

EŞİT MESAFELİ ÇOK-SEKMELİ KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARDA MİNİMUM GÜÇ TÜKETİMİ İÇİN OPTİMUM DÜĞÜM SAYISININ BELİRLENMESİ

Nükhet SAZAK¹, Ali Soner KILINC²

¹Elektrik-Elektronik Mühendisliği
Sakarya Üniversitesi
nsazak@sakarya.edu.tr,

² Elektrik-Elektronik Mühendisliği
Sakarya Üniversitesi
soner.kilinc@ogr.sakarya.edu.tr

Özet

Kablosuz Algılayıcı Ağlar (KAA'lar) günümüzde askeri, sağlık, çevresel gözlem gibi birçok alanda kullanılmaktadır. KAA'lar enerji kısıtlı düğümlerden oluştuğu ve birçok uygulamada düğümlerin pillerini değiştirmek ya da şarj etmek mümkün olmadığı için enerji verimliliği en önemli konulardan biri haline gelmektedir. Bu bildiride eşit mesafeli olarak yerleştirilmiş düğümlerden oluşan çok-sekmeli bir KAA'da minimum güç tüketiminin sağlandığı optimum sekme sayısını bulmak üzere matematiksel bir ifade elde edilmektedir. Optimum sekme sayısı elde edildikten sonra KAA uygulaması için gereken optimum düğüm sayısı hesaplanabilmektedir. Anahtar Kelimeler: Kablosuz algılayıcı ağ, çok-sekmeli haberleşme, enerji verimliliği

Abstract

Nowadays, WSNs are used in many areas such as military, health, environmental monitoring. Since WSNs consist of energy limited nodes and in many applications replacing or recharging the nodes is impossible, energy efficiency has become one of the most significant issues. In this study, a mathematical expression is obtained to determine the optimum number of hops for minimum power consumption in a multi-hop WSN including equidistantly deployed nodes. After the optimum number of hops is being found, optimum number of sensor nodes required for the WSN application could be also computed.

1. Giriş

Kablosuz Algılayıcı Ağlar (KAA'lar); askeri uygulamalardan çevre gözlem uygulamalarına, sağlık uygulamalarından ticari uygulamalara kadar çok çeşitli alanlarda geniş bir uygulama potansiyeline sahiptir. Bir KAA, pille çalışan ve kablosuz olarak haberleşen cihazlar olan çok sayıda algılayıcı düğümden oluşmaktadır. Bir KAA düğümü temel olarak bir algılayıcı birimi, bir alıcı-verici, pil ve bir işlemci birimini içermektedir [1]. Algılayıcı düğümler pilden sağladıkları enerjiyi veri algılama, haberleşme ve veri işleme için kullanılmaktadırlar. Bunlar arasında en çok enerjiyi tüketen haberleşmedir [2]. Pili biten algılayıcı düğüm “ölü” olarak varsayıldığı ve çoğu durumda pilleri değiştirmek ya da şarj etmek mümkün olmadığı için mevcut enerjinin etkin kullanımı

KAA ömrünü belirlemektedir. Daha az enerji tüketimi, daha uzun yaşam süresi anlamına gelmektedir.

KAA'larda algılayıcı düğümlerin verilerini hedefe ulaştırma şekline göre temel olarak iki tür haberleşme vardır. Algılayıcı düğümlerin verilerini doğrudan hedefe gönderdikleri haberleşme türü tek-sekmeli iletim, algılayıcı düğümlerin verilerini hedefe diğer düğümler üzerinden gönderdikleri haberleşme türü ise çok-sekmeli iletim olarak adlandırılmaktadır [2].

KAA yaşam sürelerini arttırmak için son yıllarda birçok araştırma yapılmaktadır. Sekme uzunluğunun optimizasyonu, KAA'nın ömrü açısından kritik öneme sahiptir. Bu bildiride minimum güç tüketimi için optimum sekme sayısı hesaplanmakta ve bunun sonucu olarak KAA uygulaması için gereken optimum düğüm sayısı belirlenmektedir.

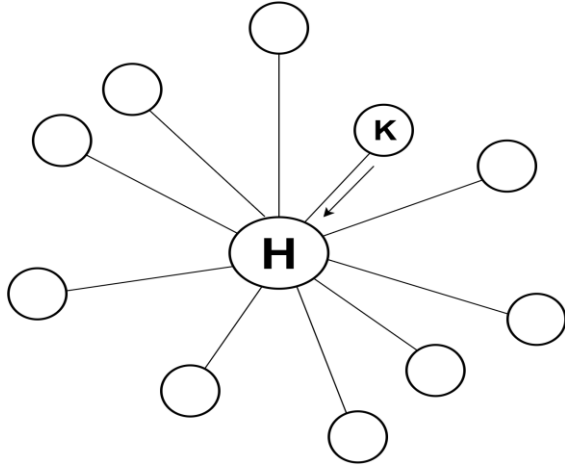
Bölüm 2'de tek-sekmeli ve çok-sekmeli haberleşme türleri, avantaj ve dezavantajları ile kısaca açıklanmaktadır. Bildiride kullanılan çok-sekmeli güç tüketim modelinin ayrıntılarına Bölüm 3'de ve bu model kullanılarak gerçekleştirilen analitik çalışmaya Bölüm 4'de yer verilmektedir. Son olarak Bölüm 5'de sonuçlar ve yorumlar yer almaktadır.

2. Kablosuz Ağ Algılayıcılarda Tek-Sekmeli ve Çok-Sekmeli Haberleşme

Kablosuz algılayıcı ağlarda temel olarak iki tür haberleşme vardır, bunlardan birincisi tek-sekmeli iletim, diğeri ise çok-sekmeli iletimdir [2]. Her bir iletim şeklinin kendine has avantaj ve dezavantajları vardır. Literatürdeki çalışmalardan bazıları tek-sekmeli haberleşmenin çok-sekmeli haberleşmeden daha enerji verimli olduğunu iddia ederken çok-sekmeli haberleşmenin tek-sekmeli olandan daha enerji etkin olduğunu savunan çalışmalar da bulunmaktadır [3,4].

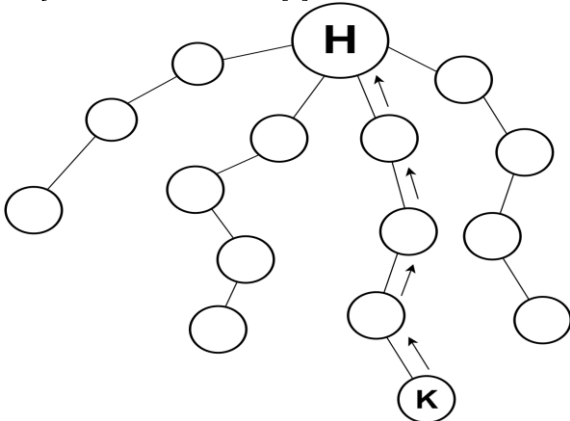
Tek-sekmeli KAA'larda her bir algılayıcı düğüm, veriyi doğrudan hedefe göndermektedir. Şekil 1'de görüldüğü gibi, veri gönderici (kaynak) ve alıcı (hedef) arasında doğrudan bir haberleşme söz konusudur. Her biri K ile gösterilen tüm kaynak düğümler, hedefe (H) verilerini doğrudan iletmektedir. Hedef, toplayıcı düğüm, küme başı ya da baz istasyonu olabilir. Doğrudan iletim olduğu için bu tür haberleşme; daha düşük uçtan uca gecikme, daha düşük paket kaybı vb. bazı ağ parametreleri bakımından avantajlara sahiptir. Tek-sekmeli KAA'lar basit bir yapıya sahiptir ve küçük uygulama alanları için uygundur. Diğer yandan güç tüketimi bakımından

maliyetli olması ve düğümlerin sınırlı iletim mesafesi yüzünden kullanışlı olmaması gibi bazı dezavantajlara sahiptir. Geniş alanları kapsamak üzere yerleştirilmiş uygulamalarda hedeften daha uzakta olan düğümlerin enerjilerini hızla tüketmeleri, KAA yaşam süresini sınırlamaya yol açmaktadır[5].



Şekil 1: Tek-Sekmeli KAA

Çok-sekmeli haberleşme KAA'larda yaygın olarak kullanılmaktadır. Şekil 2'de çok-sekmeli haberleşme modeli gösterilmektedir. Her kaynak düğüm (K), her biri birer yönlendirici (router) olarak davranan ara düğümler üzerinden verisini hedefe iletmektedir. Veri, kaynak düğümden hedefe ulaşana kadar sekmeden sekme iletilmektedir. Çok-sekmeli KAA'lar enerji verimliliği açısından kullanışlıdır. Algılayıcı düğümler arasındaki mesafe daha kısaldığında daha az enerji tüketilir. Çok-sekmeli iletim, özellikle çok yoğun KAA'larda, kanala erişmeye çalışan algılayıcı düğümler arasındaki haberleşme girişimini oldukça azaltmaktadır[5]. Çok-sekmeli iletimde, iletimler güç tüketimini algılayıcı düğümler arasında adil olarak dağıttığı için sistemin ömrü arttırılmaktadır[2]. Öte yandan çok sayıda düğümden oluşan bir KAA'da bu iletim yöntemi gecikme sorununa sahip olur. Ayrıca KAA boyutu çok geniş olursa, hedef düğüme daha yakın olan algılayıcı düğümler çok sayıda veriyi iletecek ve sınırlı enerjisini hızlıca tüketecektir[2].



Şekil 2: Çok-Sekmeli KAA

Çok-sekmeli iletimde haberleşme kısa sekmeler veya uzun sekmeler ile gerçekleştirilebilir. Sekme uzunluğunun optimizasyonu enerji tasarrufu sağlayabilir ve aynı zamanda KAA ömrünü uzatabilir. Literatürde KAA'larda sekme uzunluğu konusunu inceleyen bazı makaleler bulunmaktadır [6,7]. Kheireddine ve Abdellatif, algılayıcı düğümleri kaynak ve hedef arasına uzun sekmeler ve kısa sekmeler olarak yerleştirdikleri çalışmalarında farklı sekme sayıları için enerji tüketimi değerlerini hesapladılar ve minimum enerji tüketiminin elde edildiği sekme uzunluğunu belirlediler [7]. Elde edilen sonuçlara göre sekme sayısı arttığında, beklendiği gibi sekme uzunluğu azalmakta ve enerji tüketimi başlangıçta azalmakta ancak minimum değere ulaştıktan sonra artmaktadır.

Wang ve diğerleri, KAA cihazlar için gerçekçi bir güç tüketim modeli geliştirdiklerini iddia ettikleri çalışmalarında bu modeli kullanarak tek-sekmeli ve çok-sekmeli iletimleri karşılaştırmışlardır. Önerdikleri çok-sekmeli güç tüketim modeli kullanıldığında kaynaktan hedefe algılayıcı düğümlerin eşit uzaklıkta yerleştirilmesinin optimal çözüm olduğunu ispatlamışlardır[6].

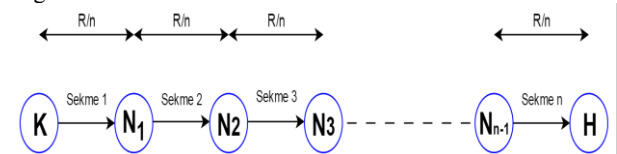
Bu bildiriye, [6]'da önerilen modelde Mica2dot düğümlerinin güç tüketim değerleri kullanılarak minimum güç tüketimi için sekme sayısı ve gereken algılayıcı düğüm sayıları hesaplanmaktadır. [6]'daki model kullanılarak sekme uzunluğuna karşılık elde edilen güç tüketim değerleri, [7]'de önerilen modelin sonuçları ile karşılaştırıldığında eşit uzaklıkta yerleştirilmiş algılayıcı düğümler için benzer özellikler gösterdikleri görülmektedir.

Sekme sayısı arttırıldığında, güç tüketimi başlangıçta azalmakta ancak minimum değere ulaştıktan sonra arttığı görülmektedir.

3. Çok-Sekmeli Güç Tüketim Modeli

Bu çalışmada [6]'da sunulan çok-sekmeli güç tüketim modeli kullanılmaktadır. Bu modeli literatürdeki diğer modellerden farklı kılan özellik, güç tüketiminin güç amplifikatörünün performansına (η , savak verimi) bağlı olmasıdır. Söz konusu modelde haberleşme band genişliğinin, girişim ve iletim çarpışmalarından önemli ölçüde güç tüketimi gerektirmeyen basit protokoller kullanılarak kolayca sakınılabilecek kadar düşük olduğu varsayılmaktadır. Saniye başına B bit olan fiziksel haberleşme hızı da sabit olarak kabul edilmektedir [6].

Algılayıcı düğümlerin kaynak ve hedef arasına eşit uzaklıklarda yerleştirildiği basit 1-boyutlu lineer KAA topolojisi Şekil 3'de görülmektedir. Bu topoloji bir tane hedef düğüm (H), bir tane kaynak düğüm (K) ve eşit uzaklıklarla yerleştirilmiş ara düğümlerden meydana gelmektedir[6]. Aradaki algılayıcı düğümler, eşit sekme uzaklıklarında (R/n) yerleştirilmiştir ve hedef ile kaynak arasındaki veri iletimini sağlamaktadırlar.



Şekil 3: Çok-Sekmeli 1-B lineer KAA Modeli

$P(n)$, kaynaktan hedefe n-sekmeli haberleşmedeki toplam güç tüketimini ifade etmektedir. Hedef düğümün harici bir

güç kaynağına bağlı olduğu varsayıldığı için kaynak kısıtlı olmadığından hedef düğümdeki güç tüketimi ihmal edilmektedir. Algılayıcı düğümler özdeşdir ve N_i şeklinde numaralandırılmıştır ($i=1,2,3,...n-1$). Düğümlerin eşit mesafede yerleştirildiği n -sekmeli iletimde güç tüketimini denklemler (1) ile verilmektedir.

$$P(n) = (n-1)P_{R0} + nP_{T0} + \frac{n \times \epsilon \times \left(\frac{R}{n}\right)^\alpha}{\eta} \quad (1)$$

n : sekme sayısı

P_{R0} : bir algılayıcı düğümün veri alırken tükettiği güç

P_{T0} : bir algılayıcı düğümün veri iletirken tükettiği güç

ϵ : sabit

R : kaynak ile hedef arasındaki mesafe

R/n : sekmeler arası mesafe (sekmeye uzunluğu)

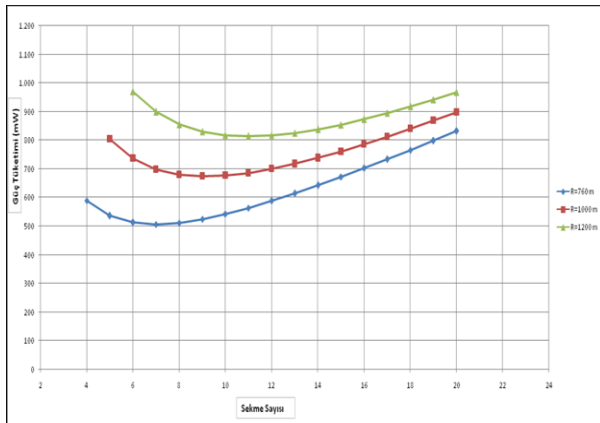
α : yol kaybı kuvveti (Path loss exponent)

η : savak verimi (drain efficiency) (RF çıkış gücünün DC giriş gücüne oranı)

Yol kaybı kuvveti (Path loss exponent) α çevresel koşullara bağlıdır ve genellikle 2 ile 6 arasında değerler almaktadır [7]. Yapılan analizde α için serbest uzay (free space) değeri olan 2 kullanılmaktadır.

4. Analitik Çalışma

Analitik sonuçlar için Bölüm 3’de açıklanan model ve Şekil 3’de verilen düğüm yerleşim düzenine göre güç tüketimi hesaplanmaktadır. Mica2dot düğümler CC1000 işlemcileri kullandıkları için [6]’da verilen donanım değerleri kullanılmaktadır. Bir Mica2dot algılayıcı düğümün veri almak için harcadığı güç (P_{R0}) 22.2 mW, veri iletmek için harcadığı güç (P_{T0}) ise 15.9 mW’dır. Savak verimi (drain efficiency) η %15.7, α değeri 2 ve ϵ ise 0.0005 olarak kabul edilmektedir. Buna göre kaynak-hedef arası mesafenin 760m, 1000m ve 1200m değerleri için sekme sayısına bağlı olarak güç tüketimini gösteren grafik Şekil 4’de verilmektedir.



Şekil 4: $R=760m$, $R=1000m$ ve $R=1200m$ için Sekme Sayısına göre Güç Tüketim Grafiği

Şekil 4’deki grafikte görüldüğü gibi sekme sayısı arttıkça güç tüketimi azalmakta, minimum noktaya ulaştıktan sonra tekrar artışa geçmektedir. Minimum noktayı bulmak üzere sekme sayıları için tek tek hesap yapmaya ya da benzetim ile optimum sekme sayısını bulmaya ihtiyaç yoktur. Optimum

sekme sayısı matematiksel olarak elde edilebilir. Minimum güç tüketiminin meydana geldiği sekme sayısı, optimum sekme sayısı olarak adlandırılmaktadır. Bu amaçla (1) numaralı denklemin sekme sayısına göre türevi alınması sonucunda optimum sekme sayısını (n_{opt}) veren ifade denklemler (2)’de gösterildiği gibidir:

$$n = R \left(\frac{\eta(P_{R0} + P_{T0})}{\epsilon(-1 + \alpha)} \right)^{-1/\alpha} \quad (2)$$

$\alpha=2$ değeri için bu ifade denklemler (3)’teki gibi düzenlenebilir:

$$n = R \left(\frac{\eta(P_{R0} + P_{T0})}{\epsilon} \right)^{-0.5} \quad (3)$$

Denklemler (3)’den elde edilen optimum sekme sayısının, tamsayı değerine yuvarlanması sonucu KAA için minimum güç tüketimini sağlayan sekme sayısı belirlenmektedir. Denklemlerden de görüldüğü gibi optimum sekme sayısı; algılayıcı düğümün veri almak için harcadığı güç (P_{R0}), veri iletmek için harcadığı güç (P_{T0}), α , ϵ , η parametreleri ile kaynak-hedef arasındaki mesafeye bağlıdır.

Bu çalışmanın amacı, minimum güç tüketimini veren optimum sekme sayısı hesaplandıktan sonra optimum düğüm sayısının belirlenmesidir. Optimum düğüm sayısı, eşit mesafelerle yerleştirilmiş çok-sekmeli KAA uygulamasında minimum güç tüketiminin gerçekleşmesi için gereken düğüm sayısı olarak tanımlanmaktadır. Optimum düğüm sayısı, optimum sekme sayısından 1 çıkartılmasıyla denklemler (4)’teki gibi bulunabilir:

$$d_{opt} = n_{opt} - 1 \quad (4)$$

$$d_{opt} = R \left(\frac{\eta(P_{R0} + P_{T0})}{\epsilon} \right)^{-0.5} - 1 \quad (5)$$

d_{opt} : optimum düğüm sayısı

Yukarıda sunulan (2) ve (5) numaralı denklemler sayesinde bir KAA uygulaması için kaynak-hedef arasındaki belirli bir mesafeye eşit aralıklarla yerleştirilecek düğüm sayısı, P_{R0} , P_{T0} , α , ϵ , η değerlerinin kullanılması ile doğrudan hesaplanabilmektedir.

5. Sonuçlar

Bu bildiride, eşit mesafeli çok-sekmeli KAA’larda optimum sekme sayısı ve onun sonucu olarak da optimum düğüm sayısı belirlenmesi hedeflenmiştir. Literatürde verilen çok-sekmeli güç tüketim modeli kullanılarak bir KAA uygulaması için minimum güç tüketimini sağlamak üzere eşit aralıklarla yerleştirilmesi gereken düğüm sayısının herhangi bir algoritma ya da benzetim sonucuna gerek duyulmadan doğrudan elde edilmesini sağlayan matematiksel bir ifade sunulmuştur.

6. Kaynaklar

- [1] Akyildiz, I.F., Su, W. and Sankarasubramaniam, Y., (2002) 'Wireless sensor networks: A Survey', *Computer Networks*, vol. 38, pp. 393-422.
- [2] Ilyas, M., Mahgoub, I., *Handbook of Sensor Networks: Compact Wireless and Wired Sensing Systems*, CRC Press, 2005.
- [3] Yin, B.L., Shi, H.C. and Yi S. (2005) A Two-Level Strategy for Topology Control in Wireless Sensor Networks. *Proceedings of 11th International Conference on Parallel and Distributed Systems, Fukuoka, 22-22 July 2005*, 358-362.
<http://dx.doi.org/10.1109/ICPADS.2005.57>
- [4] Haenggi, M. (2004) Twelve Reasons Not to Route over Many Short Hops. *Proceedings of IEEE 60th Vehicular Technology Conference*, Piscataway, 26-29 September 2004, 3130-3134.
<http://dx.doi.org/10.1109/VETECF.2004.1404638>
- [5] Sohraby, K. Minoli D., Znati, T., *Wireless Sensor Networks: Technology, Protocols and Applications*, John Wiley & Sons Inc., 2007,
<http://dx.doi.org/10.1002/047011276X>
- [6] Q. Wang, M. Hempstead, W. Yang, "A Realistic Power Consumption Model for Wireless Sensor Network Devices," *In Proc. 3rd Annual IEEE Communications Society on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks, Reston, 2006, Vol. 1*, pp. 286-295.
- [7] Kheireddine, M., & Abdellatif, R., Analysis of hops length in wireless sensor networks. *Wireless Sensor Network*, 2014, 6(6), pp. 109–117.