

**KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARDA AĞ YAŞAM SÜRESİNİN
MATEMATİKSEL PROGRAMLAMA İLE İNCELENMESİ**

HÜSEYİN ÇOTUK

**DOKTORA TEZİ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ**

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

ARALIK 2013

ANKARA

Fen Bilimleri Enstitü onayı

Prof. Dr. Necip CAMUŞÇU
Müdür

Bu tezin Doktora derecesinin tüm gereksinimlerini sağladığını onaylarım.

Doç. Dr. Erdoğan DOĞDU
Anabilim Dalı Başkanı

HÜSEYİN ÇOTUK tarafından hazırlanan KABLOSUZ ALGILAYICI AĞ-
LARDA AĞ YAŞAM SÜRESİNİN MATEMATİKSEL PROGRAMLAMA İLE
İNCELENMESİ adlı bu tezin Doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Kemal BIÇAKCI

Birinci Tez Danışmanı

Doç. Dr. Bülent TAVLI

İkinci Tez Danışmanı

Tez Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. Hakan GÜLTEKİN

Üye : Doç. Dr. Kemal BIÇAKCI

Üye : Doç. Dr. Bülent TAVLI

Üye : Doç. Dr. Ali KARA

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.

Hüseyin ÇOTUK

Üniversitesi : TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
Enstitüsü : Fen Bilimleri
Anabilim Dalı : Bilgisayar Mühendisliği
Tez Danışmanları : Doç. Dr. Kemal BIÇAKCI
Doç. Dr. Bülent TAVLI
Tez Türü ve Tarihi : Doktora – Aralık 2013

Hüseyin ÇOTUK

KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARDA AĞ YAŞAM SÜRESİNİN MATEMATİKSEL PROGRAMLAMA İLE İNCELENMESİ

ÖZET

Üstlendikleri misyon ve tipik uygulamalarda görülen genel karakteristikleri itibarıyla kablosuz algılayıcı düğümler, genelde kısıtlı kaynaklara (kullanılacak enerji ve bant genişliği miktarı, haberleşme mesafesi, hesaplama gücü ve bellek miktarı gibi) sahiptir. Yarı iletken, ağ ve malzeme bilimi teknolojilerindeki son gelişmeler sayesinde donanım ve maliyet ile ilgili kısıtların aşılması, başlangıçtaki enerji miktarını kablosuz algılayıcı ağlarda en kritik kaynak haline getirmiştir. Dolayısıyla kablosuz algılayıcı ağlar konusunda günümüze kadar yapılan çalışmalar, enerji sarfiyatını düşürerek, başka bir deyişle enerji verimli çözümler üreterek ağ yaşam süresini arttırmak konusunda yoğunlaşmıştır. Bu çalışmada kablosuz algılayıcı ağlarda girişim ve bant genişliğinin ağ yaşam süresine etkileri incelenmiş, bant genişliği ihtiyacını belirleyen parametreler tespit edilerek belli parametreler altında optimum çözüm için gerekli minimum bant genişliği miktarı belirlenmiştir. Ayrıca, kablosuz algılayıcı ağlarda ayrık iletim gücü kontrolü yapıldığı durumda ağ yaşam süresi karakteristiği incelenmiş, farklı güç atama stratejileri kullanıldığında ağ yaşam süresinde meydana gelen etkiler mercek altına alınmıştır. Kullanılan güç atama stratejileri ağ yaşam süresi ve bant genişliği ihtiyaçları açısından birbiriyle karşılaştırılmıştır. Bu aşamada pozisyonlama hatalarının ve olasılıksal radyo yayılımının sonuçlara etkileri ayrıca ele alınmıştır. Önceki çalışmalarda yer alan algoritma tabanlı analiz veya deneysel ölçümlerden farklı olarak bu çalışmada çeşitli matematiksel programlama yöntemleri kullanılarak tasarlanan modeller sayesinde, geniş bir yelpazede büyük bir parametre kümesi ile detaylı incelemeler yapılmıştır. Alınan sonuçlar, bant genişliğinin ağ yaşam süresi üzerinde belli bir aralıkta etkili olduğunu, girişimin ihtiyaç duyulan bant genişliği miktarını arttırdığını, bant genişliği gereksiniminin bir çok ağ ve sistem parametresine

bağlı olduğunu göstermiştir. Diğer taraftan ayrık iletim gücü kontrolünün sürekli duruma kıyasla ağ yaşam süresinde azalmaya neden olduğu, iletim gücünün daha hassas ayarlanabildiği modellerde daha iyi ağ yaşam süresi elde edilirken, aynı zamanda daha fazla bant genişliğine ihtiyaç duyulduğu görülmüştür. Pozisyonlama hatalarını tolere etmek için iletim gücünün arttırılması ile, güç kontrolündeki ayırıklaştırma seviyesinden kaynaklanan enerjideki kayıpların azaldığı gözlenmiştir. Buna rağmen yüksek pozisyonlama hataları görüldüğünde bile, iletim gücünün daha hassas ayarlanabilmesi halinde daha iyi ağ yaşam süresi elde edilebildiği anlaşılmıştır. Ayrık iletim gücü kontrolünde yol kaybından kaynaklanan fazla enerji kullanımının paket alma oranını arttırması nedeniyle bazı durumlarda uygun paket alma oranı hedeflenerek sürekli durumdan daha iyi sonuçlar alınabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kablosuz algılayıcı ağlar, bant genişliği, girişim, iletim gücü kontrolü, ayrık güç seviyeleri, güç atama stratejileri, optimizasyon, matematiksel programlama, enerji verimliliği, ağ yaşam süresi.

University : TOBB University of Economics and Technology
Institute : Institute of Natural and Applied Sciences
Science Programme : Computer Engineering
Supervisors : Assoc. Prof. Kemal BIÇAKCI
Assoc. Prof. Bülent TAVLI
Degree Awarded and Date : Ph.D. – December 2013

Hüseyin ÇOTUK

**ANALYZING NETWORK LIFETIME OF WIRELESS SENSOR
NETWORKS WITH MATHEMATICAL PROGRAMMING**

ABSTRACT

According to the needs of typical applications, wireless sensor nodes are designed to be low-cost, small-sized, and energy-efficient devices. In order to satisfy these production requirements, they generally have scarce resources like energy, bandwidth, communication range, processing power, and memory. After the limitations related to cost and hardware are met by the progress on semiconductor, network, and materials technologies; energy becomes the most critical resource for Wireless Sensor Networks (WSNs). So, recent studies about WSNs concentrated on developing energy-efficient solutions to optimize network lifetime. However, most of these studies ignored the effect of finite bandwidth and discretization of transmission power on WSNs. On the other hand, there are different types of transmission power assignment strategies studied so far, and while it is evident that more fine-tuned power assignment improves network lifetime, the net impact of these strategies remains unclear. In this study, we develop novel mathematical programming frameworks which enable us not only to examine the effects of limited bandwidth and discrete transmission power control, but also to quantify the impact and make a systematic comparison of various power assignment strategies. We analyze the network bandwidth from several aspects with various system parameters. In order to obtain optimal network lifetime with specific parameters, we expose the methodology to determine the minimum amount of required bandwidth. We also investigate the effects of the granularity of power levels on energy dissipation characteristics. Different types of power assignment strategies are analyzed by using two sets of experimental data to compare the performance of these strategies in terms of network lifetime and link bandwidth. In order to see the effects of probabilistic radio propagation, widely

used log-normal shadowing path loss model is adopted into existing models. Our results show that, link bandwidth affects network lifetime within a specific range. As interference rises, the amount of required bandwidth to obtain optimum lifetime increases as well. The granularity of discrete energy consumption has a profound impact on WSN lifetime and when discretization level ascends, network lifetime generally lessens. Results expose that while more fine-grained control of transmission power improves network lifetime, it also requires much more bandwidth.

Keywords: Wireless sensor networks, bandwidth, interference, transmission power control, discrete power levels, power assignment strategies, optimization, mathematical programming, energy efficiency, network lifetime.

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren kıymetli hocalarım Doç. Dr. Kemal BIÇAKCI ve Doç. Dr. Bülent TAVLI'ya, yine önemli tecrübelerinden faydalandığım TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerinden Doç. Dr. Hakan GÜLTEKİN'e, kısmi numerik analizler için hesaplama kaynaklarından faydalandığım TÜBİTAK ULAKBİM Yüksek Başarımlı ve Grid Hesaplama Merkezi'ne, verdikleri kısmi burs ile maddi destek sağlayan TÜBİTAK BİDEB'e, araştırma görevlisi arkadaşım Davut İNCEBACAK'a, son olarak benden desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen eşim Seda'ya, anneme ve babama teşekkürü bir borç bilirim.

İçindekiler

ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
ŞEKİL LİSTESİ	xi
TABLO LİSTESİ	xii
KISALTMALAR	xiii
SEMBOL LİSTESİ	xiv
1 GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı	1
1.2 Çalışmanın Önemi	1
1.3 Problem Tanımı	1
1.4 Sınırlılıklar	1
1.5 Varsayımlar	2
1.6 Katkılar	2
2 İLGİLİ LİTERATÜR	3

3 KAVRAMSAL ÇERÇEVE	4
4 SİSTEM MODELİ	5
5 BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER	6
6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER	7
EKLER	17
A Örnek GAMS Kodu	18
B Örnek MATLAB Grafik Çizdirme Kodu	19
ÖZGEÇMİŞ	20

Şekil Listesi

Tablo Listesi

KISALTMALAR

Kısaltma	Açıklama
KAA	Kablosuz algılayıcı ağ
DSN	Ayrık algılayıcı ağlar (distributed sensor networks)
MİB	Merkezi işlem birimi (central processing unit)
ADC	Analog sayısal çevirici (analog digital converter)
PRR	Paket alma oranı (packet reception rate)
RSSI	Radyo sinyal seviyesi göstergesi (radio signal strength indicator)
LQI	Bağlantı kalite göstergesi (link quality indicator)
GPS	Yer bulma sistemi (global positioning system)
MAC	Ortam erişim kontrolü (media access control)
MP	Matematiksel programlama (mathematical programming)
DP	Doğrusal programlama (linear programming)
TP	Tamsayı programlama (integer programming)
İTP	İkili tamsayı programlama (binary integer programming)
KTP	Karma tamsayı programlama (mixed integer programming)
KTDP	Karma tamsayı doğrusal programlama (mixed integer linear programming)
HCB	İsmi kendisini tasarlayan yazarların (Heinzelman, Chandrakasan, Balakrishnan) isimlerinin baş harflerinden alan enerji modeli
LNS	Log-normal gölgeleme (log-normal shadowing)
PNM-SL	Ağ genelinde güç ataması yapılabilen tek seviyeli Mica modeli (Per Network Mica Model Single Level)
PLM-ML	Bağlantı bazında güç ataması yapılabilen çok seviyeli Mica modeli (Per Link Mica Model Multiple Level)
PNM-ML	Ağ genelinde güç ataması yapılabilen çok seviyeli Mica modeli (Per Network Mica Model Single Level)
PSM-ML	Düğüm bazında güç ataması yapılabilen çok seviyeli Mica modeli (Per Network Mica Model Single Level)
PNM-SL-PL	Ağ genelinde güç ataması yapılabilen tek seviyeli yol kayıplı Mica modeli (Per Network Mica Model Single Level)
PLM-ML-PL	Bağlantı bazında güç ataması yapılabilen çok seviyeli yol kayıplı Mica modeli (Per Link Mica Model Multiple Level)
PNM-ML-PL	Ağ genelinde güç ataması yapılabilen çok seviyeli yol kayıplı Mica modeli (Per Network Mica Model Single Level)
PSM-ML-PL	Düğüm bazında güç ataması yapılabilen çok seviyeli yol kayıplı Mica modeli (Per Network Mica Model Single Level)

SEMBOL LİSTESİ

Sembol	Açıklama
G	Düğümlerin ve veri akışlarının oluşturduğu ağı ifade eden çizge
V	Baz istasyonu dahil ağdaki düğümlerin kümesi
W	Baz istasyonu hariç ağdaki düğümlerin kümesi
A	Düğümler arasındaki veri akışlarının kümesi
t	Ağ yaşam süresi
N	Düğüm sayısı
f_{ij}	i düğümünden j düğümüne veri akışı
g_{ij}^l	i düğümünden j düğümüne l . güç seviyesinde veri akışı
s_i	Bit cinsinden i düğümünde üretilen veri miktarı
d_{int}	1-boyutlu topolojide düğümler arasındaki mesafe
d_{ij}	i ve j düğümleri arasındaki mesafe
d_{ij}^e	i ve j düğümleri arasında hesaplanan mesafe
d_{ij}^c	i ve j düğümleri arasında hesaplanmış düzeltilmiş mesafe
R_{net}	2-boyutlu topolojide ağı yayılım yüzeyinin yarıçapı
t_r	İletim menzili
ρ	Elektronik devrede harcanan enerji
ε	Vericinin verimliliği
e_i	Her düğümün bataryasında başlangıçta bulunan enerji miktarı
α	Yol kaybı katsayısı
η	En küçük ayarlanabilir enerji miktarı
P_{rx}	Bir bit almak için harcanan güç miktarı
$P_{tx}(d_{ij}), dB$	Desibel cinsinden i düğümünden j düğümüne bir bit göndermek için harcanan güç miktarı
$P_{tx}(d_{ij}), W$	Watt cinsinden i düğümünden j düğümüne bir bit göndermek için harcanan güç miktarı
E_{rx}	Bir bit almak için harcanan enerji miktarı
$E_{tx}(d_{ij})$	i düğümünden j düğümüne bir bit göndermek için harcanan enerji miktarı
E_{rx}^{C-HCB}	Sürekli HCB modelinde bir bit almak için harcanan enerji
$E_{tx}^{C-HCB}(d_{ij})$	Sürekli HCB modelinde i düğümünden j düğümüne bir bit göndermek için harcanan enerji
E_{rx}^{D-HCB}	Ayrık HCB modelinde bir bit almak için harcanan enerji
$E_{tx}^{D-HCB}(d_{ij})$	Ayrık HCB modelinde i düğümünden j düğümüne bir bit göndermek için harcanan enerji
$E_{rx}^{C-HCB-LNS}$	Yol kayıplı sürekli HCB modelinde bir bit almak için harcanan enerji
$E_{tx}^{C-HCB-LNS}(d_{ij})$	Yol kayıplı sürekli HCB modelinde i düğümünden j düğümüne bir bit göndermek için harcanan enerji

$E_{rx}^{D-HCB-LNS}$	Yol kayıplı ayrık <i>HCB</i> modelinde bir bit almak için harcanan enerji
$E_{tx}^{D-HCB-LNS}(d_{ij})$	Yol kayıplı ayrık <i>HCB</i> modelinde i düğümünden j düğümüne bir bit göndermek için harcanan enerji
S_L	Güç seviyeleri kümesi
N_L	S_L kümesinde ayrık güç seviyesi sayısı
$t_r^M(l)$	Mica modelinde l . güç seviyesindeki iletim menzili
$E_{tx}^M(l)$	Mica modelinde l . güç seviyesindeki bit başına harcanan iletim enerjisi
E_{rx}^M	Mica modelinde bir bit almak için harcanan enerji
$E_{tx}^{M-opt}(d_{ij})$	Mica modelinde optimum güç seviyesinde i düğümünden j düğümüne bir bit göndermek için kullanılan harcanan enerji
l_{min}	En küçük güç seviyesi
l_{max}	En büyük güç seviyesi
l_{PNM-SL}	Verilen <i>PNM-SL</i> modelini çözmek için kullanılan güç seviyesi
L_{PNM-ML}	<i>PNM-ML</i> modelinde mevcut güç seviyesi sayısının üst limiti
L_{PSM-ML}	<i>PSM-ML</i> modelinde mevcut güç seviyesi sayısının üst limiti
h^l	l güç seviyesinde tüm düğümler tarafından iletilen toplam veri miktarı
a^l	Karar değişkeni (h^l "0"dan farklı ise 1, değilse 0)
h_i^l	l güç seviyesinde i düğümünden çıkan toplam veri miktarı
a_i^l	Karar değişkeni (h_i^l "0"dan farklı ise 1, değilse 0)
M	Yeterince büyük bir sabit
B	Bağlantı bant genişliği
I_{jk}^i	j düğümü k düğümü ile haberleşirken i düğümü üzerinde meydana gelen ve girişimden kaynaklı veri akışı
γ	Girişim faktörü
d_0	Yol kaybı modelinde önceden belirlenmiş referans uzaklık
$PL(d_{ij}), dB$	Desibel cinsinden i düğümü ile j düğümü arasındaki yol kaybı
$PL(d_0), dB$	Desibel cinsinden referans mesafenin yol kaybı
P_n, dB	Desibel cinsinden gürültünün taban değeri
σ	Standart sapma
φ	Paket büyüklüğü
X_σ, dB	Desibel cinsinden σ standart sapmaya sahip sıfır-ortalımalı Gauss rastgele değişkeni
χ_{ij}	i düğümü ile j düğümü arasında gerçekleşen paket alma oranı
χ_{trg}	Hedeflenen paket alma oranı
$\psi(d_{ij})$	d_{ij} mesafesindeki sinyalin gürültüye oranı
λ_{ij}	i düğümü ile j düğümü arasında paketin yeniden gönderilme sayısı

e_{max}	Maksimum pozisyonlama hatası
t_{rnd}	Zamanın ağ yaşam süresi boyunca bölündüğü eşit zaman dilimi
T_b	Bir bitin iletilmesi için gerekli zaman
x	Ağ yaşam süresinin bölündüğü zaman dilimlerinden her biri
$g(i, j, x)$	x zaman diliminde i düğümünden j düğümüne veri akışını gösteren ikili değişken
$s(i, x)$	x zaman diliminde i düğümünde veri üretimini ifadeeden ikili değişken
$c(i, j, k, l)$	(i, j) ile (k, l) bağlantılarının çakışma durumunu gösteren matris
PS	Paket büyüklüğü
NP	Gönderilecek paket sayısı
NS	Zaman dilimi sayısı

1. GİRİŞ

Örnek metin

1.1 Çalışmanın Amacı

Örnek metin

1.2 Çalışmanın Önemi

Örnek metin

1.3 Problem Tanımı

Örnek metin

1.4 Sınırlılıklar

Örnek metin

1.5 Varsayımlar

Örnek metin

1.6 Katkılar

Örnek metin

2. İLGİLİ LİTERATÜR

Örnek metin

3. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Örnek metin

4. SİSTEM MODELİ

Örnek metin

5. BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER

Örnek metin

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Örnek metin

Kaynakça

- [1] Z. Cheng, M. Perillo, and W. Heinzelman, “General network lifetime and cost models for evaluating sensor network deployment strategies,” *IEEE Trans. Mobile Computing*, vol. 7, pp. 484–497, 2008.
- [2] S. Ergen and P. Varaiya, “On multi-hop routing for energy efficiency,” *IEEE Communications Letters*, vol. 9, pp. 880–881, 2005.
- [3] H. Takagi and L. Kleinrock, “Optimal transmission ranges for randomly distributed packet radio terminals,” *Communications, IEEE Transactions on*, vol. 32, no. 3, pp. 246–257, 1984.
- [4] R. Ramanathan and R. Rosales-Hain, “Topology control of multihop wireless networks using transmit power adjustment,” in *INFOCOM 2000. Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE*, vol. 2, pp. 404–413, IEEE, 2000.
- [5] V. Rodoplu and T. H. Meng, “Minimum energy mobile wireless networks,” *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on*, vol. 17, no. 8, pp. 1333–1344, 1999.
- [6] S. Bandyopadhyay and E. J. Coyle, “An energy efficient hierarchical clustering algorithm for wireless sensor networks,” in *INFOCOM 2003. Twenty-Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications. IEEE Societies*, vol. 3, pp. 1713–1723, IEEE, 2003.
- [7] C. Lu, B. M. Blum, T. F. Abdelzaher, J. A. Stankovic, and T. He, “Rap: A real-time communication architecture for large-scale wireless sensor networks,” in *Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium, 2002. Proceedings. Eighth IEEE*, pp. 55–66, IEEE, 2002.

- [8] E. Shih, S.-H. Cho, N. Ickes, R. Min, A. Sinha, A. Wang, and A. Chandrakasan, "Physical layer driven protocol and algorithm design for energy-efficient wireless sensor networks," in *Proceedings of the 7th annual international conference on Mobile computing and networking*, pp. 272–287, ACM, 2001.
- [9] T. He, J. A. Stankovic, C. Lu, and T. Abdelzaher, "Speed: A stateless protocol for real-time communication in sensor networks," in *Distributed Computing Systems, 2003. Proceedings. 23rd International Conference on*, pp. 46–55, IEEE, 2003.
- [10] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "An energy-efficient mac protocol for wireless sensor networks," in *INFOCOM 2002. Twenty-First Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE*, vol. 3, pp. 1567–1576, IEEE, 2002.
- [11] S. Singh, M. Woo, and C. S. Raghavendra, "Power-aware routing in mobile ad hoc networks," in *Proceedings of the 4th annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking*, pp. 181–190, ACM, 1998.
- [12] J.-H. Chang and L. Tassiulas, "Energy conserving routing in wireless ad-hoc networks," in *INFOCOM 2000. Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE*, vol. 1, pp. 22–31, IEEE, 2000.
- [13] C. Efthymiou, S. Nikolettseas, and J. Rolim, "Energy balanced data propagation in wireless sensor networks," *Wireless Networks*, vol. 12, no. 6, pp. 691–707, 2006.
- [14] M. Cheng, X. Gong, and L. Cai, "Joint routing and link rate allocation under bandwidth and energy constraints in sensor networks," *IEEE Trans. Wireless Communications*, vol. 8, pp. 3770–3779, 2009.
- [15] M. Cheng, X. Gong, L. Cai, and X. Jia, "Cross-layer throughput optimization with power control in sensor networks," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 60, pp. 3300–3308, 2011.
- [16] V. Kawadia and P. R. Kumar, "Principles and protocols for power control in ad hoc networks," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 23, pp. 76–88, 2005.

- [17] M. Bhardwaj and A. Chandrakasan, "Bounding the lifetime of sensor networks via optimal role assignments," in *Proc. INFOCOM*, vol. 3, pp. 1587–1596, 2002.
- [18] G. Zussman and A. Segall, "Energy efficient routing in ad hoc disaster recovery networks," *Ad Hoc Networks*, vol. 1, no. 4, pp. 405–421, 2003.
- [19] Y. T. Hou, Y. Shi, H. D. Sherali, and S. F. Midkiff, "Prolonging sensor network lifetime with energy provisioning and relay node placement.," in *SECON*, vol. 5, pp. 295–304, 2005.
- [20] J. H. Chang and L. Tassiulas, "Maximum lifetime routing in wireless sensor networks," *IEEE/ACM Trans. Netw.*, vol. 12, pp. 609–619, 2004.
- [21] J. Vales-Alonso, E. Egea-Lopez, A. Martinez-Sala, P. Pavon-Marino, M. V. Bueno-Delgado, and J. Garcia-Haro, "Performance evaluation of MAC transmission power control in wireless sensor networks," *Computer Networks*, vol. 51, pp. 1483–1498, 2007.
- [22] M. Mallinson, P. Drane, and S. Hussain, "Discrete radio power level consumption model in wireless sensor networks," in *Proc. MASS*, pp. 1–6, 2007.
- [23] B. Sundararaman, U. Buy, and A. D. Kshemkalyani, "Clock synchronization for wireless sensor networks: A survey," *Ad Hoc Networks (Elsevier)*, vol. 3, pp. 281–323, 2005.
- [24] M. Rahimi, R. Baer, O. Iroezi, J. Garcia, J. Warrior, D. Estrin, and M. Srivastava, "Cyclops: in situ image sensing and interpretation in wireless sensor networks," in *Proc. SenSys*, pp. 192–204, 2005.
- [25] K. Bicakci, H. Gultekin, and B. Tavli, "The impact of one-time energy costs on network lifetime in wireless sensor networks," *Communications Letters, IEEE*, vol. 13, no. 12, pp. 905–907, 2009.
- [26] G. Anastasi, M. Conti, M. D. Francesco, and A. Passarella, "Energy conservation in wireless sensor networks: A survey," *Ad Hoc Networks*, vol. 7, pp. 537–568, 2009.
- [27] K. Akkaya and M. Younis, "A survey on routing protocols for wireless sensor networks," *Ad Hoc Networks*, vol. 3, pp. 325–349, 2005.

- [28] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "An application specific protocol architecture for wireless microsensor networks," *IEEE Trans. Wireless Communications*, vol. 1, pp. 660–670, 2002.
- [29] T. Abdelzaher, B. Blum, Q. Cao, Y. Chen, D. Evans, J. George, S. George, L. Gu, T. He, S. Krishnamurthy, *et al.*, "Envirotrack: Towards an environmental computing paradigm for distributed sensor networks," in *Distributed Computing Systems, 2004. Proceedings. 24th International Conference on*, pp. 582–589, IEEE, 2004.
- [30] I. Demirkol, C. Ersoy, and F. Alagoz, "MAC protocols for wireless sensor networks: a survey," *IEEE Communications Magazine*, vol. 44, pp. 115 – 121, 2006.
- [31] I. Khemapech, A. Miller, and I. Duncan, "A survey of transmission power control in wireless sensor networks," in *Proc. PGNet*, pp. 15–20, 2007.
- [32] B. H. Calhoun, D. C. Daly, N. Verma, D. F. Finchelstein, D. D. Wentzloff, A. Wang, S.-H. Cho, and A. P. Chandrakasan, "Design considerations for ultra-low energy wireless microsensor nodes," *Computers, IEEE Transactions on*, vol. 54, no. 6, pp. 727–740, 2005.
- [33] I. Stojmenovic and X. Lin, "Power-aware localized routing in wireless networks," *Parallel and Distributed Systems, IEEE Transactions on*, vol. 12, no. 11, pp. 1122–1133, 2001.
- [34] A. D. Wood and J. A. Stankovic, "Denial of service in sensor networks," *Computer*, vol. 35, no. 10, pp. 54–62, 2002.
- [35] A. Perrig, J. Stankovic, and D. Wagner, "Security in wireless sensor networks," *Communications of the ACM*, vol. 47, no. 6, pp. 53–57, 2004.
- [36] H. Chan and A. Perrig, "Security and privacy in sensor networks," *Computer*, vol. 36, no. 10, pp. 103–105, 2003.
- [37] M. Guerrero-Zapata, R. Zilan, J. M. Barceló-Ordinas, K. Bicakci, and B. Tavli, "The future of security in wireless multimedia sensor networks," *Telecommunication Systems*, vol. 45, no. 1, pp. 77–91, 2010.
- [38] C. Gamage, K. Bicakci, B. Crispo, and A. S. Tanenbaum, "Security for the mythical air-dropped sensor network," in *Computers and Communications*,

2006. *ISCC'06. Proceedings. 11th IEEE Symposium on*, pp. 41–47, IEEE, 2006.
- [39] K. Bicakci, I. E. Bagci, and B. Tavli, “Lifetime bounds of wireless sensor networks preserving perfect sink unobservability,” *Communications Letters, IEEE*, vol. 15, no. 2, pp. 205–207, 2011.
 - [40] K. Jain, J. Padhye, V. N. Padmanabhan, and L. Qiu, “Impact of interference on multi-hop wireless network performance,” in *Proc. ACM Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom)*, pp. 66–80, 2003.
 - [41] J. Li, C. Blake, D. S. De Couto, H. I. Lee, and R. Morris, “Capacity of ad hoc wireless networks,” in *Proc. ACM Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom)*, pp. 61–69, 2001.
 - [42] W. Liu, K. Lu, J. Wang, L. Huang, and D. Wu, “On the throughput capacity of wireless sensor networks with mobile relays,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 61, pp. 1801–1809, 2012.
 - [43] J. Tang, G. Xue, C. Chandler, and W. Zhang, “Link scheduling with power control for throughput enhancement in multihop wireless networks,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 55, pp. 733–742, 2006.
 - [44] B. Hull, K. Jamieson, and H. Balakrishnan, “Bandwidth management in wireless sensor networks,” in *Proc. ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys)*, pp. 306–307, 2003.
 - [45] S. Rangwala, R. Gummadi, R. Govindan, and K. Psounis, “Interference-aware fair rate control in wireless sensor networks,” *ACM SIGCOMM Computer Communications Review*, vol. 36, pp. 63–74, 2006.
 - [46] N. Kumar, M. Kumar, and R. B. Patel, “Optimized bandwidth utilization for real time applications in wireless sensor networks,” *International Journal of Computer Applications*, vol. 1, pp. 92–97, 2010.
 - [47] M. Saxena, P. Gupta, and B. N. Jain, “Experimental analysis of rssi-based location estimation in wireless sensor networks,” in *Proc. COMSWARE*, pp. 503–510, 2008.

- [48] J.-R. Jiang, C.-M. Lin, and Y.-J. Hsu, "Localization with rotatable directional antennas for wireless sensor networks," in *Proc. ICPPW*, pp. 542–548, 2010.
- [49] P. K. Sahoo and I.-S. Hwang, "Collaborative localization algorithms for wireless sensor networks with reduced localization error," *Sensors*, vol. 11, pp. 9989–10009, 2011.
- [50] B. Kusy, A. Ledeczi, M. Maroti, and L. Meertens, "Node density independent localization," in *Proc. IPSN*, pp. 441–448, 2006.
- [51] L. Doherty, L. El Ghaoui, *et al.*, "Convex position estimation in wireless sensor networks," in *INFOCOM 2001. Twentieth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE*, vol. 3, pp. 1655–1663, IEEE, 2001.
- [52] N. Patwari, J. N. Ash, S. Kyperountas, A. O. Hero III, R. L. Moses, and N. S. Correal, "Locating the nodes: cooperative localization in wireless sensor networks," *Signal Processing Magazine, IEEE*, vol. 22, no. 4, pp. 54–69, 2005.
- [53] R. L. Moses and R. Patterson, "Self-calibration of sensor networks," in *AeroSense 2002*, pp. 108–119, International Society for Optics and Photonics, 2002.
- [54] A. T. Ihler, J. W. Fisher III, R. L. Moses, and A. S. Willsky, "Nonparametric belief propagation for self-localization of sensor networks," *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on*, vol. 23, no. 4, pp. 809–819, 2005.
- [55] U. B. Desai, B. Jain, and S. Merchant, "Wireless sensor networks: Technology roadmap," Tech. Rep. Yeni Delhi, Hindistan Bilgi ve İletişim Bakanlığı, 2007.
- [56] J. A. Stankovic, "Research challenges for wireless sensor networks," *SIGBED Rev.*, vol. 1, no. 2, pp. 9–12, 2004.
- [57] Q. Wang and W. Yang, "Energy consumption model for power management in wireless sensor networks," in *Proc. SECON*, pp. 142–151, 2007.
- [58] A. Konstantinidis, K. Yang, and Q. Zhang, "An evolutionary algorithm to a multi-objective deployment and power assignment problem in wireless sensor networks," in *Proc. GLOBECOM*, pp. 1–6, 2008.

- [59] R. Moraes, C. Ribeiro, and C. Duhamel, "Optimal solutions for fault-tolerant topology control in wireless ad hoc networks," *IEEE Trans. Wireless Communications*, vol. 8, pp. 5970–5981, 2009.
- [60] G. Kalpana and T. Bhuvaneswari, "Distributed power control for energy efficiency in wireless sensor network," *European Journal of Scientific Research*, vol. 48, pp. 273–280, 2010.
- [61] M. Kubisch, H. Karl, A. Wolisz, L. Zhong, and J. Rabaey, "Distributed algorithms for transmission power control in wireless sensor networks," in *Proc. WCNC*, vol. 1, pp. 558–563, 2003.
- [62] O. Chipara, Z. He, G. Xing, Q. Chen, X. Wang, C. Lu, J. Stankovic, and T. Abdelzaher, "Real-time power-aware routing in sensor networks," in *Quality of Service, 2006. IWQoS 2006. 14th IEEE International Workshop on*, pp. 83–92, 2006.
- [63] D. LaI, A. Manjeshwar, F. Herrmann, E. Uysal-Biyikoglu, and A. Kes-havarzian, "Measurement and characterization of link quality metrics in energy constrained wireless sensor networks," in *Global Telecommunications Conference, 2003. GLOBECOM'03. IEEE*, vol. 1, pp. 446–452, IEEE, 2003.
- [64] H. Ren, M. Meng, and C. Cheung, "Experimental evaluation of on-body transmission characteristics for wireless biosensors," in *Integration Technology, 2007. ICIT'07. IEEE International Conference on*, pp. 745–750, IEEE, 2007.
- [65] J. C. Lim and K. D. Wong, "Exploring possibilities for rss-adaptive power control in mica2-based wireless sensor networks," in *Control, Automation, Robotics and Vision, 2006. ICARCV'06. 9th International Conference on*, pp. 1–6, IEEE, 2006.
- [66] M. Doddavenkatappa, M. C. Chan, and B. Leong, "Improving link quality by exploiting channel diversity in wireless sensor networks," in *Real-Time Systems Symposium (RTSS), 2011 IEEE 32nd*, pp. 159–169, IEEE, 2011.
- [67] N. Baccour, A. Koubaa, L. Mottola, M. A. Zuniga, H. Youssef, C. A. Boano, and M. Alves, "Radio link quality estimation in wireless sensor networks: a survey," *ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN)*, vol. 8, no. 4, p. 34, 2012.

- [68] K. Srinivasan, P. Dutta, A. Tavakoli, and P. Levis, "Understanding the causes of packet delivery success and failure in dense wireless sensor networks," in *Proceedings of the 4th international conference on Embedded networked sensor systems*, pp. 419–420, ACM, 2006.
- [69] M. Zuniga and B. Krishnamachari, "Analyzing the transitional region in low power wireless links," in *Proc. SECON*, pp. 517–526, 2004.
- [70] G. Zhou, T. He, S. Krishnamurthy, and J. A. Stankovic, "Impact of radio irregularity on wireless sensor networks," in *Proceedings of the 2nd international conference on Mobile systems, applications, and services*, pp. 125–138, ACM, 2004.
- [71] J. Zhao and R. Govindan, "Understanding packet delivery performance in dense wireless sensor networks," in *Proceedings of the 1st international conference on Embedded networked sensor systems*, pp. 1–13, ACM, 2003.
- [72] G. Zhou, T. He, S. Krishnamurthy, and J. A. Stankovic, "Models and solutions for radio irregularity in wireless sensor networks," *ACM Trans. Sen. Netw.*, vol. 2, no. 2, pp. 221–262, 2006.
- [73] Y. Chen and A. Terzis, "On the implications of the log-normal path loss model: an efficient method to deploy and move sensor motes," in *Proceedings of the 9th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, pp. 26–39, ACM, 2011.
- [74] S. Lin, J. Zhang, G. Zhou, L. Gu, T. He, and J. A. Stankovic, "ATPC: Adaptive transmission power control for wireless sensor networks," in *Proc. SenSys*, pp. 223–236, 2006.
- [75] F. Sun and M. Shayman, "Lifetime maximizing adaptive traffic distribution and power control in wireless sensor networks," Tech. Rep. TR2006-12, University of Maryland, ECE Dept., 2006.
- [76] U. S. D. of the Navy, "Sound surveillance system." http://www.navy.mil/navydata/cno/n87/usw/issue_25/sosus.htm. Erişim : 14.07.2013.
- [77] C.-Y. Chong and S. Kumar, "Sensor networks: evolution, opportunities, and challenges," *Proceedings of the IEEE*, vol. 91, no. 8, pp. 1247–1256, 2003.

- [78] D. Estrin, R. Govindan, J. Heidemann, and S. Kumar, “Next century challenges: scalable coordination in sensor networks,” in *Proceedings of the 5th annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking*, MobiCom '99, pp. 263–270, 1999.
- [79] X. Inc., “Mica2 motes.” <http://bullseye.xbow.com:81/Products/productdetails.aspx?sid=174>. Erişim : 24.06.2012.
- [80] I. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, “Wireless sensor networks: a survey,” *Computer Networks*, vol. 38, no. 4, pp. 393 – 422, 2002.
- [81] I. F. Akyildiz and I. H. Kasimoglu, “Wireless sensor and actor networks: research challenges,” *Ad Hoc Networks*, vol. 2, no. 4, pp. 351 – 367, 2004.
- [82] J. W. Chinneck, “Practical optimization: a gentle introduction.” <http://www.sce.carleton.ca/faculty/chinneck/po.html>. Erişim : 26.11.2011.
- [83] GAMS, “GAMS homepage.” <http://www.gams.com>. Erişim : 25.08.2011.
- [84] G. Solvers, “GAMS solvers.” <http://www.gams.com/solvers/>. Erişim : 26.08.2011.
- [85] S. J. Wright, “GAMS: A user’s guide.” <http://pages.cs.wisc.edu/swright/635/docs/GAMSUsersGuide.pdf>. Erişim : 10.09.2011.
- [86] MathWorks, “MathWorks matlab.” <https://www.mathworks.com/products/matlab>. Erişim : 21.12.2011.
- [87] Vikipedi, “MATLAB.” <http://tr.wikipedia.org/wiki/MATLAB>. Erişim : 03.01.2012.
- [88] Wikipedia, “Log-normal dağılım.” http://tr.wikipedia.org/wiki/Log-normal_da%C4%9F%C4%B1%C4%B1m. Erişim : 11.10.2012.
- [89] T. Instruments, “Ti cc2420 datasheet.” <http://www.ti.com/product/cc2420>. Erişim : 07.04.2012.

EKLER

A. Örnek GAMS Kodu

Örnek metin

B. Örnek MATLAB Grafik Çizdirme Kodu

Örnek metin

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Soyadı, Adı : ÇOTUK, Hüseyin
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 23.06.1980 İstanbul
Medeni hali : Evli
Telefon : 312 298 9326
Faks : 312 298 9393
e-mail : hcotuk@etu.edu.tr

EĞİTİM

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Doktora	TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi	2013
Y. Lisans	TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi	2008
Lisans	Süleyman Demirel Üniversitesi	2002

İLGİ ALANLARI

Bulut Bilişim	Ağ Teknolojileri	Bilgi Güvenliği
Paralel Programlama	Gömülü Sistemler	Optimizasyon
Sanallaştırma	HPC	Yeşil BT Altyapıları

İŞ DENEYİMİ

Yıl	Yer	Görev
2012-	TÜBİTAK ULAKBİM	Başuzman Araştırmacı
2006-2012	TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi	Bilişim Teknolojileri Müdürü
2004-2006	TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi	Ağ ve Sistem Yöneticisi
2003-2004	Terra Elektronik Ltd. Şti.	Yazılım Mühendisi

YABANCI DİL

İngilizce (Çok iyi)
Almanca (Az)

ALINAN ÖDÜLLER

Süleyman Demirel Üniversitesi	Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölüm Birinciliği
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi	Yüksek Şeref Öğrencisi Fen Bilimleri Enstitüsü Birinciliği (2008) (4.0/4.0)

SERTİFİKALAR

Yıl	Sertifika	Yer
2013	OpenStack Summit 2013	Portland, Oregon, USA
2009	Enterasys Wireless AP & Controller Administrator	Ankara
2009	Enterasys B & C Series Switching and Routing	Ankara
2009	Enterasys X Series Backbone Switching	Ankara
2008	NetApp Storage Administrator	İstanbul
2006	Solaris Security Administrator	Ankara
2006	Solaris Network Administrator	Ankara
2006	Solaris System Administrator	Ankara
2005	Allied Telesyn Int. Certified System Engineer	Ankara
2004	Cisco Router	Ankara
2004	Cisco Network Essentials	Ankara

ÇALIŞMA ALANLARI

Sistem Yönetimi	Linux (Debian, Ubuntu, Red Hat, CentOS, Fedora) Solaris, FreeBSD Windows Server 2003, 2008 ve 2012
Temel Sistem Servisleri	E-posta (Postfix, Zimbra) Web Server (Apache, Nginx, PHP, MemCache) DNS, DHCP, FTP (ISC Bind, ISC DHCP, ProFTP) Uygulama Sunucuları (Tomcat, JBoss, Glassfish) Radius, LDAP (Free Radius, OpenLDAP) Proxy, İçerik Filtreleme (Squid, Dansguardian) Yazılım Geliştirme (Maven, SVN, GIT, ANT, JIRA)

İlişkisel Veritabanları	Oracle, MySQL, PostgreSQL, MsSQL
Bulut Bilişim	OpenStack, CloudStack, OpenNebula IaaS, PaaS ve SaaS teknolojileri
Dağıtık Hesaplama Sistemleri	Yüksek başarımlı ve küme hesaplama Hadoop, Cassandra CPU ve GPU tabanlı sistemler Paralel programlama (MPI, OpenMP)
Dağıtık Dosya Sistemleri	Lustre, Ceph, GlusterFS, Microsoft DFS
Orkestrasyon Araçları	Puppet, Chef, Juju, Cfengine, Vagrant, Fuel
Bare Metal Provizyonlama	Cobbler, Kickstart, MaaS, Viper
Sanallaştırma	KVM, libvirt, Xen, VMWare, Hyper-V, Proxmox
Transmisyon Altyapısı	Infiniband, 40G/10G/Gigabit Ethernet
İnternet Erişimi	ATM, Metro Ethernet, Frame Relay, ADSL
LAN & WAN	Omurga ve kenar anahtar Router ve routing teknolojileri L2-L7 Anahtar Güvenlik araçları (Firewall, IDS/IPS, VPN)
Ağ Sanallaştırma	OpenVswitch, Quantum
Ağ İzleme Araçları	MRTG, Cacti, Nagios, Ganglia
Uzaktan Eğitim	Open Meeting, Moodle, Adobe Connect
Depolama Teknolojileri	SAN, NAS, Object Storage Swift, NFS, iSCSI, SRP, IPoIB
Nesne Tabanlı Programlama	Java, PHP, Python, Delphi, C, Javascript
Donanım Bilgisi	Sun, IBM, Fujitsu, HP, Dell, Huawei Sunucular Cisco, Juniper, Enterasys, Huawei ağ cihazları Mellenox infiniband core cihazları Veri depolama (NetApp, Oracle, Dell, HP) Juniper Saldırı Tespit ve Önleme cihazları

HOBİLER

Otomobiller, akıllı telefonlar, android işletim sistemi, elektrikli araç tasarımı

YAYINLAR

H. Cotuk, B. Tavli, K. Bicakci, M.B. Akgun, "The Impact of Bandwidth Constraints on the Energy Consumption of Wireless Sensor Networks", Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 2014 IEEE, pp.2787,2792, 6-9 April 2014

H. Cotuk, O. Bektas, B. Caliskan, "Operating Cloud: NREN's Case", Terena Networking Conference, Dublin, May 2014

H. Cotuk, K. Bicakci, B. Tavli, E. Uzun, "The Impact of Transmission Power Control Strategies on Lifetime of Wireless Sensor Networks", IEEE Transactions on Computers, vol.63, no.11, pp.2866,2879, Nov. 2014.

H. Cotuk, A. Omercioglu, N. Erginoz, "IEEE 802.1x, Radius and Dynamic VLAN Assignment", inet-tr'06, Türkiye'de Internet Konferansı, Ankara, 2006.