişkenle ilgili olarak belirlenmelidir. Herhangi bir x_i değişkeni için, bir işaret sınırı belirlenmelidir.

LP problemlerini daha iyi anlatmak için basit bir örnek verirsek; Fonksiyonumuz $x_1 + x_2$ kısıtlarımız ise aşağıdaki gibi olsun;

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0$$

$$x_1 + 2x_2 \leq 4$$

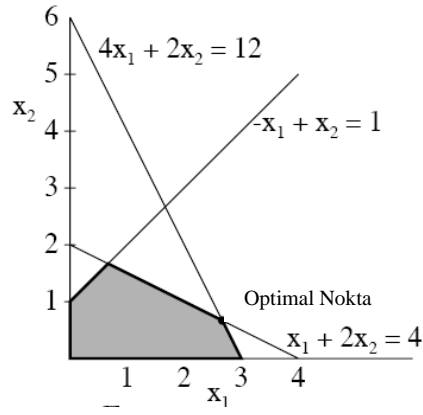
$$4x_1 + 2x_2 \leq 12$$

$$-x_1 + x_2 \leq 4$$

Amacımız $x_1 + x_2$ fonksiyonunu maksimum yapacak x_1 ve x_2 değerlerini bulmaktır. Bu problemde beş adet eşitsizliğimiz ve iki adet bilinmeyenimiz vardır. Problemimizdeki tüm kısıtlar eşitsizlikler olup doğrusaldırlar. İlk iki kısıtımız $x_1 \geq 0, x_2 \geq 0$ negatif olmama kısıtlarıdır ve LP problemlerin büyük bir kısmında bulunurlar. Kalan kısıtlara ise ana kısıtlar olarak adlandırılırlar. Problemde maksimize veya minimize edilecek fonksiyon ise amaç fonksiyonudur ve bu problemde amaç fonksiyonumuz $x_1 + x_2$ 'dir.

Bu problemde sadece iki adet değişkenimiz olduğu için problemi analitik düzlemde tüm kısıtları sağlayacak şekilde çizerek gösterebiliriz ve amaç fonksiyonumuzu maksimize edecek noktayı grafik üzerinde bulabiliriz. Her eşitsizlik kısıdı düzlem üzerinde taralı noktalardan oluşmakta, u noktaların kesişimi ise kısıt kümesini meydana getirmektedir.

Problemimizde $x_1 + x_2$ fonksiyonu eğimi -1 olan bir doğrudur ve düzlemde sağa veya sola doğru kaydırılabilir. $x_1 + x_2 = 1$ fonksiyonunu ele alırsak ve bu doğruyu orijinin üst ve sağ tarafına doğru hareket ettirirsek fonksiyonun değeri artmaya başlayacaktır bu yüzden bizim bulmamız gereken doğrunun da eğimi -1 olmalı ve kısıt kümesi içinde kalmalıdır. Bu doğru $x_1 + 2x_2 = 4$ ve $4x_1 + 2x_2 = 12$ doğrularının kesişim noktası olan $x_1 = \frac{8}{3}, x_2 = \frac{2}{3}$ değerleridir (Şekil 1).



Şekil 3.1. Doğrusal programlama probleminin grafiksel çözümü

LP problemlerinin çözümü yukarıda anlatıldığı gibi olup LP problemleri içinde standart maksimum ve standart minimum problemleri önemli bir yer tutar. Bu problemlerde değişkenlerin hepsi pozitif değerli ve kısıtların tümü eşitsizlik şeklindedir. Elimizde m boyutlu $b = (b_1, b_2, b_3, \dots, b_m)$ vektörü, n boyutlu $c = (c_1, c_2, c_3, \dots, c_n)^T$ vektörü ve reel sayılardan oluşan $A_{m \times n}$ matrisi olsun.

3.2. Standart Maksimum Problemi

$$c^T x = c_1 x_1 + \dots + c_n x_n$$

Fonksiyonunu,

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2$$

.

.

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m$$

ve

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_n \geq 0$$

Kısıtları ile maksimize edecek $x = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ vektörü bulunmalıdır.

3.3. Standart Minimum Problemi

$$b^T y = b_1 y_1 + \dots + b_n y_n$$

Fonksiyonunu,

$$a_{11}y_1 + a_{12}y_2 + \dots + a_{1n}y_n \leq c_1$$

$$a_{21}y_1 + a_{22}y_2 + \dots + a_{2n}y_n \leq c_2$$

.

.

$$a_{m1}y_1 + a_{m2}y_2 + \dots + a_{mn}y_n \leq c_m$$

ve

$$y_1 \geq 0, y_2 \geq 0, \dots, y_n \geq 0$$

Kısıtları ile minimize edecek $y = (y_1, y_2, y_3, \dots, y_n)$ vektörü bulunmalıdır.

Verilen LP tanımlarından yola çıkarak KSA'da enerjinin efektif bir şekilde kullanılması ve KSA'nın ömrünü maksimize edecek çalışmalarda LP yaygın olarak kullanılmıştır. Chang ve Tassiulas [28] LP kullanarak KSA'lardaki yönlendirme problemini modellemiştir. Bu modelle haberleşme enerjilerini ve düğüm enerjilerini kapsayan en kısa yol algoritması sunmuşlardır. Analizlerinde optimal ağ ömrüne doğrusal programlama ile ulaşıldığı görülmektedir. Ergen ve Varaiya [10] KSA ömrünü LP ve iki farklı çok atlamalı yönlendirme şeması kullanarak araştırmışlardır. Bu şemalardan birinde toplam enerji kullanımını en aza indirilmeye, diğerinde ise ağ ömrü en uzuna çıkarılmaya çalışılmıştır. Madan ve Lall [15] ise doğrusal programlama ile birlikte dağıtık bir model kullanarak KSA ömrünü en iyilimeye çalışmışlardır. Modelleri düşük algortima karmaşıklığına sahiptir ve optimal yönlendirme şemasını bularak KSA ömrünü eniyilemektedir. Cheng ve diğerleri [29] KSA'lardaki aktif nokta problemini çözmek için LP modeli oluşturmuşlardır. Modelleri ile ağ büyüklüğünün, düğüm sayısının, baz istasyonu sayısının, kümeleşmenin yaşam süresi üzerindeki etkilerini incelemiştirler. Lp ile KSA ömrünü inceleyen diğer çalışmalarda literatürde mevcuttur [30-33]. KSA'larda amaç fonksiyonu olarak sensör düğümlerinin ömürleri ve kısıt olarakta sensör düğümlerinin enerji denklemleri kullanılarak Doğrusal programlar tanımlanmış ve akış optimizasyonları ile maksimum ömre ulaşmaya çalışılmıştır.

BÖLÜM 4

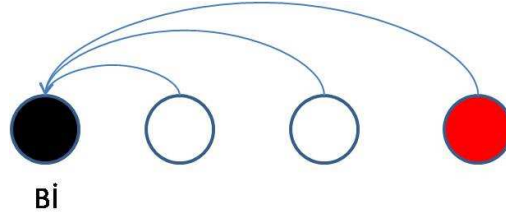
4. KABLOSUZ AĞLARDA YAŞAM SÜRESİ EN İYİLEMESİ

4.1. Kablosuz Ağlarda Aktif Nokta Problemi

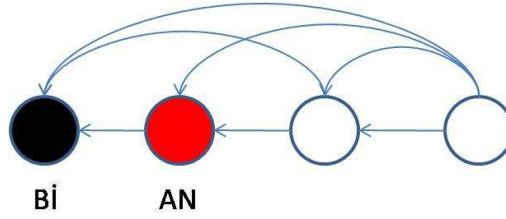
Literatürde yapılan çalışmalar göstermiştir ki kablosuz ağlarda iletişim kanalının özelliğine bağlı olarak kaynak ve alıcı arasında çok atlamalı yönlendirme direkt iletimle karşılaştırıldığında enerji tasarrufu bakımından daha iyi sonuçlar vermektedir. Kullanılan enerji modellerine bağlı olarak enerji tüketimini en aza indirecek optimal bir iletim mesafesi bulunabilmektedir. GTA'larda ağ içinde kaynak ve alıcı düğümleri dağıtık olduğu için sabit bir iletim mesafesi bulunarak ağ içinde enerjinin dengeli bir biçimde kullanılması mümkün olur. Fakat KSA'lar genelde tek bir baz istasyonundan oluşup ağ içinde çoktan teke doğru bir trafik olduğundan ağ içinde alıcı etrafında aktif noktalar oluşma ve enerjinin ağda dengesiz bir şekilde tüketilme olasılığı meydana gelmektedir. Bu aktif noktalardaki düğümlerin üzerinden diğer düğümlere göre daha fazla trafik geçeceğinden enerjileri daha çabuk tükenecektir. Ağın ömrünü ağda devre dışı kalan ilk sensör düğümünün ömrü ile eşit olarak tanımlarsak [34-36], aktif nokta problemi KSA'nın ömrünün kısaltılmasına neden olacaktır.

KSA'larda yönlendirmede tek atlamalı ve çok atlamalı iletim tekniklerinin kullanıldığı bilinmektedir. Tek atlamalı iletim kullanıldığında sensör düğümler topladıkları veriyi direkt olarak baz istasyonuna iletmektedir(Şekil 4.1). Çok atlamalı yöntemde ise toplanan veri birden fazla düğümden geçerek baz istasyonuna yönlendirilmektedir(Şekil 4.2). Tek atlamalı yöntemde uzak düğümlerin daha fazla enerji kullanması gerekmektedir ve böylece enerjileri çok daha çabuk bir şekilde tüketerek KSA'nın ömrünü önemli ölçüde kısaltırlar. Çok atlamalı sistemlerde ise ağ

üzerindeki trafiğin büyük bir çoğunluğu baz istasyonuna yakın düğümlerden geçmekte ve buralarda oluşan aktif noktalar KSA'nın ömrünü sınırlar.



Şekil 4.1. KSA'larda tek atlamalı iletim akış şeması



Şekil 4.2. KSA'larda çok atlamalı iletim akış şeması

Aktif nokta probleminin çözümü için literatürde iletim enerjisinin kontrolü ve en iyi iletim menziline bulma, kümeleme protokolleri gibi çözümler önerilmiştir [30,33,37]. Huang ve diğerleri [37] iletim menzili dağılımının optimize edilmesi problemi ele almış ve alternatif stratejiler olarakta çoklu veri alıcısı ve hareketli veri alıcıları yerleştirme ile kümeleme stratejilerini incelemiştir. Heinzelman ve diğerleri [33] kümeleme tabanlı olan ve küme başlarının yönetilmesini içeren LEACH, Huang ve diğerleri [37] ise yine kümeleme tabanlı LSCS protokolleri tasarlamıştır.

4.2. Akış Optimizasyonu ve Sıkıştırma

Yapılan tez çalışmasında literatürde de geçtiği gibi KSA'nın ömrü servis dışı kalan ilk sensör düğümünün ömrü olarak kabul edilmiştir. Bunun arkasındaki düşünce ise sensör düğümlerden herhangi birinin servis dışı kalması ile KSA ile izlenen olayın bir kısmının kapsama alanı dışında kalmasıdır. Bu da KSA'larla yapılan güvenlik uygulamalarında önemli bir etkidir.

KSA'larda ağın ömrünü belirleyici olarak sensörün kullandığı iletim enerjisinin sensör düğümlerinin çalışma ve veri alma için kullandıkları enerjilerden daha etkili olduğu kabul görmektedir. Bu yüzden iletim enerjisinin en iyi şekilde kullanılması için düğümler arası trafiğin optimize edilmesi gerekmektedir.

KSA'larda kullanılan donanım her düğümün veriyi sıkıştırarak göndermesine olanak sağlayacak işlem gücüne sahiptir. Verilerin sıkıştırıldığı takdirde sensör düğümlerinin veriyi iletmede daha az enerji harcayacağı ve bu sayede ağ ömrünün uzatılacağı hesaplanmıştır. KSA'ların günümüzde görüntülü güvenlik sistemlerinde etkin bir biçimde kullanıldığı düşünülürse, sensör düğümlerinin topladıkları ve ilettikleri verilerin büyük boyutlarda olduğu bir gerçektir. Bu yüzden sıkıştırma işlemi ile verilerin boyutları azaltılıp daha az enerji ile gönderilmesi mümkündür.

Yapılan çalışmada farklı ağ topolojileri ele alınmış ve optimizasyon problemlerinde yaygın olarak kullanılan LP modeli ile akış optimizasyonu yapılarak enerjinin ağ içinde dengeli bir şekilde kullanılması sağlanmış, ayrıca LP modeline ek olarak veri sıkıştırma modelleri ile KSA'nın ömrünün uzatılması amaçlanmıştır. Kullanılan modeller Sıkıştırmasız Akış Optimizasyonu (NCFB), Zorunlu Sıkıştırma ve Akış Optimizasyonu (MCFB), Optimal Sıkıştırma ve Akış Optimizasyonu (OCFB), Ayarlanabilir Sıkıştırma ve Akış Optimizasyonu (TCFB) ve Dinamik Sıkıştırma ve

Akış Optimizasyonu (DCFB)'dir. Her modelde doğrusal ve dairesel dağılım topolojileri kullanılmıştır.

4.3. Enerji Modeli

Sensör düğümleri için yaygın olarak kullanılan enerji modelinde düğümün bir bit göndermesi için harcadığı enerji (4.1) ve bir bit almak için harcanan enerji (4.2) ile verilir [38].

$$P_{tx,ij} = \rho + \epsilon d_{ij}^{\alpha} \quad (4.1)$$

$$P_{rx} = \rho \quad (4.2)$$

$P_{tx,ij}$: i düğümünden j düğümünde 1 bit veri iletimi için harcanan enerji

P_{rx} : 1 bit veri almak için harcanan enerji

ρ : sensör düğümünün elektronik donanımında harcanan enerji

ϵ : alıcı-vericinin verimlilik faktörü

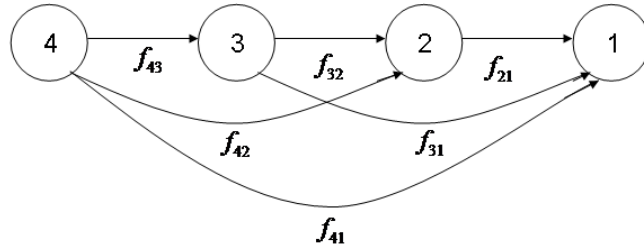
α : yol kayıp faktörü

d_{ij} : i düğümü ve j düğümü arasındaki mesafe

4.4. Kullanılan Stratejiler

4.4.1. NCFB (Sıkıştırmasız Akış Optimizasyonu)

Şekil 4.3'te üç sensör düğümlü basit bir KSA topolojisi verilmiştir. Her düğümün ortak bir enerji optimizasyonu stratejisi kullanarak harcadığı enerjiyi en aza indirmesinin ağ ömrünü en iyi duruma getirmediği kabul edilmektedir [28,29]. Düğümlerin veri akışlarını (f_{ij}) dengeleyerek ağda enerjinin dengeli bir şekilde tüketilmesinin sağlandığı ve böylece ağ ömrünün uzatıldığını belirtmiştik. Bunlar göz önüne alınarak NCFB modelinde LP ile KSA ömrünü en iyi seviyeye çıkarmaya çalışılmıştır. LP için matematiksel kısıtlar (4.3-4.5) tanımlanmış olup doğrusal ve dairesel topolojiler için değerlendirmeler yapılmıştır. İlk kısıtımız herhangi bir akışın negatif olamayacağı, ikinci kısıtımız bir düğümden çıkan ve düğüme giren akışların toplamının sıfır olacağı, üçüncü kısıtımız ise her düğümün iletim ve alım işlerinde harcadığı enerjinin kendi güç kaynağının sahip olduğu enerjiyi geçmemesi kısıtıdır. Kullanılan modelde sensör düğümlerinin enerjileri $2j$ olarak kabul edilmiştir.



Şekil 4.3. Basit bir KSA topolojisi.

Basit bir KSA topolojisi. Bir numaralı düğüm baz istasyonu olup i düğümünden j düğümüne veri akışları f_{ij} 'ler ile belirtilmiştir.

$$f_{ij} \geq 0 \quad (4.3)$$

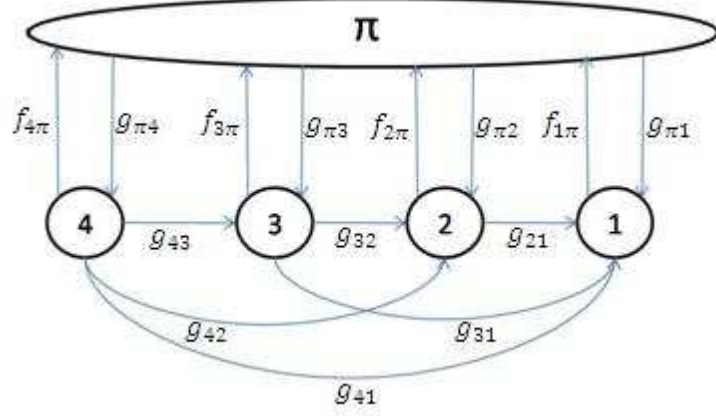
$$\sum_j f_{ij} - \sum_j f_{ji} = s_i t \quad i \in [2, N] \quad (4.4)$$

$$t \left\{ \left[P_{rx} \left(\sum_j f_{ji} \right) + P_{tx,ij} \left(\sum_j f_{ij} \right) \right] \right\} \leq e_i \quad i \in [2, N] \quad (4.5)$$

- f_{ij} i düğümünden j düğümüne sıkıştırılmamış veri akışı
- s_i birim zamanda i düğümde üretilen bit sayısı
- e_i i düğümünün enerjisi

4.4.2. MCFB (Zorunlu Sıkıştırma ve Akış Optimizasyonu)

Veri kümeleme KSA'ların ömürlerinin uzatılması için yapılan çalışmalarda her zaman üzerinde durulmuş bir konu olmuştur fakat çokluortamlı KSA'larda verilerin sıkıştırılarak gönderilmesi de en iyi ağ ömrünü sağlamakta önemli bir etken olmaktadır [39,40]. NCFB'de kullanılan modele sıkıştırma parametreleri ekleyerek ve sıkıştırma işlemini her düğüm için zorunlu tutarak MCFB modeli oluşturulmuştur. MCFB'de her düğüm kaydettiği veriyi sıkıştırır ve buna ek olarak akış optimizasyonu ile ağ ömrünün iyileştirilmesi amaçlanır. Sıkıştırma işlemi için sanal düğümler oluşturulmuştur. Sıkıştırma işlemi pratikte düğümün kendisi tarafından yapılırken, modelleme de kolaylık sağlamak açısından bu işlem sanal düğümler tarafından yapılmaktadır (Şekil 4.4). Her düğüm veri iletiminden önce verisini sıkıştırma düğümüne gönderir ve sıkıştırılmış veriyi alır. Sıkıştırılmış veriler ile ağ ömrünü arttırmak için düğümler arası akış optimizasyonu yapılır. MCFB için akış grafiği şekilde verilmiş ve LP kısıtları (4.6-4.9) tanımlanmıştır. Birinci ve ikinci kısıtlarımız NCFB'deki ilk iki kısıtın sıkıştırılmış akışlar için düzenlenmiş halidir. Üçüncü kısıtımız ham veriyi sıkıştırmak için kullanılmaktadır, dördüncü kısıtımız ise sıkıştırma, alım ve iletim işlemleri için harcanan enerjiyi tanımlar.



Şekil 4.4. MCFB modeli için düğümlerin akış şeması. Dört adet sensör düğümü ve sıkıştırma işlemi için kullanılan sanal sıkıştırma düğümü (π) görülmektedir.

$$g_{ij} \geq 0 \quad (4.6)$$

$$\sum_j g_{ij} - \sum_j g_{ji} - g_{i\pi} = 0 \quad i \in [2, N] \quad (4.7)$$

$$g_{i\pi} = \gamma f_{i\pi} \quad i \in [2, N] \quad (4.8)$$

$$t \left\{ P_{cp} f_{i\pi} + \left[P_{rx} \left(\sum_j g_{ji} \right) + P_{tx,ij} \left(\sum_j g_{ij} \right) \right] \right\} \leq e_i \quad i \in [2, N] \quad (4.9)$$

g_{ij} i düğümünden j düğümüne sıkıştırılmış veri akışı

$g_{i\pi}$ sanal düğümden gelen sıkıştırılmış veri akışı

$f_{i\pi}$ sanal düğüme giden ham veri akışı

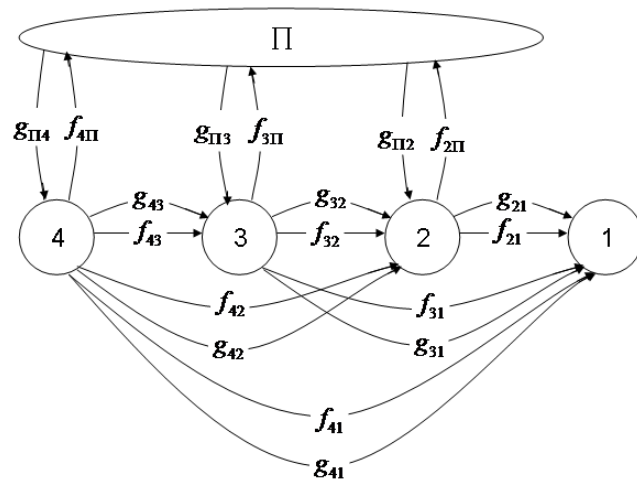
γ sıkıştırma katsayısı

P_{cp} bir bit veriyi sıkıştırmak için harcanan enerji

4.4.3. OCFB (Optimal Sıkıştırma ve Akış Optimizasyonu)

Düğümelerin hepsinde zorunlu olarak sıkıştırma yapıldığında sıkıştırma için harcanan enerji KSA'nın ömrünü belirleyici etkiye sahiptir. Sıkıştırma enerjisinin yüksek olması KSA'nın ömrünü önemli ölçüde azaltmaktadır. Bu yüzden düğümelerin, sıkıştırma yapmadan önce iletim için harcanan enerji ile sıkıştırma yapıldığı durumda harcanan toplam enerji arasında KSA'nın ömrünü maksimize edecek şekilde seçim yapması gereklidir. Optimal sıkıştırma ve akış optimizasyonunda, LP modeline sıkıştırma için (4.12, 4.13) denklemleri eklenmiş ve enerji denklemi (4.14) yenilenmiştir. MCFB'den farklı olarak düğümler KSA'nın ömrünü maksimum hale getirmek için veriyi sıkıştırarak veya sıkıştırmadan yollayabilirler. Şekil 4.5'te görüldüğü gibi sıkıştırma işlemi yine sanal bir düğümde yapılmaktadır ve düğümler arasında hem sıkıştırılmamış hem de sıkıştırılmış akışlar bulunmaktadır.

Doğrusal programlamada kullandığımız ilk kısıt ham ve sıkıştırılmış akışların negatif olamayacağını, ikinci ve üçüncü kısıtlar bir düğüme gelen ve giden akışların korunacağını, dördüncü kısıtımız sıkıştırma işlemi, beşinci kısıtımız ise düğümde kullanılacak enerjiyi belirten kısıtlardır.



Şekil 4.5. OCFB modeli için düğümlerin akış şeması. Dört adet sensör düğümü ve sıkıştırma işlemi için kullanılan sanal sıkıştırma düğümü (π) görülmektedir.

$$f_{ij} \geq 0, g_{ij} \geq 0 \quad (4.10)$$

$$\sum_j f_{ij} - \sum_j f_{ji} - f_{i\pi} = s_i t \quad i \in [2, N] \quad (4.11)$$

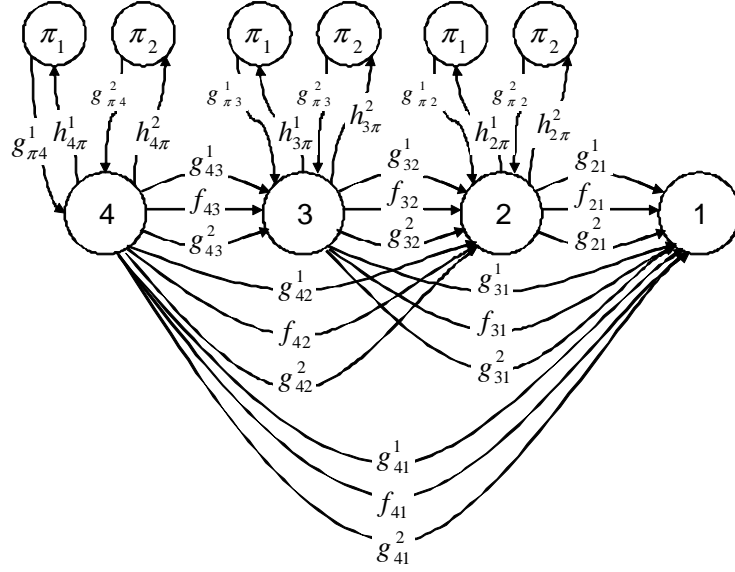
$$\sum_j g_{ij} - \sum_j g_{ji} - g_{\bar{i}} = 0 \quad i \in [2, N] \quad (4.12)$$

$$g_{\bar{i}} = \mathcal{V}_{i\pi} \quad i \in [2, N] \quad (4.13)$$

$$t \left\{ P_{cp} f_{i\pi} + \left[P_{rx} \left(\sum_j f_{ji} + g_{ji} \right) + P_{tx,ij} \left(\sum_j f_{ij} + g_{ij} \right) \right] \right\} \leq e_i \quad i \in [2, N] \quad (4.14)$$

4.4.4. TCFB (Ayarlanabilir Sıkıştırma ve Akış Optmizasyonu)

OCFB modelinde tek bir sıkıştırma seviyesi kullanılırken, TCFB modelinde birden fazla sıkıştırma seviyesi kullanılmıştır. Sanal düğümler TCFB modelinde sıkıştırma seviyesi kadar arttırılmıştır (Sekil 4.6). Her sanal düğümden kullanılan sıkıştırma faktörü farklıdır. OCFB’de olduğu gibi TCFB’de de düğümler KSA’nın ömrünü maksimize etmek için veriyi seçilen bir seviyede sıkıştırarak veya sıkıştırmadan yollayabilirler. Sıkıştırılma yapıldıktan sonra veri baz istasyonuna kadar bir daha sıkıştırmaya uğramadan gönderilir. OCFB’de kullandığımız doğrusal programlama modelinin kısıtları değiştirilerek farklı sıkıştırma seviyeleri oluşturulmuş ve enerji denklemleri yenilenmiştir (4.15-4.19). Farklı sıkıştırma seviyeleri kısıtlarda üssel biçimde belirtilmiştir (Ör: g^k).



Şekil 4.6. TCFB modeli için düğümlerin akış şeması. Dört adet sensör düğümü ve farklı sıkıştırma seviyeleri için kullanılan sanal sıkıştırma düğümleri (π_1, π_2) görülmektedir.

$$f_{ij} \geq 0, g_{ij}^k \geq 0 \quad k \in [1, N] \quad (4.15)$$

$$\sum_j f_{ij} - \sum_j f_{ji} - \sum_k h_{i\pi}^k = s_i t \quad i \in [2, N] \quad (4.16)$$

$$\sum_j g_{ij}^k - \sum_j g_{ji}^k - g_{\bar{m}}^k = 0 \quad i \in [2, N] \quad (4.17)$$

$$g_{\bar{m}}^k = \gamma_k h_{i\pi}^k \quad i \in [2, N] \quad (4.18)$$

$$t \left\{ \sum_k P_{cp} h_{i\pi}^k + \left[P_{rx} \sum_j \left(f_{ji} + \sum_k g_{ji}^k \right) + \sum_j P_{tx,ij} \left(f_{ij} + \sum_k g_{ji}^k \right) \right] \right\} \leq e_i \quad i \in [2, N] \quad (4.19)$$

g_{ij}^k i düğümünden j düğümüne k seviyeli sıkıştırılmış veri akışı

$h_{i\pi}^k$ i düğümünden k seviyeli π düğümüne sıkıştırılmamış veri akışı

γ_k k seviyeli sıkıştırma katsayısı

π_i sanal sıkıştırma düğümü

TCFB’de KSA’nın ömrünü maksimize etmek için her düğümde yapılabilecekleri sıralarsak;

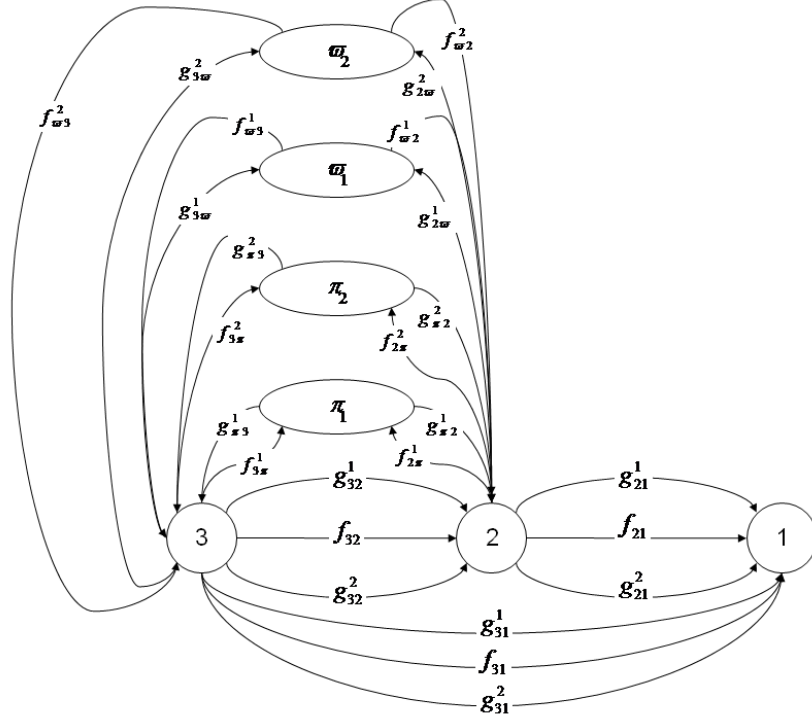
- Ham veri birden çok parçaya ayrılıp farklı sıkıştırma seviyeleri ile sıkıştırılabilir.
- Ham verinin tümü tek bir sıkıştırma seviyesi kullanılarak sıkıştırılabilir.
- Verinin bir kısmı sıkıştırılarak, bir kısmı ise sıkıştırılmadan gönderilebilir.
- Verinin tamamı sıkıştırılmadan gönderilebilir
- Ham veri ve sıkıştırılmış veri doğrudan baz istasyonuna gönderilebilir veya ara düğümler üzerinden yönlendirilerek baz istasyonun gönderilir.

Sensör düğümlerinde bu şartlardan herhangi biri yada birden fazlası birleştirilerek kullanılır ve KSA’nın ömrü maksimize edilmeye çalışılır.

4.4.5. DCFB (Dinamik Sıkıştırma ve Akış Optimizasyonu)

TCFB modelinde sıkıştırılan veriler baz istasyonuna kadar herhangi bir değişikliğe uğramadan sıkıştırılmış biçimde gitmektedirler. Sıkıştırılmış akıştan sıkıştırılmamış akışa bir geçiş yoktur. DCFB modelinde ise sıkıştırılmış akışları sıkıştırılmamış hale getirmek için sıkıştırmayı açma sanal düğümleri eklenmiştir (Şekil 4.7). DCFB modelinde TCFB’de olduğu gibi çok seviyeli sıkıştırma yapmak için birden fazla sanal sıkıştırma düğümü kullanılmış ve her sıkıştırma seviyesi için bir adet sıkıştırmayı açma sanal düğümü modele eklenmiştir. Sıkıştırmayı açma düğümleri kullanılarak her düğümde diğer düğümlerden gelen veri açılabilir. Veriyi baz istasyonuna en az enerji kullanarak iletmek için en iyi seçeneğin, gerekirse sıkıştırmayı açma düğümlerini de kullanarak, bulunması sağlanmıştır. DCFB için

kullanılmış LP kısıtları 4.20-4.25’de verilmiştir. Farklı sıkıştırma seviyeleri kısıtlarda üssel biçimde belirtilmiştir (Ör: g^k, f^k).



Şekil 4.7. DCFB modeli için düğümlerin akış şeması. Dört adet sensör düğümü, farklı sıkıştırma seviyeleri için kullanılan sanal sıkıştırma düğümleri (π_1, π_2) ve sıkıştırmayı açma düğümleri (ω_1, ω_2) görülmektedir.

$$f_{ij} \geq 0, \quad f_{ij}^k \geq 0, \quad g_{ij}^k \geq 0 \quad k \in [1, N] \quad (4.20)$$

$$\sum_j f_{ij} - \sum_j f_{ji} + \sum_k f_{i\pi}^k - \sum_k f_{\omega}^k = s_i t \quad i \in [2, N] \quad (4.21)$$

$$\sum_j g_{ij}^k - \sum_j g_{ji}^k + g_{i\omega}^k = g_{\bar{i}}^k \quad i \in [2, N] \quad (4.22)$$

$$g_{\bar{i}}^k = \gamma_k f_{i\pi}^k \quad i \in [2, N] \quad (4.23)$$

$$f_{\omega}^k = \frac{1}{\gamma_k} g_{i\omega}^k \quad i \in [2, N] \quad (4.24)$$

$$t \left\{ \sum_k P_{cp}^k f_{i\pi}^k + \sum_k P_{dc}^k g_{i\omega}^k + \left[P_{rx} \sum_j (f_{ji} + \sum_k g_{ji}^k) + \sum_j P_{tx,ij} (f_{ij} + \sum_k g_{ij}^k) \right] \right\} \leq e_i, \quad i \in [2, N] \quad (4.25)$$

P_{dc} sıkıştırılmış bir bit veriyi açmak için harcanan enerji

ω_i sanal sıkıştırmayı açma düğümü

BÖLÜM 5

5. NÜMERİK ANALİZ VE DEĞERLENDİRMELER

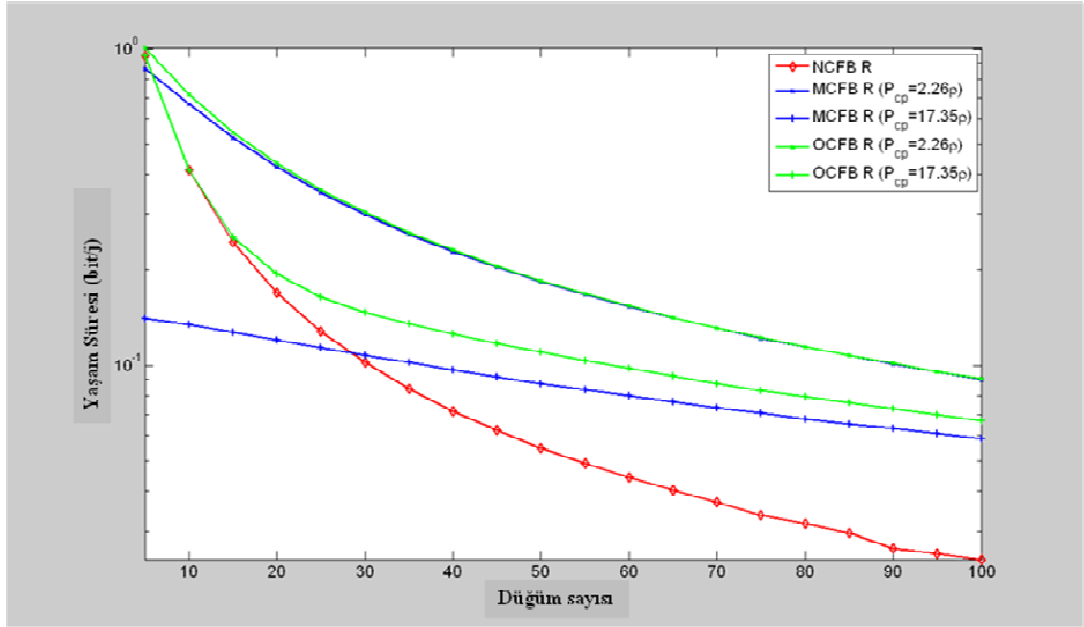
Yapılan nümerik analizlerde N adet sensör ve bir adet baz istasyon düğümü içeren doğrusal ve dairesel ağ topolojileri incelenmiştir. Modelimizde her i düğümü birim zamanda s_i birim ham veri üretmektedir. MCFB, OCFB, TCFB analizlerinde sıkıştırma işlemleri için sanal düğümler kullanılarak her düğümde verinin boyutunun küçültülmesi ve enerji kullanımının optimize edilmesi sağlanmıştır. MCFB ve OCFB’de tek seviyeli sıkıştırma kullanılmıştır. TCFB’de ise şekil 4.6’da da görüldüğü gibi çok seviyeli sıkıştırma kullanılmıştır. TCFB’de sanal π_1 düğümünde γ_1 sıkıştırma faktörü ve P_{cp}^1 sıkıştırma enerjisi kullanarak g_{ij}^1 akışı, π_2 düğümünde γ_2 sıkıştırma faktörü ve P_{cp}^2 sıkıştırma enerjisi kullanarak g_{ij}^2 akışları oluşturulmaktadır. Şekilde kolaylık sağlama açısından iki farklı sıkıştırma seviyesi gösterilmiş fakat TCFB’de kullanılan LP modeli sayesinde istenilen sayıda farklı akış oluşturulması mümkün olmaktadır.

Çizelge 5.1 Yapılan analizlerin şeması

Kullanılan Strateji	Dağılım modeli	Düğüm Arası Mesafe	Sıkıştırma Seviyesi
NCFB, MCFB, OCFB	Doğrusal	10	Tek seviyeli
NCFB, MCFB, OCFB	Dairesel	100 ve 500m ² alanlı düğümler	Tek seviyeli
NCFB, MCFB, TCFB	Doğrusal	10	Çok seviyeli
NCFB, MCFB, TCFB	Dairesel	500m ² alanlı düğümler	Çok Seviyeli

5.1. Doğrusal topolojide tek seviyeli sıkıştırma

Sistem parametreleri olarak $\rho = 50\mu\text{J}$, $\varepsilon = 100\text{pJ}$, $\alpha = 2$ [38] seçilmiştir. Doğrusal topolojide N adet sensör düğümü eşit aralıklarla yerleştirilmiş ve baz istasyonu oluşan doğrunun sonunda yer almıştır. Kullanılan doğrusal topoloji sayesinde ağ büyüklüğünün, düğüm sayısının ve kullanılan sıkıştırma enerjisi seviyelerinin KSA'nın ömrü üzerindeki etkisini gözlemlemek kolay olmaktadır.



Şekil 5.1. Doğrusal topolojide OCFB, MCFB, NCFB modellerinin KSA'daki düğüm sayısına karşı normalize edilmiş yaşam süreleri

Şekil 5.1'de 10 m aralıklarla yerleştirilmiş sensör düğümlerinin düğüm sayısına karşı normalize edilmiş ağ ömrü süreleri verilmiştir. Nümerik analizlerde NCFB, MCFB ve OCFB modelleri ve iki farklı sıkıştırma enerjisi kullanılmıştır. Sıkıştırma enerjisinin ağ ömrünü nasıl etkilediğini gözlemlemek için enerji seviyelerinden biri düşük (2.26p) diğeri yüksek (17.35p) seçilmiştir. Normalizasyon ise bütün verileri en

iyi KSA ömrünün elde edildiği 7.89×10^7 bits/J ($P_{cp} = 2.26\rho$ enerjisinin kullanıldığı ve 5 sensör düğümüne sahip OCFB modeli ile elde edilmiştir) değerine bölerek yapılmıştır. Bütün modellerde sensör düğüm sayısının artması ile KSA ömrünün azaldığı gözlemlenmektedir. Örneğin 5 düğümlü KSA'da OCFB($P_{cp} = 2.26\rho$) ve NCFB'nin normalize edilmiş ağ ömürleri 1 ve 0.946055 olurken; 50 düğümlü bir ağda 0.185263 ve 0.054962; 100 düğümlü bir ağda ise 0.090788 ve 0.02443 olmaktadır. OCFB($P_{cp} = 17.35\rho$), MCFB($P_{cp} = 2.26\rho$) ve MCFB($P_{cp} = 17.35\rho$) için normalize ağ ömürleri ise sırası ile 5 düğümlü KSA'da 0.946055, 0.864815, 0.140596; 50 düğümlü KSA'da 0.110109, 0.183805, 0.087744 ve 100 düğümlü KSA'da 0.067073, 0.090547, 0.058823 olduğu görülmüştür.

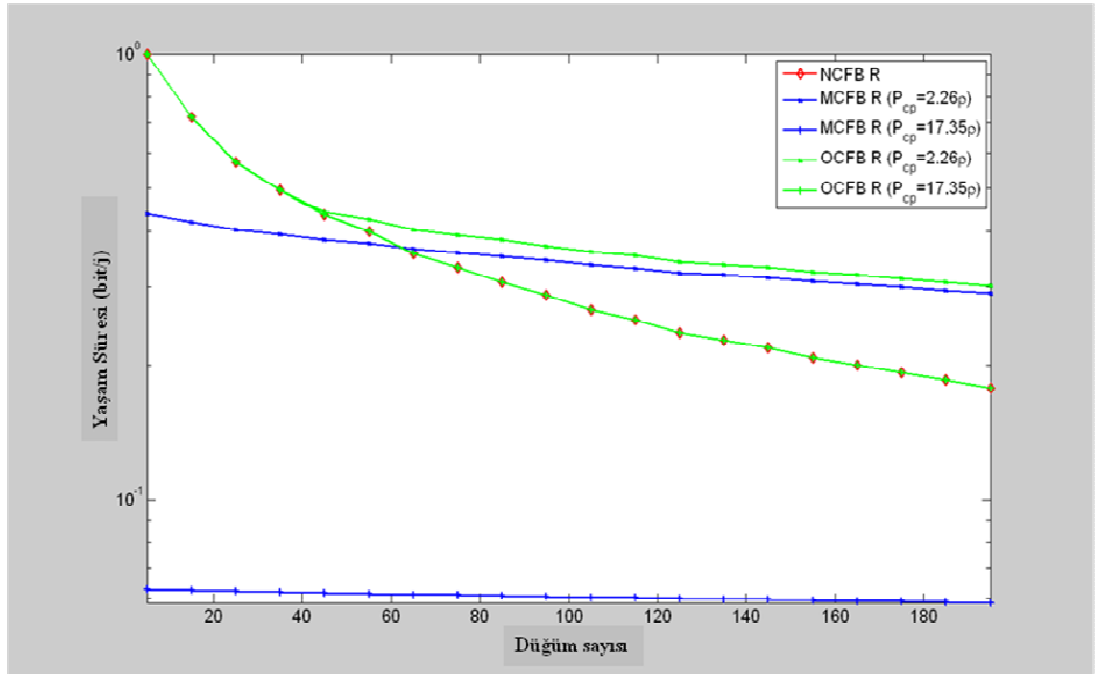
OCFB modeli tüm durumlarda NCFB modeline ve aynı sıkıştırma enerjisi kullanıldığında MCFB modeline göre daha fazla bir KSA ömrü sağlamaktadır. OCFB($P_{cp} = 2.26\rho$) en fazla KSA ömrünü sağlarken bu 5 düğümlü KSA'da NCFB modeline göre %5.7, 50 düğümlü KSA'da %237, 100 düğümlü KSA'da ise %271 daha uzun bir ağ ömrüdür. OCFB($P_{cp} = 17.35\rho$) ise NCFB'den ve MCFB($P_{cp} = 17.35\rho$)'den daha iyi bir ağ ömrü vermektedir. MCFB($P_{cp} = 17.35\rho$) ağdaki sensör sayısı 25 olana kadar NCFB'ye göre daha az bir ağ ömrü verirken, bu yüksek sıkıştırma enerjisinin sensör sayısı 25'ten küçük iken ağ ömrünü kısalttığını göstermektedir. 25 sensörden daha büyük KSA'larda ise sıkıştırma ağ ömrünü uzatmaktadır. OCFB($P_{cp} = 17.35\rho$) ise 25 düğümden az sensör düğümüne sahip KSA'larda sıkıştırma yapmayarak NCFB ve MCFB($P_{cp} = 17.35\rho$)'ya göre tüm ağ büyüklüklerinde daha iyi sonuç vermektedir.

OCFB ve MCFB'nin sağladığı KSA ömürleri sıkıştırma enerjisi azalınca çok az bir farklılık göstermektedir. 5,15 ve 25 düğümlü KSA'larda OCFB($P_{cp} = 2.26\rho$) MCFB($P_{cp} = 2.26\rho$)'ye göre %15.6, %6.8, %4.3 daha uzun ağ ömrü sağlasa da

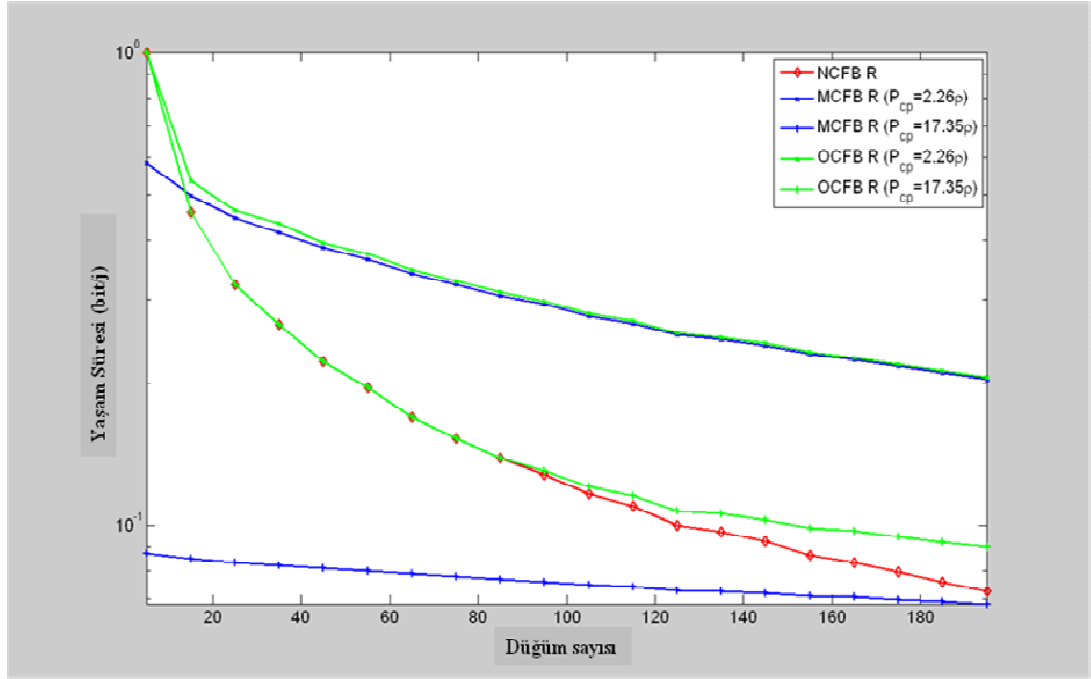
düğüm sayısı arttıkça ağ ömürleri birbirlerine yaklaşmaktadır. Yüksek düğüm sayılarında ağ ömürlerinin yakın olmasının nedeni ise, büyük KSA'larda düşük sıkıştırılma enerjisinin kullanıldığı durumlarda tüm verilerin sıkıştırılarak gönderilmesinden kaynaklanmaktadır.

5.2. Dairesel topolojide tek seviyeli sıkıştırma

Dairesel topolojide de doğrusal topolojide olduğu gibi homojen bir dağılım kullanılmıştır. Sensör düğümleri bir dairenin içine her komşu düğüm birbirinden eşit uzaklıkta ve baz istasyonu ortada olacak biçimde yerleştirilmektedir. Bu dağılımı sağlamak için [41]'de verilen kapalı bir dairenin içine yine dairesel olan ve alanları belli N düğümü en iyi şekilde yerleştiren model kullanılmıştır. Sensör düğümlerin alanları 100m^2 ve 500m^2 olarak seçilmiştir.



Şekil 5.2. Dairesel topolojide OCFB, MCFB, NCFB modellerinin KSA'daki düğüm sayısına karşı normalize edilmiş yaşam süreleri. Düğümlerin kapsama alanları 100m^2 'dir.



Şekil 5.3. Dairesel topolojide OCFB, MCFB, NCFB modellerinin KSA'daki düğüm sayısına karşı normalize edilmiş yaşam süreleri. Düğümlerin kapsama alanları $500m^2$ 'dir.

Sekil 5.2'de $100m^2$ alanlı, şekil 5.3'te ise $500m^2$ alanlı sensör düğümleri için düğüm sayısına karşı normalize edilmiş ağ ömürleri NCFB, MCFB ve OCFB stratejileri ve iki farklı sıkıştırma seviyesi için verilmiştir. Normalizasyon işlemi bütün verileri en iyi KSA ömrünün elde edildiği; $500m^2$ alanlı sensör düğümler için 1.8×10^8 bits/J ($P_{cp} = 2.26\rho$ enerjisinin kullanıldığı ve 5 sensör düğümüne sahip OCFB modeli ile elde edilmiştir); $500m^2$ alanlı sensör düğümler için ise 1.29×10^7 bits/J ($P_{cp} = 2.26\rho$ enerjisinin kullanıldığı ve 5 sensör düğümüne sahip OCFB modeli ile elde edilmiştir) değerlerine bölerek yapılmıştır. Dairesel topolojinin sensör dağılımının aynı düğüm aralığına sahip doğrusal topolojiye göre daha avantajlı olmasından dolayı 5 düğümlü ağda dairesel topolojide doğrusal topolojinin 2.28 katı bir ağ ömrüne ulaşılmaktadır.

Dairesel topolojide de doğrusalda olduğu gibi düğüm sayısı arttıkça KSA ömrü azalmaktadır. Örneğin şekil 5.2'de 5 düğümlü KSA'da OCFB($P_{cp} = 2.26\rho$) ve

NCFB'nin normalize edilmiş ağ ömürleri 1 olurken; 100 düğümlü bir ağda 0.370727 ve 0.287029; 200 düğümlü bir ağda ise 0.302178 ve 0.177661 olmaktadır. $OCFB(P_{cp} = 17.35\rho)$, $MCFB(P_{cp} = 2.26\rho)$ ve $MCFB(P_{cp} = 17.35\rho)$ için normalize ağ ömürleri ise sırası ile 5 düğümlü KSA'da 1, 0.437167, 0.062927; 100 düğümlü KSA'da 0.287029, 0.343826, 0.06056 ve 200 düğümlü KSA'da 0.177676, 0.290317, 0.058656 olduğu görülmüştür.

Şekil 5.2'de $OCFB(P_{cp} = 17.35\rho)$ NCFB ile aynı KSA ömrünü verirken, $MCFB(P_{cp} = 17.35\rho)$ NCFB ve $OCFB$ 'ye göre çok daha kısa ağ ömrüne sahiptir. Ayrıca $MCFB(P_{cp} = 2.26\rho)$ 60 sensör düğümüne kadar NCFB'den kısa az ağ ömrüne sahip olup, daha büyük KSA'larda NCFB'den daha uzun ağ ömrüne ulaşmaktadır. $MCFB(P_{cp} = 2.26\rho)$, $OCFB(P_{cp} = 2.26\rho)$ ve NCFB eğrilerinden görüldüğü üzere KSA'larda 50 düğüme kadar sıkıştırma yapmadan 50 düğüm üzerinde ise sıkıştırma yaparak veriler gönderilirse daha uzun ağ ömürleri sağlanmaktadır. En iyi ağ ömrüne $OCFB(P_{cp} = 2.26\rho)$ ile ulaşılmakta olup bu 5 düğümlü KSA'da NCFB ile aynı, 100 düğümlü KSA'da NCFB'ye göre %29, 200 düğümlü KSA'da ise %70 daha uzun bir ağ ömrü vermektedir.

Şekil 5.2'deki $100m^2$ kapsama alanlı ve şekil 5.3'teki $500m^2$ kapsama alanlı sensör düğümlerinden oluşan KSA'lar karşılaştırıldığında düğümlerin kapsama alanlarının arttıkça ağ ömrünün azaldığı görülmektedir. $100m^2$ kapsama alanlı KSA'da en iyi ağ ömrü 1.8×10^8 bits/J iken bu $500m^2$ kapsama alanlı KSA'da 1.29×10^7 bits/J'a düşmektedir. Şekil 5.3'te $MCFB(P_{cp} = 2.26\rho)$ ve $OCFB(P_{cp} = 2.26\rho)$ 'nin ağ ömürlerinin birbirine yakın olduğu ve NCFB'ye göre daha uzun bir ağ ömrü sağladıkları görülmektedir. $MCFB(P_{cp} = 2.26\rho)$, $OCFB(P_{cp} = 2.26\rho)$ ve NCFB'nin normalize edilmiş ağ ömürleri 5 düğümlü KSA'da 0.584211, 1, 1; 100 düğümlü KSA'da 0.297581, 0.29299, 0.128115; 200 düğümlü KSA'da ise 0.205035, 0.203391, 0.07236 olmaktadır.

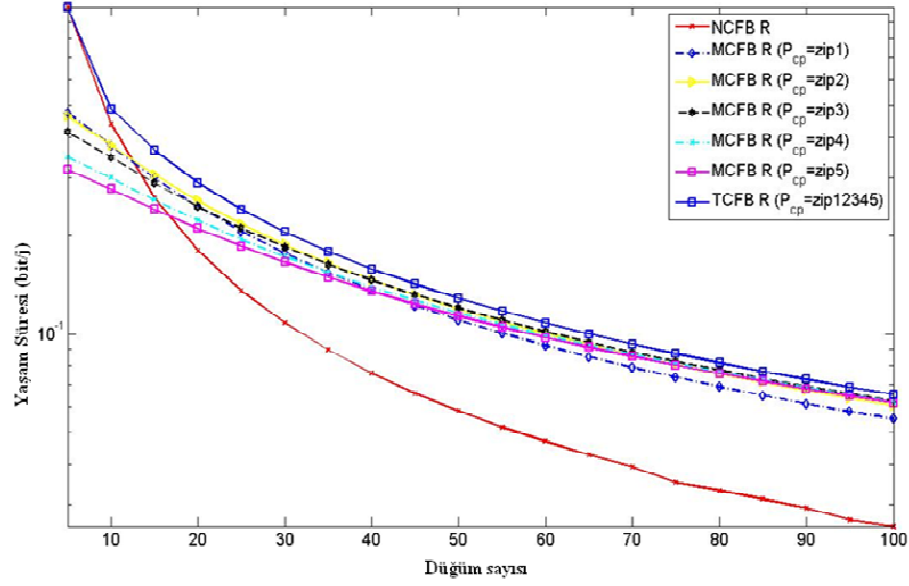
Şekil 5.3'te en iyi KSA ömrüne $OCFB(P_{cp} = 2.26\rho)$ ile ulaşıldığı görülmektedir. $MCFB(P_{cp} = 2.26\rho)$ 'nın sağladığı ağ ömrünün $OCFB(P_{cp} = 2.26\rho)$ yakın olması sensör düğümlerin birbirlerine uzaklıkları arttıkça gönderdikleri veri paketlerini sıkıştırmayı tercih etmesinden kaynaklanmaktadır. $OCFB(P_{cp} = 17.35\rho)$ 'nın ise 50 düğüme kadar NCFB ile aynı ağ ömrünü verdiği 50 düğüm üstünde ise NCFB'den daha iyi bir ağ ömrü sağladığını görülmektedir. Tüm veri paketlerinin yüksek enerji kullanılarak sıkıştırıldığı $MCFB(P_{cp} = 17.35\rho)$ 'da ise ağ ömrü NCFB'nin çok altında kalmıştır.

5.3. Doğrusal topolojide çok seviyeli sıkıştırma

Sistem parametreleri tek seviyeli sıkıştırmada da kullanılan $\rho = 50\mu J, s = 100pJ, \alpha = 2$ değerleri kullanılmıştır. TCFB modelinde diğer modellerden farklı olarak düğümlerin birden fazla sıkıştırma opsiyonu vardır. Farklı sıkıştırma seviyelerinde kullanılan sıkıştırma enerjileri için tablo 5.1'de verilen deneysel olarak elde edilmiş gzip için ayarlanabilir sıkıştırma [42] verileri kullanılmıştır.

Çizelge 5.2 Farklı sıkıştırma seviyeleri için *gzip2'de* görelî harcanan enerji. Harcanan enerji değerleri ρ 'nun katları olmaktadır.

Sıkıştırma seviyesi	Normalize edilmiş harcanan enerji	Normalize edilmiş çıktı büyüklüğü
1	1.000	0.430
2	1.06	0.385
3	1.22	0.365
4	1.50	0.355

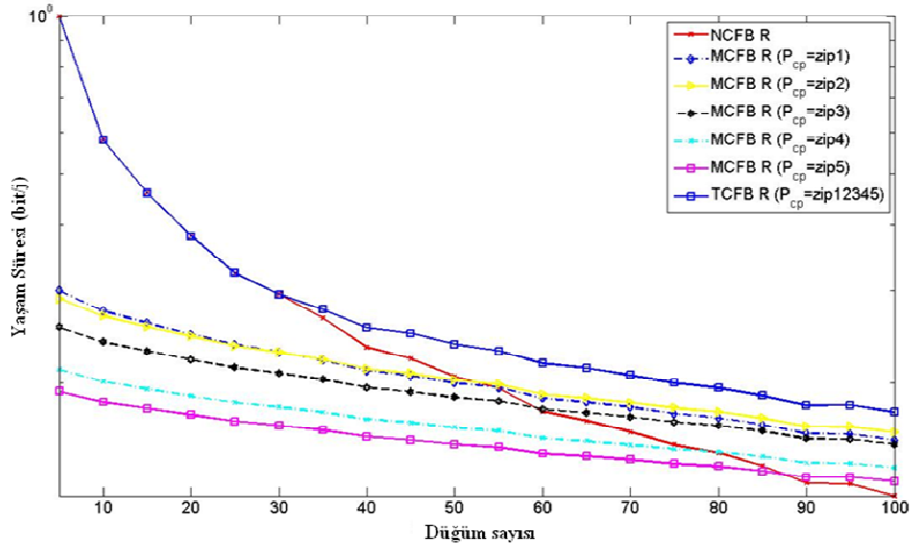


Şekil 5.4. Doğrusal topolojide TCFB,MCFB ve NCFB modellerinin KSA'daki düğüm sayısına karşı normalize edilmiş yaşam süreleri

Şekil 5.4'te 10 m aralıklarla yerleştirilmiş sensör düğümlerinin düğüm sayısına karşı normalize edilmiş ağ yaşam süreleri verilmiştir. Simulasyonda TCFB,MCFB ve NCFB modellerinin normalize edilmiş KSA ömürleri karşılaştırılmıştır. Normalizasyon işlemi tüm verileri en iyi KSA ömrü değeri olan 7.46×10^6 bits/J (5 düğümlü TCFB modeli ile elde edilmiştir) değerine bölerek yapılmıştır. TCFB en iyi ağ ömrünü sağlarken; MCFB₁, MCFB₂, MCFB₃, MCFB₄, MCFB₅ modelleri de NCFB ile karşılaştırıldığında daha uzun bir KSA ömrü sağladığı görülmektedir.TCFB, NCFB, MCFB₁, MCFB₂, MCFB₃, MCFB₄, MCFB₅'in normalize edilmiş ağ ömürleri 5 düğümlü KSA'da 1, 1, 0.473842, 0.463228, 0.413422, 0.347752, 0.317392; 50 düğümlü KSA'da 0.117293, 0.0519, 0.100345, 0.108791, 0.110052, 0.104773; 100 düğümlü KSA'da ise 0.065299, 0.025822, 0.054946, 0.06037, 0.062204, 0.061886, 0.061551 olmaktadır. TCFB modeli NCFB, MCFB₁, MCFB₂, MCFB₃, MCFB₄, MCFB₅'e göre 5 düğümlü KSA'da %132, %111, %115, %141, %187, %215; 50 düğümlü KSA'da %125, %16, %7.81, %6.58, %9.79, %11.9; 100 düğümlü bir ağda ise %152, %18.84, %8,16, %4.97, %5.51 daha uzun bir ağ ömrü sağlamaktadır.

5.4. Dairesel topolojide çok seviyeli sıkıştırma

Dairesel topolojide tek seviyeli sıkıştırmada kullanılan sensör dağılımları kullanılmış olup sensör düğümlerinin alanı 500m² seçilmiştir. Sıkıştırma parametreleri doğrusal sıkıştırmada kullanılan parametrelerdir ve farklı sıkıştırma seviyeleri için tablo 5.1’de verilen gzip kullanılmıştır.



Şekil 5.5. Dairesel topolojide TCFB, MCFB, NCFB modellerinin KSA’daki düğüm sayısına karşı normalize edilmiş yaşama süreleri. Düğümlerin kapsama alanları 500m²’dir.

Şekil 5.5’te sensör düğümlerinin düğüm sayısına karşı normalize edilmiş ağ ömrü süreleri verilmiştir. Simulasyonda TCFB, MCFB ve NCFB modellerinin normalize edilmiş KSA ömürleri karşılaştırılmıştır. Normalizasyon işlemi en iyi KSA ömrü olan 1.29×10^7 bits/J (5 düğümlü TCFB modeli ile elde edilmiştir) değeri ile yapılmıştır. TCFB en uzun ağ ömrünü sağlamaktadır. MCFB modelleri arasında en iyi ağ ömrünü veren MCFB₁ 50 düğümden küçük KSA’larda NCFB’den daha az ağ ömrü verirken 50 düğümden büyük KSA’larda ağ ömrü NCFB’ye göre artmaktadır. TCFB, NCFB, MCFB₁, MCFB₂, MCFB₃, MCFB₄, MCFB₅’in normalize edilmiş ağ ömürleri 5 düğümlü KSA’da 1, 1, 0.299358, 0.289253, 0.254955, 0.211832,

0.192278; 50 düğümlü KSA'da 0.22968, 0.194919, 0.195518, 0.19819, 0.184223, 0.16167, 0.150492; 100 düğümlü KSA'da ise 0.175389, 0.121749, 0.155395, 0.160564, 0.152691, 0.137444, 0.129538 olmaktadır. TCFB modeli NCFB, MCFB₁, MCFB₂, MCFB₃, MCFB₄, MCFB₅'e göre 5 düğümlü KSA'da % 1.59, %2.34, %2.45, %2.92, %3.72, %4.2 ; 50 düğümlü KSA'da % 17.83, %17.47, %15.88, %24.67, %42.06, %52.62; 100 düğümlü KSA'da ise % 44.05, %12.86, %9.23, %14.86, %27.6, %35.39 daha uzun ağ ömrü vermektedir.

BÖLÜM 6

6. SONUÇLAR

Kablosuz sensör ağların (KSA) çoklu ortam uygulamalarında kullanılması ile sensör düğümlerin topladıkları ve ilettikleri veri miktarları artmıştır. Veri miktarının artması ile kısıtlı enerji kaynaklarına sahip olan sensör düğümleri için veri sıkıştırma gerekli bir durum olmaktadır. Bunun yanında kablosuz ağların yapılarından meydana gelen aktif nokta problemi gibi sorunlardan dolayı kablosuz sensör ağların yaşam sürelerini uzatmak için çeşitli çözüm yolları mevcuttur. Doğrusal programlamada bu problemin çözümünde kullanılan yaygın bir yöntemdir. Bu tez çalışmasında ise doğrusal programlama, veri sıkıştırma metodu ile birleştirilerek algılayıcı düğümlerin enerjilerini verimli biçimde kullanmasını sağlayarak, KSA içinde veri trafiğinin dengeli bir biçimde dağıtılması ile KSA'nın yaşam ömrünü uzatacak yöntemler araştırılmıştır.

Bu çalışmada dört ayrı model farklı ağ topolojileri üzerinde kullanılmış olup karşılaştırmaları yapılmıştır. Yapılan çalışmada bir protokol gerçekleştirimi yapılmamıştır. İdeal şartlar altında KSA ömrünün en iyi değerlere ulaşabileceği gösterilmiştir. Pratikte ise bu ideal değerlere ulaşamayabilir, fakat yaşam ömrünün bazı durumlarda 2.5 kata kadar uzatılması sayesinde kabul edilebilir bir kazancımız olacaktır. Yaşam ömürlerinde küçük kazançlarımız olduğu durumların ise pratikte KSA ömrünü çok uzatmayacağı söylenebilir. Kullanılan modellerden birincisi Zorunlu Sıkıştırma ve Akış Optimizasyonu (MCFB) modelidir. Bu modelde düğümler verilerinin tümünü zorunlu olarak sıkıştırmakta ve sıkıştırılmış veri optimal olarak baz istasyonuna yönlendirilmektedir. İkinci model Optimal Sıkıştırma ve Akış Optimizasyonu (OCFB) modelidir. Bu modelde veriler zorunlu değil optimal olarak sıkıştırılmakta ve yönlendirilmektedir. Üçüncü yöntem olan Ayarlanabilir Sıkıştırma ve Akış Optimizasyonu (TCFB) modeli OCFB modelinin genişletilmiş bir halidir. Daha çok enerji harcanarak daha fazla veri sıkıştırma seçeneklerini

içermektedir. Dördüncü yöntem olan Dinamik Sıkıştırma ve Akış Optimizasyonu (DCFB) modeli ise verilerin değişik sıkıştırma seviyeleri arasında dinamik olarak geçişini yönlendirme işlemi ile birlikte olanaklı kılmaktadır. Yapılan testlerde hem düşük hemde yüksek enerji seviyeleri kullanarak, verileri sıkıştırmanın ve akış optimizasyonu yapmanın sadece akış optimizasyonu yapılan duruma göre (NCFB) ağ ömrünü belirgin şekilde uzattığı görülmüştür. Bunun da ötesinde sıkıştırma için harcanan enerjinin yüksekliğine göre MCFB stratejisi DCFB, TCFB ve OCFB stratejilerine göre daha düşük yaşam süresi sağlamaktadır.

Kullanılan tüm stratejilerde aynı sıkıştırma değerlerinin kullanıldığı durumlarda kesin olarak söylenememekle birlikte KSA ömrünün belirleyici olarak sıkıştırma enerjisine ve sıkıştırma oranlarına bağlı olacağı tahmini yapılmaktadır. Bu yüzden aynı sıkıştırma parametrelerinin kullanıldığı OCFB,MCFB,TCFB,DCFB modellerinde düğüm sayısı arttıkça grafiklerin birbirine yakınsayacağı öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Rahimi, M., Baer, R., Iroezi, O. I., Garcia, J. C., Warrior, J., Estrin, D., Srivastava, M., Cyclops: In Situ Image Sensing and Interpretation in Wireless Sensor Networks, in Proc. 3rd International conference on Embedded networked sensor systems (SenSys), 192 – 204, 2005.
- [2] Kerhet, A., Magno, M., Leonardi, F., Boni, A., Benini, L., A low-power wireless video sensor node for distributed object detection, Journal of Real-Time Image Processing, 2, 331-342, 2007.
- [3] Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., Cayirci, E., Wireless sensor network: a survey, Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications Networking, 51(4), 393-422, 2002.
- [4] Tavli, B., Heinzelman, W.B., Mobile Ad Hoc Networks: Energy-Efficient Real-Time Data Communication, Springer, 2006.
- [5] Akyildiz, I. F., Melodia, T., Chowdhury, R. K. A survey on wireless multimedia sensor networks, Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications Networking, 921-960, 2007.
- [6] Intanagonwiwat, C., Govindan, R., Estrin, D., Directed diffusion: a scalable and robust communication paradigm for sensor networks. Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking, 56 – 67, Boston, Massachusetts, U.S.A, 2000.
- [7] Vardhan, S., Wilczynski, M., Portie, G.J., Kaiser, W.J., Wireless integrated network sensors (WINS): distributed in situ sensing for mission and flight systems Aerospace Conference Proceedings, 7, 459 -463, 2000.
- [8] Feng, W.C., Code, B., Kaiser, E., Shea, M., Feng, W. C., Bavoil, L., Panoptes: scalable low-power video sensor networking technologies, in Proc. of the eleventh ACM international conference on Multimedia, 562 – 571, Berkeley, CA, USA, 2003.
- [9] Boice, J., Lu, X., Margi, C., Stanek, G., Zhang, G., Manduchi, R., Obraczka, K., Meerkats: A Power-Aware, Self-Managing Wireless Camera Network for Wide Area Monitoring, in Proc. Workshop on Distributed Smart Cameras (DSC), 2006.
- [10] Ergen, S. C., Varaiya, P., On multi-hop routing for energy-efficiency, IEEE Communications Letters, 9, 880-881, 2005.
- [11] Woo, A., Culler, D., A transmission control scheme for media access in sensor networks. Mobicom, Rome, Italy, 2001.
- [12] Sohrabi, K., Protocols for self-organization of a wireless sensor network, IEEE Personal Communications, 7(5), 16-27, 2000.
- [13] Clare, L., Pottie, G., Agre, J., Self-organizing distributed sensor networks, in Proc. SPIE Conf. Unattended Ground Sensor Technologies and Applications, 229–237 Orlando, U.S.A, 1999.
- [14] Sankar, A., Liu, Z., Maximum Lifetime Routing In Wireless Ad-Hoc Networks, IEEE Conference on Computer Communications , Infocom, Hong Kong, China, 2004.

- [15] Madan, R., Lall, S., Distributed Algorithms for Maximum Lifetime Routing in Wireless Sensor Networks. Global Telecommunications Conference GLOBECOM, IEEE, Dallas, Texas, U.S.A, 2004.
- [16] Hua, C., Yum, T.S.P., Optimal Routing for Maximizing Lifetime of Wireless Sensor Networks, Proc. of IEEE INFOCOM, Miami, U.S.A, 2005.
- [17] Park S.,Srivastava M., Power aware routing in sensor networks using dynamic source routing, ACM MONET Special Issue on Energy Conserving Protocols in Wireless Networks, 1999.
- [18] Singh S.,Woo M.,Raghavendra C., Power-aware routing in mobile ad hoc networks, in Proc. 4th Annual ACM/IEEE Int. Conf. Mobile Computing Networking, 1998.
- [19] Youssef M.,Younis M.,Arisha K., A Constrained Shortest-Path Energy-aware Routing for Wireless Sensor Networks, Wireless Communication and Networking Conference (WCNC), Orlando, Florida,U.S.A, 2002.
- [20] R. Shah and J. Rabaey, Energy Aware Routing for Low Energy Ad Hoc Sensor Networks, in the Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), Orlando, Florida, U.S.A, 2002.
- [21] Ettus M., System capacity, latency, and power consumption in multihop-routed SS-CDMA wireless networks, in Proc. Radio and Wireless Conf. (RAWCON), Colorado Springs, U.S.A, 55–58,1998.
- [22] Shepard T., A channel access scheme for large dense packet radio networks, in Proc. ACM SIGCOMM, Stanford, CA,U.S.A, 219–230,1996.
- [23] Cristescu, R.,Beferull-Lozano, B.,Vetterli, M. On Network Correlated Data Gathering, IEEE Infocom, Hong Kong, Mart 2004.
- [24] Goel, A.,Estrin, D., Simultaneous Optimization for Concave Costs: Single Sink Aggregation or Single Source Buy-and-Bulk, ACMSIAM Symposium on Discrete Algorithms, Baltimore, U.S.A, 2003.
- [25]Sadagopan, N., Krishnamachari, B., Maximizing Data Extraction in Energy-Limited Sensor Networks, IEEE Infocom, Hong Kong, Mart 2004.
- [26] Heinzelman, W., Kulik , J.,Balakrishnan,H., Adaptive protocols for information dissemination in wireless sensor networks, in the Proceedings of the 5th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom'99), Seattle, WA,U.S.A, 1999.
- [27]Dantzig , G.B., Linear programming, History of Mathematical Programming: A Collection of Personal Reminiscences, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 1991.
- [28]Chang,J. H.,Tassiulas, L., Maximum lifetime routing in wireless sensor networks, IEEE/ACM Transactions on Networking (TON),609 – 619, 2004.
- [29] Cheng, Z.,Perrilo, M.,Heinzelman,W. B., General network lifetime and cost models for evaluating sensor network deployment, IEEE Transactions on Mobile Computing,484-497, 2008.
- [30] Perillo, M. A.,Cheng, Z.,Heinzelman, W., An analysis of strategies for mitigating the sensor network hotspot problem. MobiQuitous,474-478, 2005.
- [31] Ozturk,O.,Chen,G., Kandemir,M. ,Karakoy, M., An Integer Linear Programming Based Approach to Simultaneous Memory Space Partitioning and Data Allocation for Chip Multiprocessors, In Proc. IEEE Computer Society Annual Symposium on VLSI 2006 (ISVLSI 2006), Karlsruhe, Germany,2006.

- [32]Gandham,R. S.,Dawande, M.,Prakash., R.,Venkatesan, S., Energy efficient schemes for wireless sensor networks with multiple mobile stations.Proceedings of IEEE Globecom ,2003.
- [33]Heinzelman,W.,Chandrakasan, A.,Balakrishnan, S., Energy-efficient communication protocols for wireless microsensor networks (LEACH), Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on Systems Science, 3005-3014,Ocak. 4-7, 2000.
- [34] Sha, K., Shi, W., Modeling the Lifetime of Wireless Sensor Networks. Technical Report MIST-TR-2004-011, Wayne State University,2004.
- [35] Bhardwaj, M., Chandrakasan, A., Bounding The Lifetime of Sensor Networks via Optimal Role Assignments, Proc. of IEEE (INFOCOM 2002), 1587-1596, New York,USA, Haziran 2002.
- [36] Bhardwaj, M., Garnett, T., Chandrakasan, A.P., Upper Bounds on the Lifetime of Sensor Networks, Communications, IEEE International Conference (ICC 2001), 785-790, 2001.
- [37]Huang, B., Hao, F.,Zhu,H.,Tanabe,Y.,Baba,T., Low-energy static clustering scheme for wireless sensor network, Proceedings of International Conference on Wireless Communications,1-4,2006.
- [38]Heinzelman,W., Chandrakasan,A.,Balakrishnan,H., An applicationspecific protocol architecture for wireless microsensor networks, IEEE Transactions on Wireless Communications,660–670, 2002.
- [39]Chiasserini, C. F., Magli, E., Energy consumption and image quality in wireless video-surveillance networks, in Proceedings of the IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 5, 2357- 2361, Lisbon, Portugal, 2002.
- [40] Barr, K.,Asanovic, K., Energy Aware Lossless Data Compression, In First International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services, Berkley, CA, 2003.
- [41] “The best known packings of equal circles in the unit circle”, erişim adresi: <http://hydra.nat.uni-magdeburg.de/packing/cci/#Overview>, erişim tarihi: 10 Mart 2008.
- [42]Yu, Y.,Krishnamachari,B., Prasanna, V. K., Data gathering with tunable compression in sensor networks, IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 276-287, 2008.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : CEYLAN, Onur
Uyruğu : T.C.
Doğum Tarihi ve Yeri : 18.09.1982
Medeni Hali : Bekar
Telefon : 0 (312) 292 4295
Faks : 0 (312) 292 40 91
e-Posta : oceylan@etu.edu.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Y. Lisans	TOBB ETÜ Bilgisayar Mühendisliği	2008
Lisans	Gazi Üniversitesi Elektrik Elektronik Müh.	2004

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2005 – 2008	TOBB ETÜ	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

YAYINLAR

- B.Tavlı and O.Ceylan, “Optimal Data Compression and Forwarding in Wireless Sensor Networks”, submitted to IEEE Communications Letters, July 2008.
- B.Tavlı and O.Ceylan, “Lifetime Optimization with Tunable Data Compression in Wireless Sensor Networks”, submitted to Computers and Electrical Engineering, June 2008.
- B.Tavlı, M.Kayaalp, O.Ceylan and I.E.Bağcı, “Data Processing and Communication Strategies for Lifetime Optimization in Wireless Sensor Networks”, submitted to AEU-International Journal of Electronics and Communications, May 2008.