

Telsiz, tasarsız ve duyarga ağlar için kaynak-başlatmalı coğrafi veri akış yöntemi

Müjdat SOYTÜRK*, D. Turgay ALTILAR

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Tasarsız (ad hoc) ve duyarga (sensör) ağlar, altyapısız ağlar olduğu için altyapılı ağlarda bol miktarda bulunan enerji, işlemci, bellek, bantgenişliği gibi kaynaklar kısıtlıdır ve özenle tüketilmelidir. Ağ elemanlarının boyutlarının çok küçük olması, enerjiyi en kısıtlı kaynak yapmaktadır. Ancak, kaynak ile varış arasında veri akışının sağlanması için kullanılan yöntemler enerji tüketimini arttırmaktadır. Bu nedenle, literatürde enerji-etkin yönlendirme protokolleri sunulmuştur. Bu protokollerden, coğrafi yer bilgisine dayanarak yönlendirme yapan protokoller, diğerlerine göre daha yüksek başarıma ve performans değerlerine sahiptir. Bu çalışmada, Durumsuz Ağırlıklı Yönlendirme (DAY) isimli bir özgün kaynak-başlatmalı veri akış tekniği sunulmaktadır. Düğümler sadece kendi sanal coğrafi yer bilgilerini bilmekte, ağ topolojisi bilgisine ihtiyaç duymamaktadır. Her düğüm kendi ağırlığını hesaplamaktadır. Başlangıçta bu değer varışa olan mesafedir. Düğümler kendilerine gelen paketlerin içindeki ağırlık bilgilerine bakarak paketi tekrar göndermeye veya düşürmeye karar vermektedir. Bu karşılaştırma işlemi durumsuz olma özelliğini sağlamaktadır. Ağırlık parametresi sadece yer bilgisini içerebildiği gibi düğümün kalan enerjisi gibi Servis Kalitesi parametre bilgisini de içerebilir. Servis Kalite bilgisi sistemin yaşamömrünü arttırmaya yöneliktir. Durumsuz olma özelliği ile de, yönlendirme tablosu tutulan algoritmalarda görülen iletişim yükü büyük oranda azalmaktadır. DAY, aynı zamanda, güvenilirliği sağlayan ve gerçek-zamanlı veri için de gerekli olan çoklu-yollar veya örülü çoklu-yollar kullanır. Tekrar-gönderimlerde eşik değerlerinin kullanımı, sistemde esnek ve enerji etkin bir veri akışı sağlar. Aynı zamanda, DAY, MAC-katmanından bağımsız çalışan ilk durumsuz coğrafi yönlendirme tekniğidir.

Anahtar Kelimeler: Kablosuz ağlar, gezgin ağlar, sensör ağlar, iletişim, yol atama, yönlendirme.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Müjdat SOYTÜRK. msoyturk@dho.edu.tr; Tel: (262) 414 74 40.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Programında tamamlanmış olan "A Novel Communication Approach for Wireless Mobile Smart Objects" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 04.07.2007 tarihinde dergiye ulaşmış, 01.08.2007 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.03.2009 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Source-initiated geographical data flow approach for wireless ad hoc and sensor networks

Extended abstract

Routing without tables can be achieved by using location information of the nodes retrieved from GPS (Global Positioning System) or by applying a localization algorithm. In geographic routing protocols, nodes know their actual or relative positions with respect to a reference point, and share this information with immediate neighbour nodes for routing process. Geographic routing protocols use only local topology information and do not have any update overhead. Therefore, they provide scalability in mobile networks with respect to conventional routing protocols.

Geographic routing protocols use greedy scheme or beaconless scheme for routing. In greedy schemes, nodes select the best next node on the route by using the local topology information. Collecting local topology information in greedy schemes consumes more energy than beaconless schemes due to reduced transmissions in the latter one. On the other hand, beaconless routing protocols in the literature propose solutions to be implemented at the MAC (Medium Access Control) layer. In those solutions, RTS (Request To Send) and CTS (Clear To Send) packets are also used for implementing routing protocol that increases the complexity of the MAC layer. However, sorting routing problem at the MAC layer is against the well-defined communication architecture. Besides that, those solutions become dependent to the MAC layer they use.

In this study, a novel stateless data flow approach and routing algorithm for wireless sensor networks is proposed which is completely MAC-layer independent. Nodes do not have to be aware of local or global topology information. Routing is achieved without keeping tables. Nodes' geographical positions are sufficient for routing process. A new metric called weight that is derived from nodes' own position is used in routing process. The position can be either geographical or relative to a reference point system wide. Instead of the position, the weight value of the transmitting node is inserted into the packet. Each node on the route involves in routing process by considering its weight and the

information in the received packet. To limit the number of forwarding nodes, a threshold is set in terms of the weight metric. On a packet receive; a node broadcasts the packet if its weight is between the weights of the transmitting node and the destination node and if also its weight difference greater than the threshold value. Besides that, decision to transmit includes QoS parameters such as power-left at the node to keep energy-limited nodes out of the route. The threshold value can be adjusted to save energy by limiting the number of retransmitting nodes. The threshold value can also be adjusted for reliability. More relaying in number causes the data to flow over multiple paths. Data transportation over multiple paths provides reliability. Reliability requirements challenge with the energy saving requirements. Therefore, threshold value can be used to balance these requirements as needs. Thirdly, the threshold value can be adjusted for void recovery. In case of void detection, the transmitting node decreases the threshold value allowing more nodes to be in data flow algorithm. By this way, nodes that may circumvent the void are forced to relay the data packets. Fourthly, the threshold value should be adjusted according to the node density in the network. In dense networks, the threshold value can be set to be high by default to limit the retransmitting nodes. In non-dense networks, the threshold value can be set to be low. The proposed algorithm, SWR, has the following properties:

- SWR provides scalability by not using routing tables, and by not beaconing.
- SWR simplifies routing process by using a weight metric and designing an appropriate algorithm for routing.
- SWR decreases calculations, delay, and resource requirements (such as processor and memory) at nodes by using weight metric.
- SWR decreases energy consumption by not beaconing, by using position-based routing based on threshold and considering the energy levels of the nodes.
- SWR provides reliability by using multipaths.
- SWR executes routing process completely in network layer, independent from the MAC layer used below.

Keywords: Wireless networks, mobile networks, sensor networks, communications, routing, network layer.

Giriş

Tablo kullanmadan yönlendirme, düğümlerin GPS (Global Positioning System/Global Konumlandırma Sistemi) veya bir yer belirleme algoritması ile elde edilen yer bilgilerini kullanarak da yapılabilir. Coğrafi yönlendirme protokollerinde, düğümler, kendi gerçek veya belirli bir referans noktasına göre bağlı yer bilgilerini bilmekte ve bu bilgileri yönlendirme için en yakın komşuları ile paylaşmaktadır. Coğrafi yönlendirme protokollerinde yerel topoloji bilgisi tutulduğundan tablo güncelleme yükü olmamaktadır. Böylece, diğer bilinen yönlendirme algoritmalarına göre gezgin ağlarda daha ölçeklenebilir sonuçlar verir. Coğrafi yönlendirme protokolleri, yönlendirme için açgözlü yöntemini veya yer-bilgisi-yayinsız yöntemini kullanmaktadırlar. Açgözlü yöntemlerde (Karp ve Kung 2000; Giordano vd., 2004; Mauve vd., 2001; Araujo ve Rodriges, 2006), düğümler yol üzerindeki bir sonraki en iyi düğümü yerel topoloji bilgisinden yararlanarak seçerler. Açgözlü yöntemlerinde yerel topoloji bilgisi toplama işlemi, yer-bilgisi-yayinsız yöntemlere göre daha fazla enerji tüketmektedirler. Diğer taraftan, literatürdeki yer-bilgisi-yayinsız yönlendirme protokolleri (Fuessler vd., 2003; Heissenbuttel ve Braun, 2003; Chawla vd., 2006; Heissenbuttel vd., 2006), MAC (Medium Access Control) katmanında uygulamalar içeren çözümleri önermektedir. Bu çözüm önerilerinde, MAC katmanının karmaşıklığını arttıran ve RTS (Request To Send) ve CTS (Clear To Send) paketlerini içeren yöntemler kullanılmaktadır. Fakat, yönlendirme probleminin MAC katmanında çözülmesi, standart-iletişim mimari yapısına aykırıdır. Bunun yanında, bu çözümler, kullanılan MAC katmanına bağımlı hale gelmektedir.

Bu çalışmada, telsiz duyurga ağlar için kullanılan ve tamamen MAC katmanından bağımsız çalışan bir özgün durumsuz veri akış yaklaşımı ve yönlendirme algoritması sunulmaktadır. Bu yaklaşımda düğümler, yerel veya global yer bilgisine ihtiyaç duymamaktadır. Yönlendirme, tablo tutulmadan yapılmaktadır. Düğümlerin coğrafi yer bilgileri yönlendirme işlemi için yeterlidir. Bununla beraber, yönlendirme işlemin-

de kullanılan ve düğümlerin yer bilgisinden elde edilen bir ağırlık ölçütü kullanılmaktadır. Yer bilgisi, sistem çapında geçerli gerçek veya bir referans noktasına bağlı bir yer bilgisi olabilir. Gönderilen paketlerin içine gerçek yer bilgisi yerine, yer bilgisinden elde edilen ağırlık değerleri konulmaktadır. Düğümler, kendi ağırlıkları ile paket içindeki ağırlıkları karşılaştırarak yönlendirme işlemine katılırlar. Tekrar gönderim yapacak düğümlerin sayısını kısıtlamak için ağırlık ölçütü cinsinden bir eşik değeri kullanılmaktadır. Bir düğüme paket geldiğinde, kendi ağırlığı paketin içinde yer almakta olan son gönderen düğümün ağırlığı ile varış düğümü ağırlığı arasında ise ve ağırlık farkı eşik değerinden büyükse, paketi tekrar yayımlar. Bunun yanında, gönderme işlemindeki karar süreci, düğümlerde kalan enerjiyi dikkate alınmasıyla enerjisi az olan düğümlerin yol üzerinde yer almasını engelleyecek Servis Kalitesi parametrelerini de içermektedir.

Önerilen DAY algoritması aşağıdaki özelliklere sahiptir:

- DAY, yer bilgisi yayınlamadığı ve yönlendirme tablosu tutmadığı için ölçeklenebilirliği sağlamaktadır.
- DAY, ağırlık ölçütü ve buna uygun bir yönlendirme algoritması kullanarak yönlendirme işlemi basitleştirmiştir.
- DAY, ağırlık ölçütü sayesinde düğümlerdeki hesaplama işlemlerini, zaman gecikmelerini ve kaynak (bellek ve işlemci gibi) ihtiyaçlarını azaltmaktadır.
- DAY, yer-bilgisi-yayını yapmayarak ve eşik değeri ve yer bilgisine göre yönlendirme yaparak enerji tüketimini azaltmaktadır.
- DAY, çoklu-yol ile güvenilirliği sağlamaktadır.
- DAY, yönlendirme işlemi MAC katmanından bağımsız olarak tamamen ağ katmanında yapmaktadır.

Konu ile ilgili mevcut çalışmalar

Tasarsız ağlar için yer bilgisini kullanarak yönlendirme yapan algoritmaları Giordano ve diğerleri (2004) ve Heissenbuttel ve diğerleri (2006) sınıflandırmıştır. Literatürdeki önerilen proto-

kolleri Giordano ve diğerleri (2004), Mauve ve diğerleri (2001), Araujo ve Rodriges (2006), Akkaya ve Younis (2005) ve Soytürk ve Altılar (2006) incelemiştir. İlk önerilen yer bilgisine dayalı yönlendirme algoritmaları mesafeye veya açığa dayalı ölçütlerden biri ile beraber açgözlü yaklaşımı kullanmaktadır. Varışa doğru varolan bir yol, global bir topoloji bilgisi ile bulanabilecek iken, açgözlü yaklaşımların yerel topoloji bilgisini kullanması nedeniyle yol bulunamayabilir. Bunun yanında, yer-bilgisi-yayını yapan açgözlü yaklaşımlar yer-bilgisi-yayını nedeniyle çok fazla enerji tüketmekte ve kontrol trafik yükü getirmektedirler. Ayrıca, gezginlik, düğümlerin ölmesi, iletişim ortamı bozuklukları, aktif ve uyku modları arasında geçiş yapan enerji-tüketimi-azaltma mekanizmaları nedeniyle yerel ağ topolojisi hakkında ön-bilgi sağlama işlemi performansı düşürmekte ve ölçeklenebilirliği azaltmaktadır. Bu nedenle, durumlu (tablo-tutan) protokoller tasarsız ağlar gibi ağlar için uygun değildir. Durumsuz (tablo-tutmayan) protokoller ise topolojik değişikliklerden ve ağ dinamiklerinden çok fazla etkilenmediğinden, tasarsız ağlar için daha uygundur. Fakat, yönlendirme işleminde, taşkın yönteminde olduğu gibi enerjiyi hızla tüketen yayım tekniğini kullanırlar. Parametreye-dayalı çözüm yaklaşımları ile tekrar-yayım yapacak düğüm sayısı düşürülebilir. Yer-bilgisine-dayalı durumsuz yaklaşımlar kendisinden sonra tekrar-yayım yapacak düğümü seçerek yayım sayısını düşürmektedir.

Önerilen durumsuz algoritmalar (Fuessler vd., 2003; Heissenbuttel ve Braun, 2003; Chawla vd., 2006; Heissenbuttel vd., 2006), standart iletişim protokol mimarisine aykırı olan MAC-katmanını içeren çözümlerle yönlendirme yapmaktadır. Ayrıca, kullanılan MAC katmanına bağımlı kalmaktadır. Genellikle telsiz ortama erişimde IEEE 802.11 protokolünü kullandıklarından bu protokole bağımlı kalmaktadırlar. Fakat, standart iletişim protokol mimarisinde, zamanlama ve paket gönderim sıralaması MAC katmanının bir görevidir. Diğer taraftan, tekli/çoklu/yayım şeklindeki paket gönderim kararları ağ katmanının görevidir. Yönlendirme ve düğüm adresleme MAC katmanı fonksiyonlarından bağımsız ve ayrı olmalıdır. Yönlendirme

fonksiyonunun MAC katmanının içine gömülmesi, yükü ve protokol karmaşıklığını arttırmakta ve yönlendirme protokolünü, kullanılan MAC yöntemine bağımlı hale getirmektedir. Daha da ötesi, önerilmiş mevcut durumsuz protokoller, paketlerin yeniden gönderim zamanlarının belirlenmesi ve zaman parametrelerinin yeniden hesaplanmasından dolayı MAC/ağ katmanına işlem yükü getirmektedir. Ayrıca, bu protokollerin performansı, düğüm ölümleri ve düğümlerin tahmin edilemeyen çökme ve canlanma hareketlerinden hassas olarak etkilenmektedirler.

Durumsuz ağırlıklı yönlendirme

Bu çalışmada, telsiz duyurga ve tasarsız ağlar için yeni ve özgün bir durumsuz ve yer-bilgisini yapmayan yönlendirme algoritması önerilmektedir. Önerilen yaklaşımın, mevcut diğer algoritmalarından farkı MAC katmanını yönlendirme işlemine dahil etmeden, yönlendirme işleminin tamamen ağ katmanında yapılmasıdır. Yönlendirme tablosu tutulmamakta ve yer-bilgisini yapmamaktadır. Yönlendirme işlemi, coğrafi yer bilgisini kullanarak kolayca yapılabilir. Fakat önerilen yönlendirme algoritmasında, coğrafi yer bilgisini yerine, başka bir değer, ağırlık değeri kullanılmaktadır. Her düğüm, kendi ağırlığını, mevcut yer bilgisinden dinamik olarak hesaplar. Ağırlık değerinin kullanılmasının iki önemli temel nedeni vardır. Birincisi, yönlendirme işlemini basitleştirmesi ve uygulanabilirliğini arttırmasıdır. İkincisi, düğümlerin yönlendirme işleminde karar aşamasında oluşan gecikmeyi, enerji tüketimini ve işlemci ihtiyaçlarını en aza indirmesidir.

Ağırlık fonksiyonu girdi parametresi olarak düğümün yer bilgisini (örneğin coğrafi yer bilgisini veya (x,y) gibi nisbi bir yer bilgisini) almakta ve ağırlık değerini üretmektedir. Ağırlık fonksiyonu, ağ yaşamömrü, düğümlerin yaşamömrü, acil durumlar (sessizlik vb.) gibi ağ performans ölçütlerini ve ağ parametrelerini eniyileştirmek için gerektiği şekilde değiştirilebilir. Böylece, yönlendirme işleminin yapılması ile beraber diğer parametrelerde eniyileştirilmiş olunur. Basit bir ağırlık fonksiyonu aşağıda olduğu gibidir:

$$f(x, y) = x^2 + y^2 \quad (1)$$

Bir düğümün gönderecek verisi olduğunda, kendi ağırlık değerini ve alıcının ağırlık değerini göndereceği paketin içine koyar ve paketi yayımlar. Bir düğüm paketi aldığı anda, kendi ağırlık değerini paketin içindeki ağırlık değerleri ile karşılaştırır. Eğer kendi ağırlık değeri, paketi gönderen düğümün ağırlık değeri ile varış düğümünün ağırlık değerinin arasında ise paketi yeniden yayımlar, aksi halde paketi düşürür.

Eğer harekât alanındaki düğümler düzgün dağılmışsa, paketi gönderen düğümün gönderim menziline içindeki düğümlerin yaklaşık yarısı paketi tekrar gönderecektir. Tekrar gönderim yapan düğümlerin sayısını azaltmak için ağırlık değeri cinsinden bir eşik değeri kullanılmakta ve gönderilen paketlerin içine konulmaktadır. Paketi alan düğümlerden, kendi ağırlık değeri ile paketin içindeki ağırlık değerinin farkı, eşik değerinden fazla olan düğümler tekrar gönderim yapabilir. Böylece, gönderen düğüme yakın olan düğümlerin tekrar gönderim yapması engellenmiş olunur. Tekrar gönderim yapan düğümler, varışa doğru mesafe olarak daha fazla yakın olan düğümlerdir. Aşağıdaki algoritmada görüldüğü gibi, Öklid mesafe hesabı hiç kullanılmamıştır. Sadece, ağırlık değerleri karşılaştırılmıştır. $w(i)$, i düğümünün ağırlığını ve $Diff(x,y)$ ise x ve y düğümlerinin ağırlık değeri farkını belirtmektedir.

Algoritma-Basitleştirilmiş Veri Akış
Algoritması

$$Diff(x,y) = w(x) - w(y)$$

If $((w(\text{gönderen})) > w(i) > w(\text{varış}))$ ve
 $(Diff(\text{gönderen}, i) > \text{eşik})$ **then**
yayımla;

Eşik değeri, tekrar-gönderimleri kısıtlamakta ve çok uzaktaki ve çok yakındaki düğümler yerine sadece daha güvenilir düğümlerin gönderim yapmasını sağlamaktadır.

Simülasyon ve değerlendirme

Simülasyon parametreleri

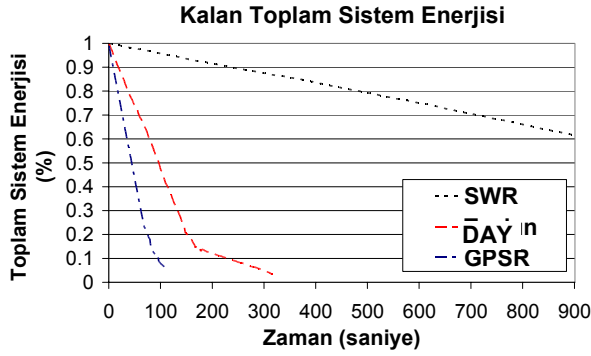
Bu bölümde, simülasyon sonuçları sunulmaktadır. Simülasyon ortamında paketlerin çatışma-

dan dolayı düşme benzetimi yapılmamıştır. Sonuçların literatürdeki diğer değerlendirmeler ile karşılaştırılabilir olması için Son ve diğerlerinin (2003) kullandığı parametre değerleri kullanılmıştır. Çift-mesafe özelliğini (double range property) sağlaması için düğümlerin duyurga menzili (R_s) 50 m ve gönderim menzili (R_c) 100 m'dir ($R_c/R_s = 2$). Elli adet düğüm iyi-tanımlı topoloji (well-defined topology) özelliğinde (Avin, 2005) düzgün bir şekilde 300 m x 500 m alana dağıtılmıştır. Ağ, Yu ve diğerlerinin (2005) belirttiği metodoloji kullanılarak dizayn edilmiştir. Düğümler, 0.05 paket/dakika olasılığı ile rastgele olarak paket üretip gönderim yapmaktadır. Varış düğümü, dörtgen alanın ortasında konuşlandırılmıştır.

Önerilen yaklaşım, mevcut diğer yaklaşımlardan taşkın yöntemi ve GPSR (Greedy Perimeter Stateless Routing) algoritması ile karşılaştırılmaktadır. GPSR algoritmasının benzetiminde, periyodik yer-bilgisi-yayını için Son ve diğerleri (2003) kullandığı 1 sn. değeri kullanılmıştır. DAY algoritması için eşik değeri $R_c/2$ olacak şekilde belirlenmiştir. Sonuçlar, 900 saniyelik simülasyonların 10 defa koşulmalarından sonra elde edilen ortalama değerlerdir. Enerji tüketim değerleri, paket alma için 1.05 joule ve paket gönderim için 1.4 joule 'dür. Simülasyon başlangıcında tüm düğümlere 1000 joule enerji verilmiştir. Simülasyonda daha çok enerji tüketim ölçütü ve yol atama yük ölçütü üzerinde odaklanılmıştır. Sonuçlar, yönlendirme işlemi yapılırken gönderme ve alma işleminde tüketilen enerji miktarları, ağ yaşamömrünün ölçülmesi ve ağdaki tüm düğümlerin ve ağın kalan enerji seviyelerinin ölçülmesi ve karşılaştırılması olarak değerlendirilmiştir.

Kalan enerji

Simülasyonlarda, hem düğümlerin hem de sistemin kalan enerji miktarları incelendi. Şekil 1'de görüldüğü gibi GPSR protokolü sistem enerjisini hızlı bir şekilde tüketmiştir. Simülasyonun başlangıcından 110 sn sonra varışa olan yol bulunamayarak simülasyon sonlanmaktadır (Tablo 1). Taşkın yönteminde, GPSR protokülüne göre sistem daha uzun yaşamakta ve yaşam ömrü ve sistem enerjisi bakımından daha iyi sonuç vermektedir.



Şekil 1. Protokollerin kalan sistem-enerjisi seviyeleri

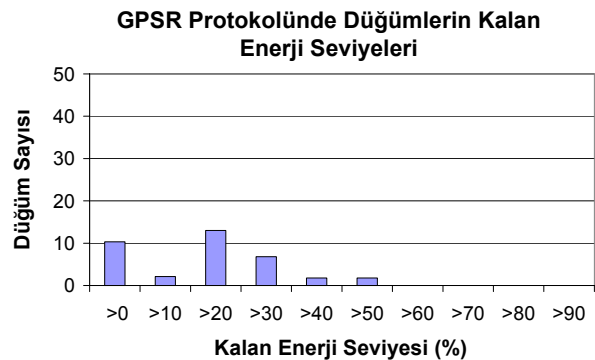
Tablo 1. Protokollerin performans değerleri

	Taşkın	GPSR	DAY
Ortalama sistem yaşamömrü	345 sn	110sn	>900sn
İlk ölen düğümün ölme zamanı	311 sn	80 sn	900 sn de HİÇ görülmüdü
Varış bulunamadığı zaman ölen düğümlerin ortalama sayısı	29	9	900 sn de HİÇ görülmüdü

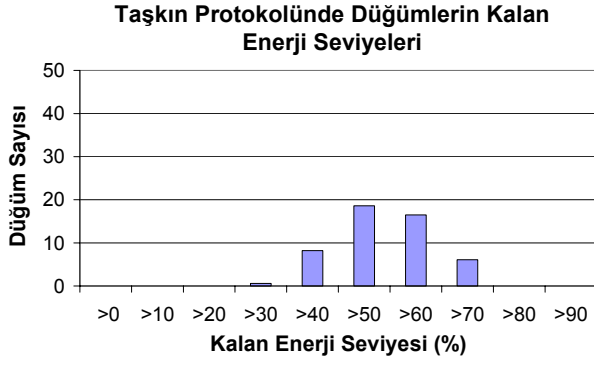
GPSR protokolünde enerjinin büyük kısmı yer-bilgisi yayın gönderimlerinde tüketilmektedir. Taşkın yönteminde ise enerji sadece yönlendirme işlemlerinde tüketilmektedir. GPSR protokolünün sonuçları, yer-bilgisi-yayını 1 saniyelik periyodlar ile yapıldığında elde edilen sonuçlardır. DAY protokolünde sistemin kalan enerji miktarı her simülasyon saniyesinde, hem taşkın yönteminden hem de GPSR protokolünden daha yüksektir. DAY protokolünde enerji sadece gönderimler sırasında yönlendirme işleminde tüketilmektedir. Bu nedenle, enerji tüketimi doğrusal bir şekilde düşmektedir. Fakat taşkın yönteminde ve GPSR protokolünde enerji tüketimlerinin keskin bir düşüşten sonra yavaşlamaya başladığı görülmektedir. Aslında yavaşlama söz konusu değildir. Grafikte bu şekilde çıkmasının nedeni her iki egride de kırılmaların olduğu andan itibaren düğümlerin ölmeye başlaması ve ölen düğümlerin enerji seviyelerinin sistem kalan enerjisine dahil edilmemesidir. Fakat DAY, protokolünde simülasyon sona erdiğinde

hiçbir düğümün ölmediği ve sistemin yaşamaya devam ettiği gözlemlenmektedir.

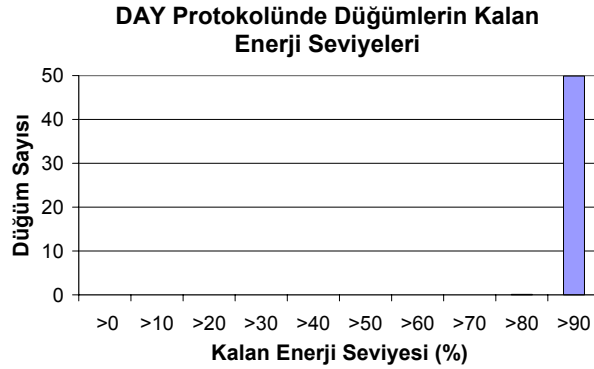
Taşkın yönteminde ve GPSR protokolünde ölen düğümlerin ağda oluşturduğu boşluklar (gaps) nedeniyle düğümler varışa olan yolu bulamamaktadır (Tablo 1). Şekil 2'de görüldüğü gibi, GPSR protokolünde 110. saniyede düğümler yol bulamadığı zaman diğer düğümler de hemen hemen enerjilerini tüketmiş durumdadırlar. Bu, enerji tüketiminin tüm ağ üzerine dağıldığını göstermektedir. Benzer sonuçlar taşkın yönteminde de gözlenmektedir (Şekil 3). Taşkın işleminden dolayı ağdaki bütün düğümler yönlendirme işleminine eşit şekilde katılmaktadır. Böylece taşkın yönteminde bütün düğümler yaklaşık aynı enerji seviyelerine sahiptir. Fakat 110. saniye sonunda GPSR protokolü ve taşkın yönteminde sistem enerjisinin ve düğümlerin enerjilerinin büyük bir kısmı tüketilmesine rağmen DAY protokolünde bütün düğümler %90 enerji seviyesinden daha yüksek kalan enerjiye sahiptirler (Şekil 4). Benzer sonuçlar, taşkın yönteminin 310. saniye sonunda varışa olan yolu bulamamasında da gözlenmektedir (Şekil 5-6). Taşkın yönteminde (Şekil 5), hemen hemen düğümlerin hepsi enerjilerini tüketmiştir. Fakat DAY protokolünde düğümler enerjileri halen korumaktadırlar (Şekil 6). 900. saniyede simülasyon sona erdiğinde, düğümlerin kalan enerjileri düzgün bir dağılım göstermektedir (Şekil 7). Bu da bize ölen düğümlerin tekrar atılması/yerleştirilmesi konusunda ipucu vermektedir.



Şekil 2. GPSR protokolü ile 110ncu saniyede yol bulunamadığı için simülasyon sona erdiğinde GPSR protokolündeki düğümlerin kalan enerji seviyeleri



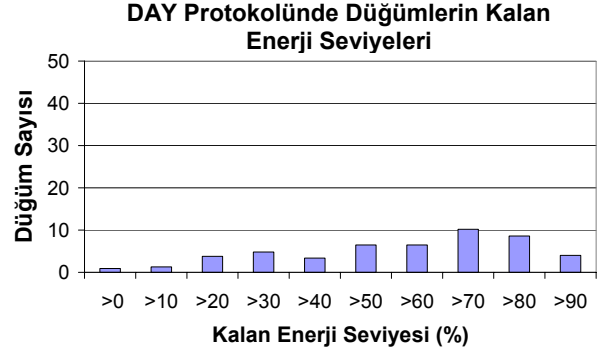
Şekil 3. GPSR protokolü ile 110ncu saniyede yol bulunamadığı için simülasyon sona erdiğinde DAY protokolündeki düşümlerin kalan enerji seviyeleri



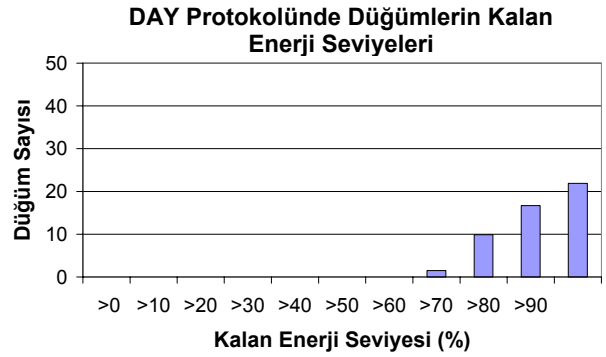
Şekil 4. GPSR protokolü ile 110ncu saniyede yol bulunamadığı için simülasyon sona erdiğinde DAY protokolündeki düşümlerin kalan enerji seviyeleri



Şekil 5. Taşkın yöntemi ile 345nci saniyede yol bulunamadığı için simülasyon sona erdiğinde taşkın protokolündeki düşümlerin kalan enerji seviyeleri



Şekil 6. Taşkın yöntemi ile 345nci saniyede yol bulunamadığı için simülasyon sona erdiğinde DAY protokolündeki düşümlerin kalan enerji seviyeleri



Şekil 7. Simülasyon 900ncü saniyede sona erdiğinde DAY protokolünde düşümlerin kalan enerji seviyeleri

Sonuçlar

Bu çalışmada, Telsiz Duyarga Ağlar ve Tasarsız Ağlar için bir özgün durumsuz yönlendirme algoritması önerilmektedir. Veri akışını sağlamak için bir ağırlık değeri kullanılmaktadır. Ağırlık değeri kullanımı, enerji tüketiminin azalmasını ve düşümlerdeki işlemci ve bellek gibi kaynaklara duyulan ihtiyacın azalmasını sağlamaktadır. Yönlendirme işlemi tamamen ISO OSI referans modeline göre ağ katmanında yapılmaktadır. MAC katmanından bağımsız olarak çalışma özelliği, DAY protokolünü, alt katmanda herhangi bir MAC protokolü ile beraber kullanma imkanı vermektedir. Literatürde bulunan diğer benzer protokollerin MAC-katmanı ilişkili çözümler önermesi nedeniyle, DAY protokolü MAC-katmanından bağımsız çalışan ilk protokoldür. Yapılan simülasyonlar ile DAY protokolünün, hiçbir topoloji bilgisi ol-

madan ve garantili veri gönderimini sağlamak için birden fazla yol üzerinden verinin varışa taşındığını gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar, DAY protokolünün hem taşkın yönteminden hem de GPSR yönteminden daha az enerji kullanarak yönlendirme yaptığını ve ağın yaşam ömrünün bu protokollere göre daha uzun olduğunu göstermektedir. Düğümlerin kalan enerjileri karşılaştırıldığında, DAY protokolünün diğer protokollere göre çok üstün olduğu görülmektedir. DAY protokolü uygulaması çok basit ve etkin bir tekniktir. Bu çalışmanın devamında birden fazla sink içeren ağ üzerinde çalışmalar yapılacaktır.

Kaynaklar

- Akkaya K., Younis, M., (2005). A Survey of Routing Protocols in Wireless Sensor Networks, in the *Elsevier Ad Hoc Network Journal*, **3**, 3, 325-349.
- Araujo, F., Rodrigues, L., (2006). Survey on Position-Based Routing, TR-01, Dept. of Comp. Science, University of Lisbon, Jun.
- Avin, C., (2005). Fast and efficient restricted delaunay triangulation in random geometric graphs, *Workshop on Combinatorial and Alg. Aspects of Networking*, Waterloo, Ontario, Canada, 13-14 Aug.
- Chawla, M., Goel, N., Kalaichelvan, K., Nayak, A., Stojmenovic, I., (2006). Beaconless position based routing with guaranteed delivery for wireless Ad-Hoc and sensor networks, *IFIP 1st Int. Conf. on Ad-Hoc Networking at 19th IFIP World Computer Congress*, Santiago, Chile, 20-25 Aug.
- Fuessler, H., Widmer, J., Kasemann, M., Mauve, M., (2003). Beaconless position-based routing for mobile Ad-Hoc networks, TR-03-001, Dept. of Comp. Science, University of Mannheim, Feb.
- Giordano, S., Stojmenovic, I., Blazevic, L., (2004). Position based routing algorithms for Ad Hoc Networks: A Taxonomy, in: '*Ad Hoc Wireless Networking*', Cheng, X., Huang, X. and Du, D.Z. (eds.), Kluwer, 103-136.
- Heissenbuttel, M., Braun, T., (2003). A novel position-based and beacon-less routing algorithm for mobile Ad Hoc Networks, *3rd Workshop on Applications and Services in Wireless Networks, ASWN'03*, 197-210, Bern, 2-4 Jul.
- Heissenbuttel, M., Braun, T., Walchli, M., Bernoulli, T., (2006). Optimized stateless broadcasting in wireless multi-hop networks, *IEEE Infocom 2006*, Barcelona, Spain, 23-29 Apr.
- Karp, B., Kung, H.T., (2000). *GPSR: Greedy perimeter stateless routing for wireless networks*. *6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, Mobicom 2000*, Boston, Massachusetts, 6-11 Aug.
- Mauve, M., Widmer, J., Hartenstein, H., (2001). *A Survey on Position-Based Routing in Mobile Ad-Hoc Networks*, *IEEE Network Magazine*, **15**, 6, 30-39, November.
- Son, D., Helmy, A., Krishnamachari, B., (2004). The effect of mobility-induced location errors on geo.routing in mobile ad hoc and sensor networks: Analysis and improvement using mobility prediction, *IEEE Transactions on Mobile Computing*, **3**, 3, Jul-Sep, 233-245.
- Soyturk, M., Altılar, T., (2006). The challenges and the approaches for the geographic routing protocols in wireless sensor networks, *IEEE TEHOSS*, İstanbul, Oct.
- Yu, Y., Hong, B., Prasanna, V.K., (2005). On communication models for algorithm design in networked sensor systems: A case study, *Elsevier Pervasive and Mobile Computing Journal*, **1**, 1, 95-122, Mar.