

Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Gizlilik ve Yaşam Süresi Eniyilenmesi

Life Time Optimization and Privacy For Wireless Sensor Networks

Mikail Özçiloğlu ve Bülent Tavlı

Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
{ mozciloglu,btavli}@etu.edu.tr

Özetçe

Geniş uygulama alanlarına sahip olan kablosuz algılayıcı ağları, çok fonksiyonel ve kullanışlı olmalarına rağmen veri gizliliği açısından yeterli bir yapıya sahip olmadıkları görülmektedir. Bu yapılarından dolayı veri gizliliği çok hassas bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu araştırma kapsamında bir kablosuz algılayıcı ağı yaşam süresinin verilen gizlilik kısıtları altında lineer programlama ile maksimize edilme incelenmiştir.

Abstract

Wireless sensor networks has a wide area of application. Although, they are convenient and functional, it is obvious that traditional structure of sensor networks are not strong enough with respect to data privacy. Within the scope of this study we investigated the lifetime a wireless sensor network under optimized data routing through linear programming given the privacy constraints.

1. Giriş

Kablosuz algılayıcı ağları kavramı ilk kez 1980'lerin başlarında karşımıza çıkmıştır. Mikro elektro-mekanik sistemlerdeki gelişmeler ve kablosuz haberleşme sistemlerindeki ilerlemelerle birlikte 1990'lı yıllarda önemli bir araştırma alanı haline gelmeye başlamıştır. İlk zamanlarda askeri alanda kullanılan kablosuz algılayıcı ağları; zamanla maliyetlerinin düşmesi, gelişen algılayıcı teknolojisi ve algılayıcı kabiliyetlerinin artmasıyla çok yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. [1]

Çok geniş bir kullanım alanına sahip olan algılayıcı ağları sürekli veri toplamada, olay belirleme ve tanımlamada, konum belirlemede ve yerel kontrollerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Sadece yaygın kullanım alanına sahip olmaları değil, özellikle de kritik uygulamalarda tercih edilmeleri sebebiyle kablosuz algılayıcı ağlarında veri güvenliği ve gizliliği çok önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu cihazlar çok fonksiyonel olmalarına rağmen açık bir haberleşme yapısına sahiptirler ve bu özelliklerinden ötürü bilinen güvenlik mekanizmaları, gizlilik, bütünlük, erişilebilirlik vb. kablosuz algılayıcı ağlarında veri güvenliğini yeterince sağlayamadıkları saptanmıştır. [4-5]

Kablosuz Sensör Ağlar (KSA), algılayıcı düğümlerin topladıkları veriyi bir baz istasyonuna göndermeleri şeklinde çalışır. Burada iki algoritma çeşidiyle karşılaşılmaktadır. Bunlar; 1-) En az yaşam süresini en iyilemek. 2-) Toplam enerji harcamasını en aza indirmek.[6] KSA'ların farklı koşullar altında, algılayıcıların güç kaynakları yenilenmeden uzun süre çalışması beklenmektedir. Binlerce düğümden oluşabilecek KSA'larda bu yüzden yaşam süresinin en iyileme edilmesi gerekmektedir. Ağ içindeki trafiğin dengeli bir şekilde yönlendirilmesi algılayıcıların enerjilerini uzun süre kullanabilmesi için önemli bir etkidir. Bu problem bir en iyileme problemi olup en iyileme probleminin çözümünde doğrusal programlama kullanımı yaygındır. Bir KSA sisteminin yaşam süresi ağda enerjisi biten ilk düğümün yaşam süresi ile tanımlıdır.

KSA'lar, düğümlerin topladıkları veriyi baz istasyonuna göndermeleri suretiyle çalışırlar. Bu gönderme işlemini direk olarak da yapabilirler, başka algılayıcılar aracılığı ile de yapabilirler. Verilerini kendi etraflarında her yöne doğru gönderim yaparlar. Bu çalışmada KSA'ların yaşam sürelerini uzatmanın yanı sıra bu verilerin istenmeyen alıcılara tarafından dinlenmesi istenmemektedir. Bu konuda ilk olarak, sanal bir mesafe belirlenerek bu mesafeden uzağa kablosuz algılayıcıların verilerini göndermeleri engellenmektedir. Daha sonrada istenmeyen algılayıcıların durumlarına göre kablosuz algılayıcıların verilerini gönderebilecekleri mesafeler kısıtlanmaktadır. Bu proje kapsamında algılayıcıların yuvarlak bir alana rasgele yerleştirilmiş olduğu ve baz istasyonunun da farklı yerlerde olduğu kabul edilmektedir.

Bu çalışma şu şekilde yapılandırılmıştır; 2. bölümde sistem modeli tanımlanmıştır. 3. bölümde yaşam süresini maksimum hale getirmek için LP formülasyonu yapılmıştır. Simülasyon sonucu 4. bölümde verilmiştir. 5. bölümde de yapılacak olan ve ilişkili çalışmalardan bahsedilmiştir.

2. Model

Bu projede, [2] de anlatılan enerji modeli kullanılmaktadır. Bu modelde verinin işlenmediği kabul edilmiştir. Bir bitlik bilginin gönderilmesi ve alınması için gereken enerji modelleri aşağıda gösterilmektedir;

$$P_{tx,ij} = \rho + \varepsilon d_{ij}^{\alpha} \quad (1)$$

$$P_{rx} = \rho \quad (2)$$

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

P_{rx} : 1 bitlik veriyi almak için harcanan enerji

ρ : algılayıcının elektronik devresindeki enerji harcanımı

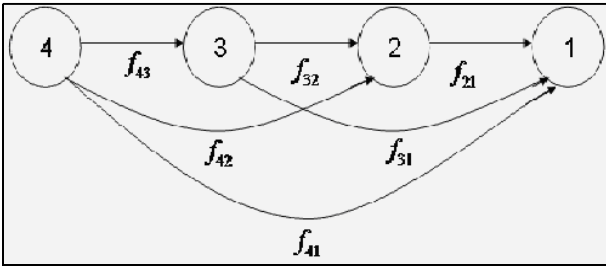
ε : alıcı-vericinin verimliliği

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

α : yol kayıp vektörü

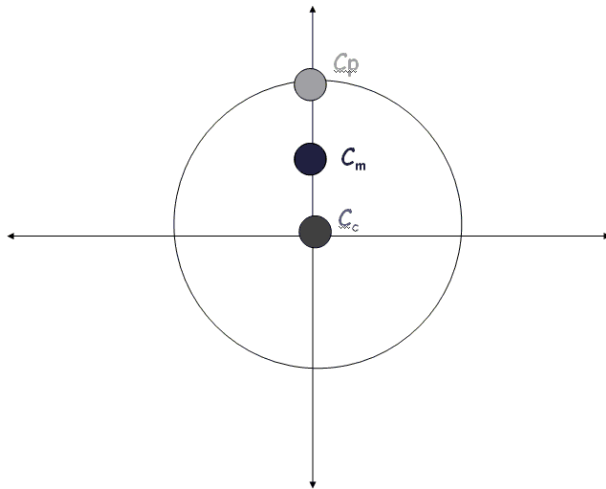
2.1. Modeldeki Veriler

Bu çalışmada sistem parametreleri olarak $\rho = 50 \mu\text{J}$, $\varepsilon = 100 \text{ pJ}$, $\alpha = 2$ seçilmiştir. Şekil1'deki doğrusal topoloji benzeri N adet algılayıcı düğümü rastgele yuvarlak bir ağa yerleştirilmiştir.



Şekil 1: Doğrusal Topoloji

Baz istasyonları da şekil2'de gösterildiği gibi 3 farklı yerde bulunmaktadır. İncelemeler farklı algılayıcı düğümü sayıları için yapılmakta ve ayrıca düğümlerin başlangıç enerjileri 2 Joule olarak kabul edilmektedir.



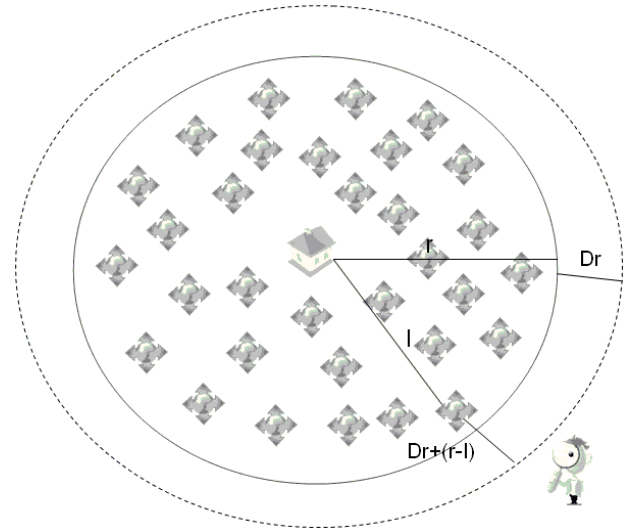
Şekil 2: Baz İstasyonların Konumları

2.2. Modelin Çalışma Mantığı

Proje çalışma mantığı [2]'de belirtilen yaşam süresi tanımı üzerine kurulmuştur. Bu tanıma göre yaşam süresi, enerjisi ilk biten algılayıcı düğümün kullandığı süredir.

Çalışırken, her düğümün birim zamanda s_i lik bilgi ürettiği aynı zamanda başka düğümlerden gelebilecek bilgileri yaşam süresini maksimize edecek şekilde merkez istasyonuna direk olarak ya da başka düğümler aracılığıyla ilettiği kabul edilmiştir.

Ayrıca şekil3'de görüldüğü gibi baz istasyonu merkezde(C_c) olduğu bu iletim esnasında da algılayıcı düğümün bilgiyi belli bir mesafeden daha uzağa göndermesi engellenerek dışarıdaki istenmeyen dinleyiciye verilerin gönderilmemesi sağlanmaktadır.



Şekil3: Sensor Düğümlerin Dağılımı ve İstenmeyen Dinleyicinin Gösterimi

Şekil3'deki gibi bir ağ yapısında, algılayıcı düğümlerin verilerini gönderebilecekleri en fazla mesafe $Dr+(r-l)$ ile hesaplanmaktadır. Buradaki r yuvarlak ağın yarıçapını, l veri gönderecek olan algılayıcının merkez algılayıcıya olan mesafesini, Dr de ağı kapsayan sanal bir sınırın ağın en dış kısmına olan mesafesini göstermektedir. Bu hesaplamalarla algılayıcı en fazla $Dr+(r-l)$ kadarlık bir yarıçap alanında verilerini gönderebilmektedir. Bu hesaplamaların hepsi baz istasyonu yarıçapın tam ortasında bulunduğu(C_m) ve ağın tam dış kenarında olduğu(C_p) noktalar içinde hesaplanmaktadır.

3. Lineer Programlama Formülasyonu

Algılayıcı düğümlerin minimum yaşam süresi olan t' yi maksimize etmek için en iyileme problemi, aşağıdaki kısıtlara sahiptir;

Maximize t

$$f_{ij} \geq 0 \quad (1)$$

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

$$\lambda_i \geq d_{ij} \quad i \in [2, N] \quad (3)$$

$$t \left\{ \left[P_{rx} \sum_j f_{ji} \right] + \left[\sum_j P_{tx,ij} f_{ij} \right] \right\} \leq e_i \quad i \in [2, N] \quad (4)$$

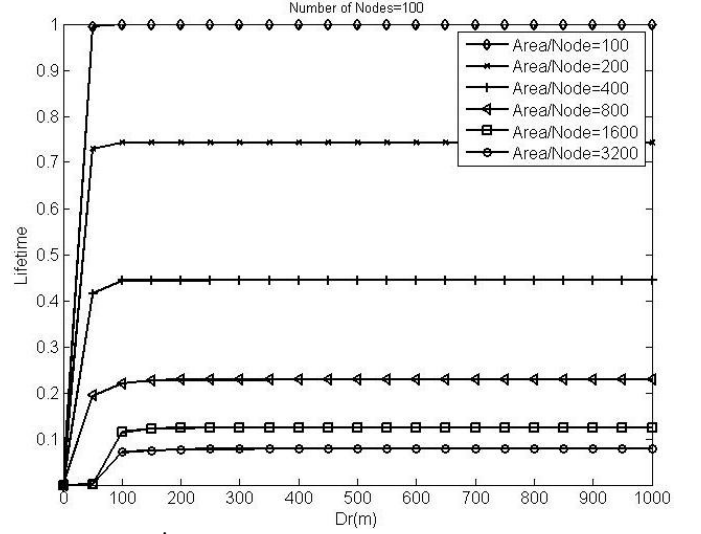
Bu kısıtlardaki; f_{ij} i düğümünden j düğümüne gönderilen veriyi, f_{ji} i düğümünün j düğümünden aldığı veriyi, s_i i düğümünün birim zamanda ürettiği veriyi, d_{ij} i düğümü ile j düğümü arasındaki veri gönderim mesafesini, λ_i i düğümünün en fazla gönderebileceği mesafeyi, $P_{tx,ij}$ 1 bitlik verinin gönderimi için harcanan enerjisi, P_{rx} 1 bitlik veriyi almak için harcanan enerjisi, e_i i düğümünün enerjisini göstermektedir.

Baz istasyonu hariç diğer bütün düğümlerin bu kısıtlamalara uygun bir şekilde en iyi sonuç elde etmeleri sağlanmaktadır. Burada ilk kısıt, bütün akışların negatif olmayan bir değer olduğunu göstermektedir. İkinci kısıt, toplamda bir düğümden çıkan bilgilerden, toplamda o düğüme giren bilgiler çıkarıldığında düğümün geçen sürede ne kadar veri ürettiğini vermektedir. Üçüncü kısıt, düğümün gönderebileceği mesafenin belirtilen mesafeden daha fazla olmamasını, dördüncü kısıt ise veri alırken ve yollarken harcanan enerjilerin toplamının düğümün ilk enerjisinden fazla olamayacağını söylemektedir. Burada ayrıca ağ dinleme ve tahmin etme enerjileri de vardır fakat bu çalışmada göz ardı edilmektedir. Veri gönderimi, alımı ve üretimi üzerinde yoğunlaşmıştır.

4. Sonuç

Kablosuz sensör ağların yaşam sürelerini baz istasyonunun yeri değiştirilerek, ağın dışından dinlenmemesi için birçok algılayıcı düğüm yoğunluğu ve farklı algılayıcı düğüm sayıları açısından birçok deneme ve gözlem yapılmıştır. Bu deneme ve gözlemler matlab ortamında gerçekleştirilmiş, birçok grafik ve veri elde edilmiştir. Baz istasyonu merkezde olacak şekilde (C_c), 100 m² olarak belirlenen algılayıcı düğüm yoğunluğunda, D_r olarak ifade edilen mesafelerle kısıtlama yapılmış ve yaşam süreleri elde edilmiştir.

Alınan bu değerlerin yanı sıra farklı algılayıcı düğüm yoğunlukları için alınan değerlerle elde edilen grafik şekil4'de gösterilmiştir. Grafiklerde alınan değerler en fazla alınan değere göre ölçeklenmektedir. Böylelikle normalizasyon sağlanmıştır. Grafikteki alınan veriler baz istasyonumuz şekil2'de görüldüğü gibi (C_c) merkez noktasında kabul edilerek elde edilmiştir. Burada algılayıcı düğüm sayımız 100 olarak sabit belirlenmiştir.



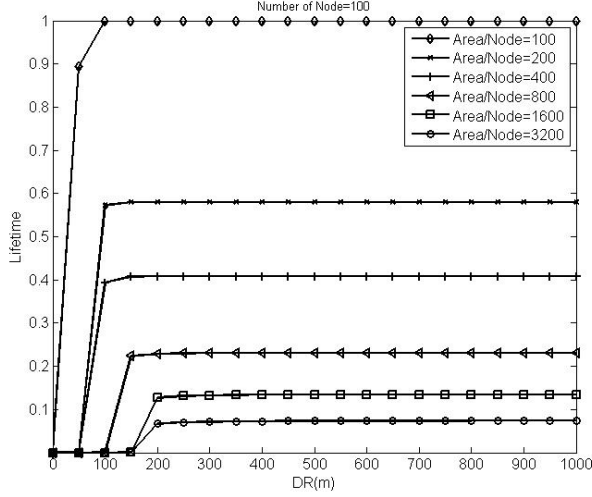
Şekil4: Baz İstasyonunun Merkezde Olma ve Algılayıcı Düğüm Sayısının Sabit Olma Durumlarında Farklı Algılayıcı Düğüm Yoğunlukları İçin Yaşam Süresi Gösterimi

Şekil4'den anlaşılacağı üzere D_r kısıtı arttıkça, yani sınırlanan alan genişledikçe, yaşam süremiz artmaktadır. Çünkü algılayıcıların verilerini gönderebilecekleri mesafe genişlemektedir ve bir değerden sonra sabitlenmektedir. Yani o değerden sonra kısıtın önemi kalmış olmaktadır. Çünkü algılayıcıların verilerini gönderebilecekleri mesafe kısıtı bir derece ortadan kalkmaktadır. Ayrıca burada birde gözlemleyebileceğimiz algılayıcı düğüm yoğunlukları genişledikçe yaşam süremiz azalmaktadır. Bunu da nedeni düğümlerin verilerini gönderecekleri mesafenin artmasıdır.

Şekil4'de farklı algılayıcı düğüm yoğunlukları için alınan sonuçlar aynı grafik üzerinde gösterilmektedir. Algılayıcı düğüm yoğunluklarının genişlemesi ağımızın yaşam süresini kısıtladığı görülmektedir. Bunun en önemli nedeni; algılayıcı düğüm yoğunluklarının artmasıdır. Şekil4'teki 1600 ve 3200 de algılayıcı sayımız sabit olduğu için algılayıcıların yerleşim yerleri arasındaki mesafeler artmaktadır. Aynı zamanda algılayıcıların verilerini gönderebilecekleri alanı kısıtladığımız için yani başlangıçtaki sanal alan sinirinin dar olmasından dolayı hiçbir veri iletimi olamamaktadır. Sanal alan kısıtı genişledikçe, yaşam süresinin arttığı gözlenmektedir. Ayrıca 100 m² lik algılayıcı düğüm yoğunluğu için elde edilen veriler ilk D_r değerinden itibaren yaşam süresi olduğunu göstermektedir. Bir noktadan sonra yaşam süresindeki artış sabitlenmektedir.

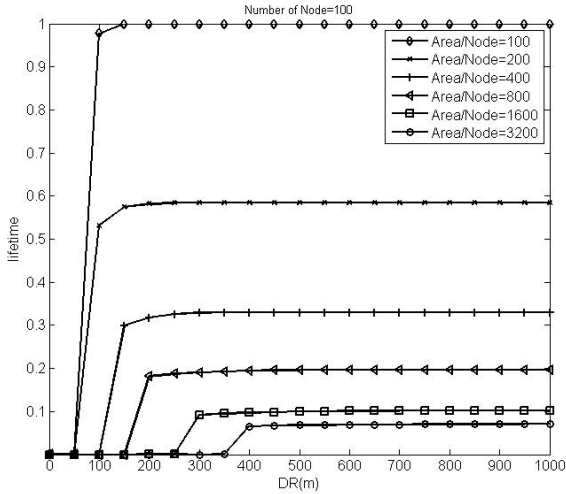
Grafiklerden görüldüğü üzere KSA'ların algılayıcı düğüm yoğunlukları arttıkça yaşam süresi azalmaktadır. Çünkü algılayıcı düğümlerin verilerini gönderebilecekleri mesafeler artmaktadır. Mesafeler arttıkça gönderim için kullanacakları enerji artmaktadır. Bu nedenlerden dolayı da KSA'ların yaşam süreleri kısalmaktadır.

Şekil5'te yine farklı algılayıcı düğüm yoğunlukları için fakat baz istasyonumuz şekil2'deki (C_m) gibi yarıçapın yarısı kadar yer değiştirmiş olduğu andaki alınan verileri gösterilmektedir.



Şekil5: Baz İstasyonunun, Merkezle Sınır Arasında Olma ve Algılayıcı Düğüm Sayısının Sabit Olma Durumlarında Farklı Algılayıcı Düğüm Yoğunlukları İçin Yaşam Süresi Gösterimi

Baz istasyonun yarıçapın yarısı kadar yer değiştirmesi en çok algılayıcı düğüm yoğunluğunun az olduğu durumlarda fark edilmektedir. Bunun da en büyük nedeni algılayıcı düğümlerin birbirlerine olan mesafelerinin artmasıdır. Böylece KSA'ların yaşam süreleri Şekil5'te oluşan grafik gibi görüntülenmektedir.



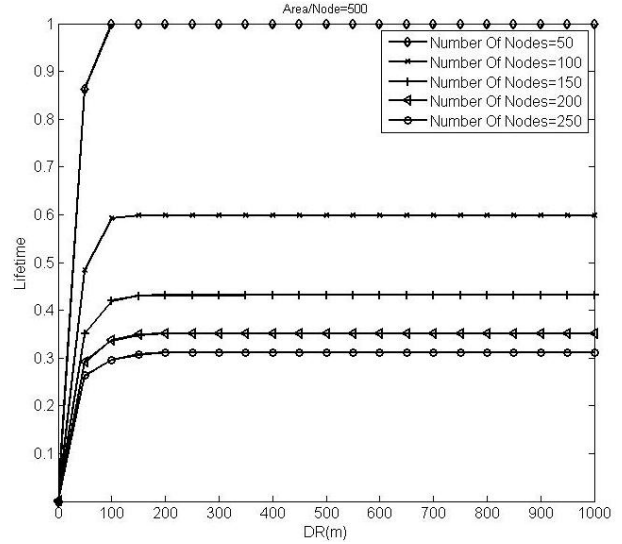
Şekil6: Baz İstasyonunun Sınırdaki Olma ve Algılayıcı Düğüm Sayısının Sabit Olma Durumlarında Farklı Algılayıcı Düğüm Yoğunlukları İçin Yaşam Süresi Gösterimi

Şekil6'da yine farklı algılayıcı düğüm yoğunluklarında fakat baz istasyonumuz şekil2'deki (C_p) gibi yarıçap mesafesinde yer değiştirerek ağın tam dış kenarında olduğu andaki alınan verileri gösterilmektedir.

Baz istasyonumuzun giderek en iyi yerinden uzaklaşması yaşam süremizi olumsuz yönde etkilemektedir. Bu olumsuzluk bütün farklı yoğunluklar için şekil6'da açık olarak görülmektedir. KSA'ların ilk hayata geçiş süreleri bir hayli Dr alanın genişlemesine bağlı olduğu da gözlemlenmektedir.

Çalışmanın bir sonraki adımı olarak KSA'nın algılayıcı düğüm yoğunluğunu 500 m^2 olarak sabit tutarak, algılayıcı düğüm sayısının değişimine göre gözlemlenmelerde bulunmuş ve veriler bulunarak, farklı grafikler elde edilmiştir.

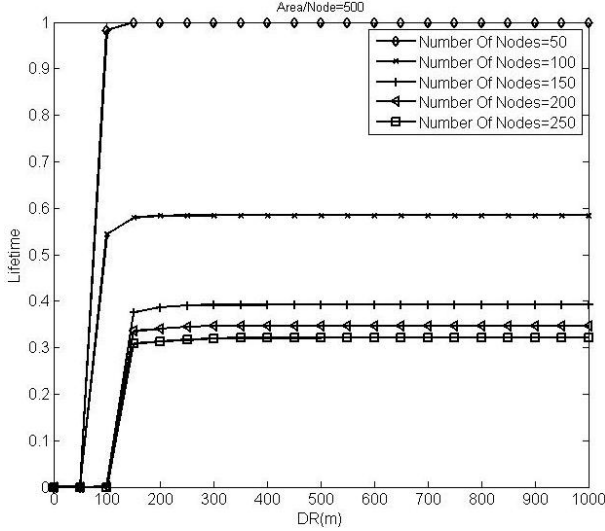
Şekil7'de baz istasyonumuzun şekil2'deki gibi (C_c) merkez noktada olduğu kabul edilerek, algılayıcı düğüm sayımızın farklı değer aralıkları için grafiği görülmektedir.



Şekil7: Baz İstasyonunun Merkezde Olma ve Algılayıcı Düğüm Yoğunluğunun Sabit Olma Durumlarında Farklı Algılayıcı Düğüm Sayıları İçin Yaşam Süresi Gösterimi

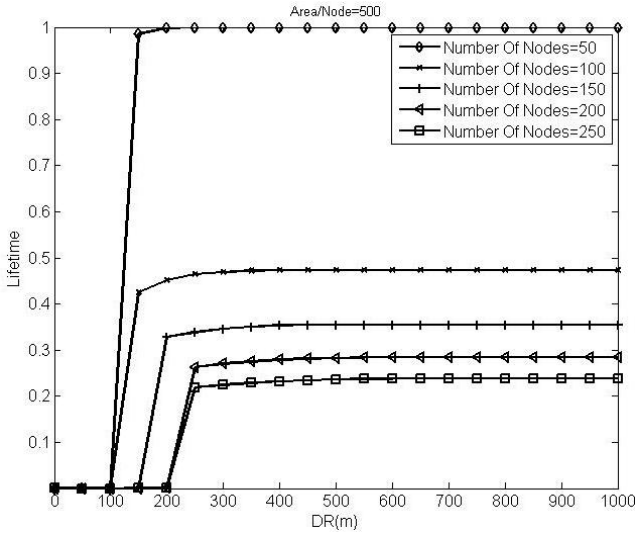
Baz istasyonumuzun merkezde yani en iyi yerde olduğu bu durumda algılayıcı düğüm sayısının farklı olması yaşam süresi için Dr mesafesinin ilk değerlerinde şekil5 ve 6'nın tersine pek önem taşımadığı şekil7'de gözlemlenmektedir. Fakat büyüyen Dr mesafesiyle yaşam süresindeki değişiklik, algılayıcı düğüm sayısı arttıkça yaşam süresindeki artış oranı olumsuz yönde etkilenmektedir.

Şekil8'de baz istasyonumuzun şekil2'deki gibi baz istasyonu yarıçapın tam ortasında bulunduğu (C_m) yani yarıçapın yarısı kadar yer değiştirdiği kabul edilerek, algılayıcı düğüm sayımızın farklı aralıkları için grafiği görülmektedir.



Şekil8: Baz İstasyonunun, Merkezle Sınır Arasında Olma ve Algılayıcı Düğüm Yoğunluğunun Sabit Olma Durumlarında Farklı Algılayıcı Düğüm Sayıları İçin Yaşam Süresi Gösterimi

Şekil7 ile şekil8 arasındaki farkları incelenecek olursa ilk göze çarpan Dr mesafesinin az olduğu yerlerde yaşam süresinin az olduğudur.



Şekil9: Baz İstasyonunun Sınırdan Olma ve Algılayıcı Düğüm Yoğunluğunun Sabit Olma Durumlarında Farklı Algılayıcı Düğüm Sayıları İçin Yaşam Süresi Gösterimi

Yukarıdaki grafikte baz istasyonumuz şekil2'deki (C_p) gösterildiği gibi yarıçap kadar yeri değiştirilmiştir. Baz istasyonu C_p de iken rasgele yerleştirilmiş olan farklı algılayıcı düğümleri sayısına göre veriler alınmış ve şekil9'da ki grafik elde edilmiştir.

Şekil9'da açıkça baz istasyonunun merkezden uzaklaşması yaşam süremizi olumsuz yönde etkilediği kesin olarak görülmektedir. Algılayıcı düğüm sayısı da bunu tetiklemektedir ve yaşam süresi oldukça daralmaktadır.

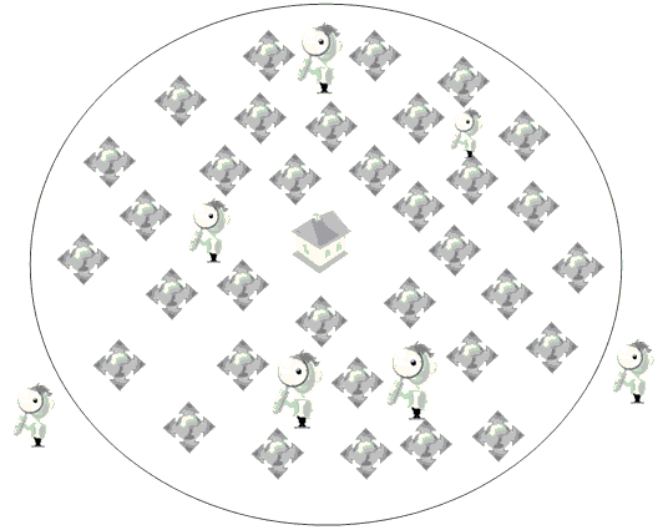
Yapılan bu araştırmalarla, algılayıcı düğüm sayısının sabit olduğu, farklı algılayıcı düğüm yoğunluklarında baz

istasyonunun merkezde olması en iyi süreyle devamlılığı sağladığı gözlemlenmektedir. Diğer bir açıdan da sabit algılayıcı düğüm yoğunlukları ve farklı algılayıcı düğüm sayıları için bakıldığında yine baz istasyonunun merkezde olması en iyi yaşam süresini sağlamaktadır.

Bu çıkarımlar, farklı algılayıcı düğüm yoğunlukları ve farklı algılayıcı düğüm sayıları için elde edilen verilerle oluşturulan grafiklerden yorumlanmaktadır.

5. Yapılacak Çalışmalar

Bu araştırma kapsamında KSA'larda istenmeyen dinleyicinin dışarıda olduğu varsayılarak, farklı baz istasyonu yerlerinde, farklı ağ alan boyutlarında ve farklı algılayıcı düğüm sayılarında yaşam süresi iyileşmesi yapılmaktadır. İstenmeyen dinleyicilerin şekil10'da görüldüğü gibi ağ içerisinde olabileceği ve birden çok olabileceği durumlar üzerine araştırma ve çalışmalar yapılabilir.



Şekil10: Sensor Düğümlerin Dağılımı ve İstenmeyen Birden Çok Dinleyicinin Ağ İçerisindeki Gösterimi

6. Kaynakça

- [1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci, "Wireless Sensor Networks" A Survey Elsevier Computer Networks, (2002).
- [2] Z. Cheng, M. A. Perillo, and W. B. Heinzelman, "General Network Lifetime and Cost Models for Evaluating Sensor Network Deployment Strategies" IEEE Trans. on Mobile Computing vol. 7, pp. 484-497, 2008.
- [3] W. B. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "An application specific protocol architecture for wireless microsensor networks," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 1, pp. 660-670, 2002.
- [4] L. Zhou and Z. Haas, "Securing ad hoc networks" IEEE Network, vol. 13, no. 6, pp. 24-30, (1999).
- [5] A. Perrig, R. Szewczyk, D. Tygar, V. Wen, and D. Culler, "SPINS: security protocols for sensor networks" Wireless Networks, vol. 8, no. 5, pp. 521-534, 2002.
- [6] S.C. Ergen and P. Varaiya, "On Multi-hop Routing for Energy Efficiency", IEEE Communication Letters, vol.9, no.10, pp.880-881, October 2005.