

AKTİF DÜĞÜM ESASLI ENERJİ ETKİN KABLOSUZ ALGILAYICI AĞ TASARIMI

Nükhet SAZAK

Sakarya Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği
Bölümü

nsazak@sakarya.edu.tr

İsmail ERTÜRK

Kocaeli Üniversitesi
Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi
Bölümü

erturk@kocaeli.edu.tr

Etem KÖKLÜKAYA

Sakarya Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği
Bölümü

ekaya@sakarya.edu.tr

ÖZET

Kablosuz algılayıcı ağlar (KAA'lar); düğüm olarak adlandırılan, pille çalışan çok sayıda algılayıcıdan meydana gelmektedir. Bu düğümler; değişik ortam koşullarını algılayabilirler, kablosuz olarak haberleşirler ve ortak bir uygulama için işbirliği yaparlar. KAA'lar başta çevresel izleme, afet yardım, sağlık, askeri olmak üzere geniş bir uygulama alanı aralığına sahiptir. Birçok uygulama için düğümler tasarsız olarak hedef alana yerleştirilir ve bundan sonra düğümlerin pillerini değiştirmek çoğu kez zor ve hatta olanaksızdır. Pili biten düğümün öldüğü varsayıldığı için ağ ömrünü uzatmak genellikle enerji etkin KAA tasarımına bağlıdır. Literatürde enerji korunumu bakımından diğer ortam erişim kontrol (OEK) protokollerine göre avantajlı olan TDMA-tabanlı OEK protokollerinin KAA'larda kullanımını sınırlayan ölçeklenebilirlik ve uyarlanabilirlik olumsuzluklarına karşı kümeleme hiyerarşileri önerilmektedir. Belirli bir algoritmaya göre oluşturulan kümeler, bir küme başı ve üye düğümlerden oluşmaktadır. Üye düğümler her zaman gönderecek veriye sahip olmayabilir. Bu makalede sunulan çalışmada küme başının çizelge oluştururken sadece iletecek verisi olan aktif düğümlere zaman dilimleri tahsis ettiği bir protokole göre tasarım yapılmaktadır. Zaman bölme çoklu erişim protokolünde dilim tahsisinde dikkate alınmak üzere geliştirilen aktif düğüm esaslı bu yeni yaklaşım kullanılarak enerji etkin bir KAA tasarlanması hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kablosuz algılayıcı ağ, aktif düğüm, etkin enerji kullanımı, ağ ömrü.

1. GİRİŞ

Kablosuz algılayıcı ağlar (KAA'lar); sınırlı kapasiteye sahip, kısa mesafede kablosuz ortam üzerinden haberleşebilen düşük güçlü, düşük maliyetli ve çok fonksiyonlu algılayıcı düğümlerden meydana gelmektedir [1]. Algılayıcılar; sıcaklık, basınç, nem, hareket, gürültü, aydınlık, mekanik gerginlik gibi fiziki çevre koşullarını izleyebilirler [2]. KAA'ların kurulum kolaylığı, bakım gereksinimlerinin az olması gibi özellikleri, çok farklı alanlarda uygulama potansiyeline sahip olmalarını sağlar. KAA'lar doğa olaylarını izlemekten, afet yardım, endüstriyel, ticari, askeri ve sağlık alanlarındaki uygulamalara kadar geniş bir

uygulama alanı aralığına sahiptir. Diğer yandan düğümlerin güç, hesaplama kapasitesi ve bellek bakımından kısıtlı kaynaklara sahip olması yüzünden klasik kablosuz ağlardaki birçok protokol ve algoritma KAA'lara doğrudan uygulanamamaktadır.

Son kullanıcılar genellikle çok sayıda algılayıcı düğümü, hedef alana rastgele yerleştirmek isterler. KAA'lar pille çalışan çok sayıda düğümden oluşmaktadır. Çoğu durumda yerleşimden sonra enerji kaynaklarını değiştirme veya yenileme yapılamaz ya da bu işlem çok maliyetlidir [3]. Buna bağlı olarak, KAA'ların tasarımında en önemli önceliklerden birisi de düğüm/ağ ömrünü maksimum yapmaktır. Ağ ömrünü maksimum yapma KAA araştırmalarının ortak amacıdır, zira pil bittiğinde algılayıcı düğümlerin öldüğü varsayılır. Ağ ömrünü uzatmak için enerji etkin protokoller gereklidir [4]. KAA OEK protokolleri üzerine yapılan çalışmaların çoğu, ortama enerji-etkin erişim temin edecek tekniklere odaklanmaktadır, çünkü alıcı-verici önemli miktarda enerji tüketir ve OEK protokolü bunun kullanımı üzerinde doğrudan kontrole sahiptir [3].

KAA'larda en çok enerji tüketen işlev, düğümler arasındaki haberleşmedir. Düğümün enerjisinin önemli bir kısmı radyo iletimlerinde ve beklenen paket alımı için ortamı dinlemede harcanmaktadır [5]. KAA'larda düğümler haberleşme için tek bir ortamı paylaşırlar ve ağ başarımı, büyük ölçüde düğümlerin bu ortamı etkin ve adil olarak paylaşabilmelerine bağlıdır. OEK protokolü, uygulamanın başarım gereksinimlerinin karşılanması için paylaşılan kablosuz ortama erişimi düzenler [6].

KAA'larda OEK protokolleri için iki genel sınıflandırma bulunmaktadır: çizelgeli protokoller (schedule based) ve çizelgesiz/rasgele/çekişme-tabanlı (contention based) protokoller [7]. Bir çizelge oluşturan OEK protokolü, herhangi bir zamanda hangi düğümlerin kanalı kullanması gerektiğine açıklık getirir ve böylece çarpışmaları, boş dinlemeyi (idle listening) ve kulak misafiri olmayı (overhearing) sınırlar veya ortadan kaldırır [3]. Genelde TDMA-tabanlı OEK protokolleri enerji tüketimi bakımından çekişme tabanlı olanlardan daha verimlidir. KAA'lar için kullanılan çizelge tabanlı protokollerin çoğu kanalın zaman dilimlerine

bölmüdüğü zaman bölmeli çoklu erişimin (TDMA) değişik bir biçimini kullanmaktadır [6].

Çizelge-tabanlı OEK protokollerinin kablosuz algılayıcı ağlarda kullanımlarını sınırlayan olumsuzluklardan biri, TDMA-tabanlı OEK-katmanı protokollerinin sınırlı ölçeklenebilirliğe sahip olması ve düğüm hareketliliğine, ağ trafiğinde ve topolojisindeki değişikliklere kolayca uyarlanamamasıdır. Bir kümeye düğümler katıldığında veya ayrıldığında dilim atamasının yanı sıra çerçeve uzunluğu da ayarlanmalıdır. Sık değişiklikler maliyeti artırabilir veya geçerli olması yavaş olabilir [6]. Bir küme içindeki düğümlerin sayısı değiştğinde mevcut TDMA protokolünün çerçeve uzunluğunu ve zaman dilimi atamasını dinamik olarak değiştirmek oldukça güçtür [8].

Ölçeklenebilirliği desteklemek için düğümler kümeler şeklinde gruplandırılır. Her küme, küme başı olarak adlandırılan bir lider düğüme veya bir yerel baz istasyonuna sahiptir. Kümeleme, TDMA-tabanlı OEK protokollerinin gereksinimlerini karşılayabilir. Tüm algılayıcıların verilerini bir baz istasyonuna iletmesi yerine, bir bölge içerisindeki düğümler işbirliği yapabilir ve bölge için tek bir özet paket gönderebilirler. Kümeleme, düğümlerin yerel bir baz istasyonu ile haberleşmek için organize olması ve bu yerel baz istasyonlarının son kullanıcı tarafından erişilen global baz istasyonuna veri iletmesidir. Bu, yerel baz istasyonu kümedeki tüm düğümlere yakın olduğundan veri iletmek için düğümlerin ihtiyaç duyduğu mesafeyi büyük ölçüde azaltır. Böylece kümeleme enerji verimli bir haberleşme ortamı sunmaktadır [5].

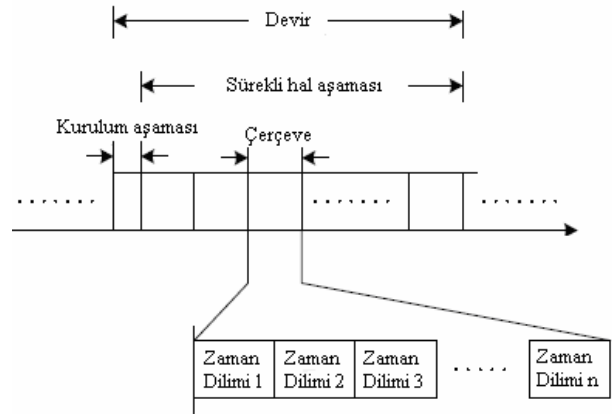
2. AKTİF DÜĞÜM YAKLAŞIMININ ÖNEMİ

Kümedeki üye düğümlerin tamamı her zaman iletecek veriye sahip olmayabilir. Bu çalışmada, iletecek verisi bulunan düğümler, “aktif düğüm” olarak adlandırılır. Aktif düğüm, uygulama özelliklerine bağlı olarak belli koşullar gerçekleştiğinde (örneğin belli bir sıcaklık eşik değeri aşıldığında ya da hedef algılandığında) veri iletmeye hazır olabilir.

Algılayıcı düğümlerin enerji tüketimleri çalışma durumlarına göre değişmektedir. Uyku durumu; düğümün dış dünya ile etkileşmediği, en düşük güç tüketimine sahip olduğu durumdur. Aktif durum; iletim, alım ve boş durumları içermektedir. İletimde enerji, yükselticide, alıcı-verici elektroniklerinde ve işaret üretme ve işleme fonksiyonlarını uygularken işlemcide harcanmaktadır. Alımda enerji, alıcı-verici elektroniklerinde, demodülasyon ve kod çözme gibi işlevlerde tüketilmektedir. Boşta, düğüm aktif olarak

veri almaksızın kablosuz kanalı dinler. Boşta enerji harcaması, genellikle gerilim kontrollü osilatör çalışmasından ve tüm devrelerin çalışmaya hazır beklemesinden kaynaklanmaktadır [9].

TDMA esaslı kümeleme yapısı, küme oluşumu ve sürekli hal aşamasını içeren devirlerden oluşmaktadır (Şekil 1). Sürekli hal aşaması çekişme periyodu ve k çerçeveye bölünmektedir. Küme oluşumu aşamasında belirlenen küme başı, çekişme periyodu esnasında hazırladığı TDMA çizelgesini kümedeki tüm düğümlere yayınlar. Her çerçevede tüm düğümlere bir veri dilimi tahsis edilir. Bir düğüm iletecek verisi olsun ya da olmasın kendisine atanan zaman diliminde radyosunu açar. Gönderecek verisi yoksa boş konumda (idle mode) çalışır ki, bu da yüksek miktarda enerji tüketen bir çalışma şeklidir. Enerji verimli TDMA olarak adlandırılan E-TDMA ise, iletecek verisi olmayan düğümün kendisine tahsis edilen zaman dilimlerinde radyosunu kapalı tutmasını sağlayarak boş konum yüzünden meydana gelen enerji tüketimini azaltır [10].



Şekil 1. Bir devirin gösterimi.

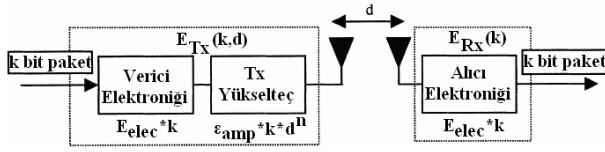
3. AKTİF DÜĞÜM YAKLAŞIMI

3.1. Aktif Düğüm Yaklaşımının Sağladığı Enerji Kazancı

Aktif düğüm yaklaşımı TDMA-tabanlı olmasına rağmen geleneksel TDMA-tabanlı protokollerden farklı olarak tüm üye düğümlere değil, sadece veri iletecek düğümlere dilim tahsisi yapmaktadır. Böylece, veri iletmeyecek düğüm uyku durumunda olacağı için enerjisini daha etkin olarak kullanacaktır.

Aktif düğüm yaklaşımının sağladığı faydayı göstermek için sunulan bu çalışmada “ N ” adet üye düğümünden oluşan bir küme örneği ele alınmaktadır. Kümede bir devir “ k ” adet çerçeveden oluşmaktadır ve çerçevedeki aktif düğüm sayısı “ n ” ile

gösterilmektedir. Çalışmada enerji modeli olarak [11]'deki örnek esas alınmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Radyo enerji modeli.

E_{elec} (J/b) 1-bitlik veriyi iletmek veya almak için harcanan enerjiyi ve ϵ_{amp} (J/b/m²) verici yükseltecinde ihtiyaç duyulan enerjiyi temsil etmek üzere; j düğümü, k -bitlik bir paketi d_j mesafe ilettiğinde radyonun harcadığı enerji [10]:

$$E_{T_x}(k, d) = kE_{elec} + \epsilon_{amp}kd^2 \quad (1)$$

k -bitlik paketi almak için radyonun tükettiği enerji:

$$E_{R_x}(k) = kE_{elec} \quad (2)$$

olmaktadır. Boş dinleme periyodu esnasında harcanan enerji ise;

$$E_I(k) = \beta E_{R_x}(k) \quad (3)$$

olarak hesaplanır. Boş dinleme esnasında radyo, alma konumunda harcadığı enerjinin %50 ila %100 arasında enerji tüketir [12]. Dolayısıyla β , boş dinlemede harcanan enerjinin alma durumunda harcanana oranını temsil etmektedir.

k_c : normal kontrol paketi boyutu

k_d : veri paketi boyutu

d_j : j düğümü ile küme başı arasındaki mesafe

d_{max} : düğümler ve küme başı arasındaki maksimum uzaklık olmak üzere TDMA'da harcanan çekişme (contention) enerjisi Denklem 4'te ifade edilmektedir [10].

$$E_c = \sum_{j=1}^N \frac{1}{\alpha} E_{T_x}(k_c, d_j) + E_{T_x}(k_c, d_{max}) + \frac{N(N-1)}{\alpha} E_I(k_c) + 2NE_{R_x}(k_c) \quad (4)$$

TDMA'da çekişme periyodu esnasında küme başı ve diğer tüm düğümler arasındaki haberleşme ısrarcı olmayan (non-persistent) CSMA'daki gibi gerçekleştirildiği için Denklem 4'te yer alan α , paket zamanı başına N girişim (attempt) olduğunda, ısrarcı olmayan CSMA'nın iş çıkarma oranını (throughput) göstermektedir.

Her devir (round) esnasında TDMA'da tüketilen yaklaşık sistem (küme) enerjisi [10];

$$E_{TDMA} = E_c + k \left[\sum_{j=1}^n E_{T_x}(k_d, d_j) + 2(N-n)E_I(k_d) + nE_{R_x}(k_d) \right] \quad (5)$$

Her devir (round) esnasında E-TDMA'da tüketilen yaklaşık sistem enerjisi [10];

$$E_{E-TDMA} = E_c + k \left[\sum_{j=1}^n E_{T_x}(k_d, d_j) + (N-n)E_I(k_d) + nE_{R_x}(k_d) \right] \quad (6)$$

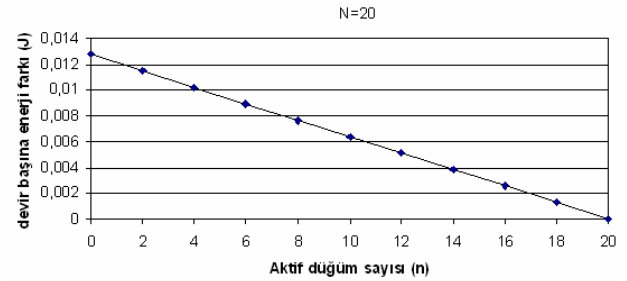
Aktif düğüm yaklaşımının sağladığı kazancı ortaya koymak amacıyla Denklemler (5) ve (6)'daki sırasıyla TDMA ve E-TDMA enerji ifadelerinin [10] farkı alınarak;

$$\begin{aligned} E_{fark} &= E_{TDMA} - E_{E-TDMA} \\ &= k(N-n)E_I(k_d) \\ &= k(N-n)E_{R_x}(k_d)\beta \\ &= k(N-n)k_d E_{elec}\beta \end{aligned} \quad (7)$$

elde edilir.

3.2. Aktif Düğüm Sayısına göre Enerji Kazancı Değişimi

$\beta=0,8$, $E_{elec}=50$ nJ/bit, $k=4$, $N=20$, $k_d=500$ bayt=4000 bit olarak alınırsa aktif düğüm sayısı (n) azaldıkça Denklem 7'de ifade edilen enerji farkının arttığı Şekil 3'teki grafikten görülmektedir. Aktif düğüm sayısı, üye düğüm sayısına eşit olduğunda ($N=n$) ise klasik TDMA çalışma şeklinde olacağı için aradaki fark sıfır olacaktır.



Şekil 3. Devir başına enerji farkının aktif düğüm sayısına göre değişim grafiği.

Aktif düğüm yaklaşımının klasik TDMA'ya göre sağladığı enerji kazancı; çerçeve sayısına (k), veri paketi boyutuna (k_d), boş dinlemede harcanan enerjinin alma enerjisine oranına (β), düğüm sayısı ile aktif düğüm sayısı arasındaki farka ($N-n$) ve veri iletiminde/alımında elektronik devrede harcanan enerjiye (E_{elec}) bağlıdır.

Aktif düğüm sayısı azaldıkça TDMA ve E-TDMA arasındaki fark dolayısıyla E-TDMA'nın TDMA'ya göre sağladığı enerji kazancının arttığı görülmektedir. Bu enerji farkı değerlendirilirken Denklem 7'deki ifadenin sadece bir devir için sağlanan kazanç olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Veri trafiğinin yoğun olmadığı

uygulamalar için aktif düğüm yaklaşımına göre dilim tahsisi yapılması, enerji etkin ve buna bağlı olarak da ağ yaşam süresi uzun bir çözüm sunacaktır.

4. SONUÇ

Bu makalede, KAA tasarımında esas alınmak üzere yeni bir kavram olarak “aktif düğüm” ve işlevsel özellikleri üzerinde durulmaktadır. Geleneksel olarak tüm düğümlerin periyodik veri iletişimi gerçekleştirdiği uygulamalara önemli bir alternatif teşkil eden aktif düğüm tabanlı sistem tasarımı, KAA kurulum/bakım/işletim maliyeti ve başarımlarında önemli iyileştirmeler sağlamaktadır.

KAA'lardaki aktif düğüm sayıları, uygulamalara ve algılanan olaylara bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Sunulan bu çalışmada, klasik TDMA'daki iletecek verisi olmayan düğümlere zaman dilimi tahsis etmek yerine, sadece aktif düğümlere zaman dilimi ayırmanın, enerji etkin bir KAA tasarımına katkı sağladığı gösterilmektedir.

5. KAYNAKLAR

- [1] Akyildiz, I.F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., Cayirci, E., “A Survey on Sensor Networks”, IEEE Communications Magazine, August 2002.
- [2] Estrin, D., Govindan, R., Heidemann, J., Kumar, S., “Next Century Challenges: Scalable Coordination in Sensor Networks”, In Proceedings of the ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, pp. 263-270. Seattle, Washington, USA, ACM, August, 1999.
- [3] Kredo II, K., Mohapatra, P., “Medium access control in wireless sensor networks”, Comput. Networks, vol. 51, no. 4, pp. 961–994, 2007.
- [4] Demirkol, I., Ersoy, C., Alagöz, F., “MAC Protocols for Wireless Sensor Networks: A Survey”, IEEE Communications Magazine, vol. 44, issue 4, pp. 115-121, April 2006.
- [5] Ilyas, M., Mahgoub, I., “Handbook of sensor networks: compact wireless and wired sensing systems”, CRC Press LLC, 2005.
- [6] Sohraby, K., Minoli, D., Znati, T., “Wireless sensor networks: technology, protocols, and applications”, John Wiley & Sons, pp. 75-229, 2007.
- [7] Ye, W., Heidemann, J., “Medium Access Control in Wireless Sensor Networks”, USC/ISI Technical Report ISI-TR-580, Okt. 2003, <http://www.isi.edu/~johnh/PAPERS/Ye03c.html>
- [8] Ye, W., Heidemann, J., Estrin, D., “Medium Access Control with Coordinated Adaptive Sleeping for Wireless Sensor Networks”, IEEE/ACM Trans. Net., vol. 12, no. 3, pp. 493–506, June 2004.
- [9] Chiasserini, C.F., Garetto, M., “Modeling the Performance of Wireless Sensor Networks”, INFOCOM 2004.
- [10] Li, J., Lazarou, G.Y., “Modeling the Energy Consumption of MAC Schemes in Wireless Cluster-Based Sensor Networks”, Proceedings of the 15th IASTED International Conference on Modeling and Simulation (MSO), pp. 313-318, Marina del Rey, California, USA, March 2004.
- [11] Heinzelman, W.R., Chandrakasan, A. P., Balakrishnan, H., “An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks”, IEEE On Wireless Communications Trans., vol. 1, No. 4, Oct. 2002, pp. 660-670.
- [12] Sankarasubramaniam, Y., Akyildiz, I.F., McLaughlin, S. W., “Energy Efficiency based Packet Size Optimization in Wireless Sensor Networks”, in Proc. of the First IEEE International Workshop on Sensor Network Protocols and Applications, Anchorage, Alaska, 2003.