

Kablosuz Algılayıcı Ağlarında Yönlendirme Teknikleri

Selçuk Ökdem, Derviş Karaboğa

Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 38039, Kayseri
okdem@erciyes.edu.tr, karaboga@erciyes.edu.tr

Özet: Kablosuz iletişim ve sayısal elektronik teknolojilerindeki gelişmelerle birlikte Kablosuz Algılayıcı Ağları (KAA) askeri, sağlık, meteoroloji ve jeoloji gibi bir çok alanda uygulama imkanına sahip olmaktadır. Sınırlı enerji kaynaklarıyla işlevlerini gerçekleştiren bu ağ yapıları için enerji tasarruflu yönlendirme oldukça önemlidir. Bu bildiride, az enerjili, hata toleranslı, uzun ağ ömürlü ve etkin KAA yönlendirme teknikleri araştırılmış ve bunların başarıları ve eksik yönleri analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kablosuz Algılayıcı Ağlar, Yönlendirme Teknikleri, Kablosuz Haberleşme.

Routing Techniques in Wireless Sensor Networks

Abstract: Due to the technological advances in wireless communication and digital electronics, Wireless Sensor Networks (WSNs) have gained many application areas such as military, medical, meteorology and geology. Energy efficient routings are important for this type of networks functioning with limited energy sources. In this paper, WSN effective routing techniques requiring little energy, fault tolerant, providing long network life have been searched and analyzed their successes and insufficiencies.

Keywords: Wireless Sensor Networks, Routing Techniques, Wireless Communication.

1. Giriş

Gelişen teknolojiyle birlikte küçük boyutlarda, az güç tüketen, çok fonksiyonlu algılayıcı elemanlar tasarlanabilmektedir. Bu elemanlar; algılama, veri işleme ve kendi aralarında haberleşme yapmakta ve bir araya gelerek Kablosuz Algılayıcı Ağlar (KAA)'ı oluşturmaktadırlar. KAA; algılama, hesaplama ve iletişim yapabilen çok sayıda (örneğin binlerce) algılayıcı noktaları içermektedir. Her bir nokta çevresindeki sıcaklık, nem, basınç gibi nicelikleri ölçebilme, basit hesaplama işlemleri yapabilme ve etrafındaki diğer noktalarla veya baz istasyonu ile haberleşme yapabilme özelliklerine sahiptir. Geniş bir coğrafyada daha doğru ölçümler yapabilme için daha çok sayıda algılayıcı kullanılması gerekmektedir. KAA'ın kullanıldığı bazı uygulama alanlarına; askeri amaçlı görüntüleme ve algılama, hedef

alanının görüntülenmesi, izinsiz giriş algılama, hava durumu izleme, güvenlik, gözaltı takibi, dağıtık hesaplama, sıcaklık, hareket, ses, ışık veya belirli nesnelerin mevcudiyetinin algılanması gibi çevresel durumların tespiti ve jeolojik uygulamalar örnek olarak verilebilir.

KAA yönlendirmenin temel amaçlarından biri ağ ömrünün artırılması ve yoğun enerji yönetimi tekniklerinin kullanımıyla ortaya çıkan bağlantı hatalarının önlenmesidir. KAA'ın enerji kaynakları sınırlıdır ve değiştirilememektedir. Bununla birlikte, algılayıcı noktaların konumlandırılmaları genelde önceden belirlenmemekte ve zor coğrafya bölgelerine veya afet bölgelerine rasgele yerleştirilmektedirler. Bu işe, algılayıcı noktaların herhangi bir bakım veya düzenleme yapılmaksızın, uzun süre algılama ve iletişim yapabilmelerini gerektirmektedir. Dolayısıyla, yüksek kalitede algılama ve hatasız çalışma için algıla-

yıcı noktalar arasında önemli ölçüde dayanışma ve işbirliğinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bir algılayıcı ağına klasik bir ağ protokolü uygulanamamaktadır. Bu ise literatürde bu alanda yapılmış olan birçok çalışmanın KAA yapılarına uyarlanamamasına neden olmakta ve KAA yapılarına özgü kriterleri dikkate alan ağ protokollerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır.

Bir algılayıcı elemandan merkeze (baz istasyonuna) bilginin transfer edilmesinde kullanılan en temel teknik “flooding” olarak isimlendirilmektedir. Bu teknikte, bilgi merkez nokta dahil olmak üzere bütün algılayıcı noktalara yayınlanmaktadır. Bütün ağa yayınlama, enerji ve bant genişliği gibi sistem kaynaklarından önemli ölçüde harcama yapmaktadır. Bu harcamayı bir miktar olsun azaltmak için “gossiping” isminde olasılık tabanlı “flooding” metodu önerilmiştir [1]. Heinzelmen ve arkadaşları SPIN [2] ailesi protokollerini önermişlerdir. SPIN bütün algılayıcı noktaları potansiyel baz istasyonu gibi görerek verileri yayınlamaktadır. SPIN işlevi veri teslimatı hakkında (verinin istenen yere hatasız bir şekilde ulaştığı konusunda) bir güvence sağlamamaktadır. Bu yüzden çok yönlü yönlendirme protokolleri bu noktada bize avantaj sağlamaktadır. Baz istasyonunun veri iletiminde çok sayıda yolun kullanılması KAA’da güvenilirliği artırmaktadır. “Directed Diffusion” [3] çok yönlü yönlendirmeye aday bir metottur. Algılayıcı elemanlara farklı roller tahsis ederek ağ ömrünü artırmak için LEACH protokolü önerilmiştir [4]. Bu protokol üzerinde de bazı yetersizlikler PEGASIS gibi önerilen diğer algoritmalarla giderilmeye çalışılmıştır [5]. Bildirinin devam eden diğer bölümlerinde temel KAA yapıları, bu yapıların diğer kablosuz haberleşme yapan yapılardan farklılıkları, temel KAA yönlendirme teknikleri, sonuç ve değerlendirme yer almaktadır.

2. Kablosuz Algılayıcı Ağ Yapıları

Algılayıcı ağlarında, algılayıcı noktaların konumlandırılmaları rasgele bir şekilde (örneğin bir uçaktan atılarak) veya belirli pozisyonlara (örneğin bir kurumda yangın alarm algılayıcıları)

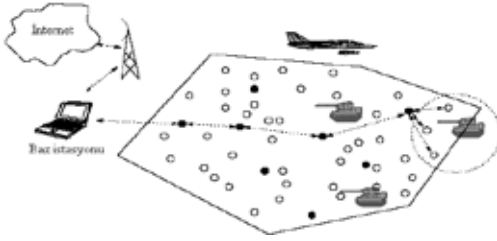
yapılabilirlerdir. Bu algılayıcılar, buldukları yere yerleştirildikten sonra herhangi bir bakım işlemi gerektirmemekte ve farklı tiplerde veri toplama işlemleri için muhtemel hatalara (algılayıcı hataları, çevresel şartlar) karşı sistemi çalışır durumda tutabilmektedirler (Şekil 1). Şekil 1’de siyah dairelerle gösterilen algılayıcı noktaları toplayıcılar olarak görev yapmakta ve bilgi bunlar üzerinden baz istasyonuna gönderilmektedir.

Yapı itibarıyla algılayıcı noktalar küçük boyutadılar, sınırlı enerji kaynaklarından (küçük bataryalardan) beslenmektedirler, sınırlı hesaplama işlemleri yapabilme yeteneklerine sahiptirler ve küçük bir bölge içerisinde haberleşme yapabilmektedirler. Uygulamalarda bir algılayıcı noktasından küçük bir bataryayla uzun bir süre çalışması beklendiğinden hesaplama işlemleri ve iletişim becerilerinin optimum bir şekilde kullanılması ve gereksiz enerji harcamalarının önüne geçilmesi çok önemlidir [6]. KAA tek sekmeli (single hop) veya çok sekmeli (multiple hop) olarak sınıflandırılır. Tek sekmeli haberleşmede, bir algılayıcı noktası diğer bir algılayıcı noktaya veya baz istasyonuna doğrudan haberleşme yapar. Çok sekmeli haberleşmede ise haberleşme bir dizi algılayıcı noktalar aracılığıyla bir noktadan diğerine gerçekleştirilir. Tipik olarak, algılayıcı noktalarda haberleşme çok sekmeli olarak yapılır. KAA üzerinde herhangi bir protokol tasarımında dikkat edilmesi gereken birçok sınırlamalar mevcuttur. Bu sınırlamalardan bazıları aşağıda verilmiştir:

Sınırlı enerji kaynağı: KAA sınırlı enerji kaynağına sahiptir; bu yüzden enerji tasarruflu haberleşme protokolleri gereklidir.

Sınırlı hesaplama yeteneği: KAA’ın hesaplama gücü düşüktür, dolayısıyla karmaşık ağ protokolleri KAA üzerinde kullanılamaz.

Haberleşme: Algılayıcı noktaları bağlayan kablosuz bağlantılar genelde sınırlıdır, bu yüzden algılayıcılar arası haberleşmede kısıtlamalar söz konusudur.



Şekil 1. Askeri bir uygulamada kullanılan algılayıcı ağı.

Algılayıcı noktalar genelde bir algılayıcı alanı içerisine dağıtılmışlardır. Ağ üzerindeki noktalar fiziksel ortam hakkında yüksek kalitede bilgi almak için işbirliği içinde çalışırlar. Her bir algılayıcı noktası, görevi doğrultusunda sahip olduğu bilgiyi, hesaplarını, haberleşme işlemlerini ve enerji kaynaklarını temel alarak karar oluşturmaktadır. Dağıtılmış bu algılayıcı noktaların her biri veriyi toplama ve bu veriyi baz istasyonuna yönlendirme yeteneğine sahiptir. Baz istasyonu ise sabit veya mobil olabilmekte ve algılayıcı ağını, mevcut bir haberleşme alt yapısı veya internetle bağlantı içerisinde bulundurma kapasitesine sahiptir. Bu sayede kullanıcı, raporlanan verilere erişim yapabilmektedir. Devam eden bölümde KAA' nın diğer kablosuz ağlardan farklılıklarına daha detaylı olarak değinilecektir.

3. KAA' ın Diğer Kablosuz Ağlardan Farklılıkları

KAA cep telefonu ağları gibi klasik kablosuz ağlardan farklılık göstermektedir. İlk olarak, ağ üzerinde işlevlerin gerçekleşebilmesi için kullanılacak enerji kaynaklarının uzun bir süre kullanılabilmesi, bakım gerektirmemesi ve sınırlı kullanılması gerekmektedir. İkinci olarak, klasik kablosuz ağlarda servis kalitesini optimize edecek şekilde yönlendirme işlemi ve hareketlilik yönetimi uygulanmaktadır. Burada enerji tüketimi ikinci planda yer almaktadır. Çünkü enerji kaynağı herhangi bir zamanda değiştirilebilmekte veya şarj edilebilmektedir. Halbuki, KAA bakım gerektirmeyecek şekilde algılayıcı noktalardan oluşturulmaktadır. Bu sebeple,

ağın ömrünü maksimumda tutmayı amaçlayan yönlendirme işlemi, enerji kullanımını optimize etmektedir. Üçüncü olarak, KAA' daki algılayıcı noktaların, muhtemel birkaç mobil nokta dışında, yerleri sabittir. Dördüncü olarak, KAA üzerinde düşük veri hızlarına sahip yinelenen veri transferleri gerçekleşmektedir. Bu veriler, muhtemel veri kayıpları için yedek amaçlı olarak kullanılabilir.

MANET' ler ve KAA bazı ortak problemleri paylaşmaktadırlar. Bunlar arasında kablosuz linklerin zamanla değişim gösteren karakteristikleri; sınırlı güç kaynakları; muhtemel bağlantı hataları; sınırlı kaynaklar (örneğin bant genişliği); çok sekmeli haberleşme ve ağ alanı içerisindeki noktaların ad hoc türünde yerleştirilmeleri yer almaktadır. Ad hoc haberleşme, alt yapı gerektirmeyen ağlar için kullanılmaktadır. Bu ağlarda, kullanıcılar hareket halinde iken ağ servislerinden faydalanırlar. Bu tip ağların temel özelliği sabit ağ alt yapısının olmaması ve hareketliliklidir. Bununla birlikte ağ üzerinde her hareket, ağ topolojisini ve veri iletim yönünü etkilemektedir. Bu tip ağlar diz üstü bilgisayarları ve el bilgisayarları için uygun yapıdadırlar. Ancak ad hoc ağ yapısı oldukça eski bir teknolojidir. 1970' lerden itibaren askeri amaçlı olarak dinamik kablosuz ağ yapılarında kullanılmaya başlanmıştır. MANET' ler ise ad hoc haberleşme üzerinde etkin ağ trafiğinin sağlanması için geliştirilen daha yeni bir çalışma konusudur. [7, 8]. KAA' lar ve ad hoc yapılar arasındaki başlıca farklılıklar özetlenecek olursa:

- KAA' da algılayıcı nokta sayıları ad hoc yapılarıdaki haberleşme elemanları sayısından fazladır.
- Algılayıcı noktaların yerleşim yoğunlukları ad hoc yapılarıdan daha yüksektir.
- Algılayıcı noktalardaki bozulma eğilimi ad hoc yapılarıdan daha fazladır.
- Algılayıcı ağlarında topoloji daha sık değişmektedir.
- Algılayıcı noktaları temelde yayın yaparak haberleşir, ad hoc yapıları ise bu noktadan noktaya haberleşmeyle sağlanır.

- Algılayıcı noktalar enerji, hesaplama kapasitesi ve hafıza olarak sınırlıdır.
- Algılayıcı noktalar global bir ID içermeyebilirler.

KAA ve MANET' ler çok sekmeli haberleşme yapmalarına rağmen, yönlendirme istemleri bazı bakımlardan farklılık arz etmektedir. Bu farklılıkları özetleyecek olursak:

- KAA' da bilginin gittiği hedef bellidir ve haberleşme normalde, baz istasyonuna çoklu veri kaynaklarından yapılır. Halbuki, MANET' lerde haberleşme genellikle noktadan noktaya yapılmaktadır.
- KAA' da bir olay karşısında, olaya yakın bölgelerde bulunan algılayıcı noktalar ortak/benzer davranışlar göstermekte ve veriler bu çevredeki birçok algılayıcı tarafından toplanmaktadır. Bu nedenle veride yinelenen bilgi olması kuvvetle muhtemeldir.
- MANET' ler serbest nokta hareketlerini sağlamak amacıyla yüksek derecede dinamik topolojilerle karakterize edilmişlerdir. KAA uygulamaların birçoğunda algılayıcılar hareketli değildir.
- MANET' lerdeki hareketli noktaların enerji kaynakları (örneğin bataryaları) yinelenbilir veya şarj edilebilir. KAA' da çok sayıda algılayıcı noktası kullanılması, bakım işlemleri gerektirmeme özelliği ve uzun çalışma zamanı beklentisi önemli ölçüde sınırlı enerji kaynaklarının iyi yönetilmesini gerektirmektedir. Bununla birlikte, sınırlı enerji kaynakları KAA' da hızlı veri transfer oranlı haberleşmeye engel olmaktadır.

Bahsedilen bu nedenlerden dolayı MANET için literatürde önerilen birçok noktadan noktaya yönlendirme yöntemleri KAA için uygun olmamaktadır.

4. KAA Yapılarında Yönlendirme Teknikleri

Gelişen teknoloji ile birlikte KAA elemanlarının daha küçük boyutlarda, daha az enerji tüketen, daha performanslı yapıda tasarlanmaları

mümkün olmaktadır. Bu yapılarda ağ ömrüyle ilişkili olan enerji tasarrufu önemli bir kriterdir. Enerji tükendikçe, ağ kendi ömrünü artırmak için noktalardaki enerji harcamasını azaltmakta ve kaliteden (aktarım hızı, QoS -Quality of Service- gibi) taviz verebilmektedir. Dolayısıyla enerji tasarrufu ağ performansından daha önemli görülmektedir.

Son zamanlarda KAA için yönlendirme protokolleri geniş ölçüde literatürde yer almıştır [9]. Genel olarak KAA' da yönlendirme; düz, hiyerarşik ve adaptif olarak sınıflandırılabilir. Düz yönlendirmede bütün noktalar eşit rollere sahipken, hiyerarşik yönlendirmede noktalara farklı roller tahsis edilmiştir. Adaptif yönlendirmede, belli sistem parametreleri ağı mevcut durumuna ve elverişli enerji seviyesine göre kontrol edilmektedir. Ayrıca bu protokoller de çok yollu (multipath), sorgulama tabanlı (query based) veya görüşme tabanlı (negotiation based) yönlendirme teknikleri olarak da işlevleri dikkate alınarak sınıflandırılabilir.

Düz yönlendirmeye ait bilinen en iyi metodlardan birisi GÜdümlü Yayılım (Directed Diffusion) algoritmasıdır [10]. GÜdümlü yayılım, enerji tasarrufunu gerçekleştirmek üzere geliştirilen veri-merkezli (data-centric) bir yönlendirme tekniğidir. Bunun için deneysel olarak uygun veri yollarının seçilmesi, ağ üzerinde veri tamponlaması ve veri işleme görevleri gerçekleştirilmektedir.

Hiyerarşik veya cluster-based (küme-tabanlı) yönlendirme ilk olarak kablolu ağlarda önerilmiştir. Bu yönlendirme, sistem kapasitesini ayarlayan ve verimli haberleşmeyi sağlayan avantajlara sahiptir. Bununla birlikte hiyerarşik yönlendirme kavramı, kablosuz algılayıcı ağlarında verimli enerji kullanımlı yönlendirmeye yardımcı olmaktadır. Bir hiyerarşik mimaride, az enerjili noktalar hedefle ilgili algılamalar yaparken yüksek enerjili noktalar bilgiyi işleme ve iletme görevini üstlenirler. Bu ise, kümelelerin oluşturulması ve kümenin baş elemanlarına (cluster head) özel görevlerin tahsisıyla kapa-

sitenin ayarlanabilirliğini, ağ ömrünün artırılmasını ve enerji verimliliğini sağlamaktadır.

Heinzelman [11], algılayıcı ağları için düşük enerjili adaptif kümeleme hiyerarşisi (low energy adaptive clustering hierarchy-LEACH) isminde hiyerarşik kümeleme algoritmasını önermiştir. LEACH, dağıtılmış küme oluşumunu içeren küme tabanlı bir protokoldür. Daha az enerji tüketimi için kümelerin baş elemanlık rolü rasgele bir şekilde dönüşümlü olarak verilir ve enerji harcaması ağdaki algılayıcılara paylaştırılır. LEACH, kapasite ayarlanabilirliği ve dinamik ağlardaki dayanıklılığı (robustness) sağlamak üzere yerel bir koordinasyon kullanır ve baz istasyonuna gönderilecek bilgi miktarını azaltmak üzere veri-birleştirmesini (data fusion) gerçekleştirir. Ayrıca çalışmada küme içi ve kümeler arası çakışmaları azaltmak amacıyla TDMA/CDMA MAC kullanılmaktadır.

LEACH protokolü ağ ömrünü artırmasına rağmen bu protokolde bazı kabuller tartışma konusudur. LEACH, her bir nokta elemanının baz istasyonuna haberleşme yapabileceğini ve farklı MAC protokollerini gerçekleştirebilecek kapasite olduğunu kabul eder. Ayrıca her nokta sürekli haberleşme yapmak durumunda ve birbirine yakın noktalar sürekli aldığı verileri doğrulamak durumunda olmaktadır. Üstelik küme baş elemanlarının ağ içerisinde nasıl düzgün dağılımla yayılacağı açıkça belirtilmemiştir. Rasgele dağıtım yapıldığında küme baş elemanlarının ağ içerisinde bir bölgede toplanması durumunda ağdaki bazı noktalar yakınlarında baş eleman bulamayacaklardır. Son olarak her bir nokta için baş elemanların aynı seviyede enerji harcadıkları düşünülmüştür. Protokol, enerji seviyelerine de dikkate alacak şekilde düzgün dağılımlı enerji noktalarının sağlanması amacıyla geliştirilmelidir.

Heinzelman ve arkadaşları [11], LEACH protokolünde gereksiz haberleşmenin önüne geçmek için her bir transferde farklı verilerin iletilmesini sağlayacak bir geliştirme yapmışlardır. Heinzelman [2] ve Kulik [12] SPIN (Sensor

protocols for information via negotiation) adı verilen adaptif protokol ailesini önermişlerdir. Bu protokoller, her bir noktadaki bilgiyi ağ üzerindeki bütün noktalara (sanki her bir nokta baz istasyonuymuş gibi) yayarlar. Bu ise kullanıcının herhangi bir noktayı sorgulama yapmasına ve gereken bilginin hemen alınmasına izin verir. Bu protokoller, birbirine yakın noktaların benzer veri içermesini sağlarlar.

SPIN protokol ailesi veri görüşmelerini (data negotiation) kullanır. Noktalar topladıkları veriler hakkında bunların özelliklerini belirten metadata'lar içerir. Bir veriyi tamamen transfer etmeden önce metadata görüşmeleri gerçekleştirilir. Bu sayede ağ içerisinde gereksiz veri transferi yapılmamış olur. Metadata formatı uygulamaya bağlıdır ve SPIN'de belirtilmemiştir. Ayrıca SPIN, kalan enerji seviyesine göre hareket etmektedir. Bu protokoller zaman-bazlı (time-driven) olarak çalışırlar ve kullanıcının isteğine bağlı olmaksızın bilgiyi ağ üzerine yayarlar.

SPIN ailesi, klasik flooding'in eksikliklerini görüşmeler ve kaynak adaptasyonu ile kapatacak şekilde tasarlanmıştır. Bu protokol ailesi, her defasında verilerin tamamının gönderilmesi yerine bunları tanımlayan özelliklerin gönderilmesiyle enerji tasarrufu yapmaktadır.

Tillett ve arkadaşları [13] tarafından önerilen çalışmada PSO (Particle Swarm Optimization) olarak bilinen optimizasyon tekniği ile algılayıcı noktaların kümelendirilmesi probleminin çözülmesi hedeflenmiştir. PSO yaklaşımı, verilen bir problem için en iyi çözümün bulunmasında birbirleriyle etkileşim ve işbirliği içinde test sonuçlarını üreten 'böceklerin' kullanıldığı gelişime dayalı programlama tekniğidir. Tipik bir optimizasyon probleminde fonksiyon veya uygunluk (fitness) değerleri kriter olarak kullanılmaktadır. Burada ise uygulamaya ilgili olarak, alınan verilerin maksimize edilmesi sağlanırken harcanan enerji minimumda tutulmaya ve nokta sayıları ile baş eleman sayıları dengede tutulmaya çalışılmıştır.

LEACH protokolünde kümelerin baş elemanları her turda rasgele bir şekilde seçilmektedir. Bu ise verimli olmayan bir ağ yapısının oluşmasına neden olabilmektedir. Kümelerin baş elemanlarının merkezi olarak seçilmesi Simulated Annealing tekniği kullanılarak da yapılmıştır [14]. Burada her nokta kendi pozisyonu ve enerji seviyesini merkeze göndermekte ve bu bilgilere göre seçim işlemi yapılmaktadır.

Bir protokolün esnekliği, kaynaktan hedefe giden ana güzergahın bozulması durumunda alternatif yolların mevcudiyetiyle ölçülmektedir. Bu ise kaynaktan hedefe giden yolların sayısının, enerji maliyeti artsa da, artırılması ve bu yolların canlı tutulması için periyodik mesajların gönderilmesiyle gerçekleştirilmektedir. Ganesan ve çalışma arkadaşları [15] işlem yükünü (overhead) azaltmak için birbirinden ayrık çoklu yollar yerine birbirlerine yakın kordon (braided) veri yollarını kullanmışlardır. Kordon veri yollarındaki alternatif güzergahlar ana güzergaha yakın olduğundan dolayı enerji harcaması bu tip yollarda daha az olmaktadır.

Chang ve Tassiulas [16] çalışmalarında, güzergahlar içerisinde en fazla enerji ihtiva eden yolu seçmeye çalışan algoritma önermişlerdir. Ana güzergahtaki noktaların enerjileri belli bir seviyenin altına düştüğü durumda, yedek güzergahlardan haberleşme sağlanacak şekilde ağ ömrü artırılmaktadır. KAA yönlendirmede optimizasyon teknikleri arasında yer alan karınca koloni algoritmasıyla [17] yapılan çalışmalar yeni bir çözüm yöntemi olmaktadır. Ancak algoritma üzerinde geliştirme çalışmaları halen devam etmektedir [18].

KAA yapılarında çok sayıda ayrık elemanın kullanılması, yoğun algılama işlemleri ve az enerji tüketen ağ oluşumlarının algılayıcılarca koordineli olarak yapılması için yeni yöntemlerin geliştirilmesi araştırma konusu olmaktadır. Bu yeni yöntemlerin geliştirilmesinde sürü zekasına dayalı Karınca Koloni, Parçacık Sürüsü ve Arı Koloni Algoritmaları kullanılabilir [18, 19, 20].

4. Sonuç

KAA' ı yönlendirmede çok sayıda çalışma yapılmasına rağmen hala bazı konular etkili yönlendirme protokolleri için çözüm beklemektedir. İlk olarak, fiziksel ortama algılayıcılar bir daha bakım yapılmayacak şekilde yerleştirilirler. Bu durum klasik internet, PDA ve diğer mobil uygulamalardan farklılık arz etmektedir. İkinci olarak, algılayıcılar küçük yapıdadırlar ve bu yüzden çok sınırlı enerji kaynaklarından çalışmak durumundadırlar. Üçüncü olarak, haberleşme en çok enerji tüketen işlemdir ve mesafeye göre üstel olarak tüketim artmaktadır. Enerji tasarruflu yönlendirme algoritmaları geliştirme ve diğer kablosuz haberleşme türlerinde olduğu gibi KAA yapılarında da güvenli haberleşme teknikleri araştırma konusu olmaya devam etmektedir. Bu bildiride, temel KAA yapıları tanıtılmış, uygulama alanlarına örnek verilmiş, diğer kablosuz ağlardan farklılıklarına değinilmiş ve literatürde önerilen temel yönlendirme algoritmalarından bahsedilmiştir. Mevcut yönlendirme tekniklerinin olumlu ve olumsuz tarafları tartışılmış ve bu tekniklerin eksik yönleri belirtilmiştir.

5. Kaynaklar

- [1]. Hedetniemi, S., and Liestman, A. "A Survey of Gossiping and Broadcasting in Communication Networks", *Networks* 18, 1988.
- [2]. Heinzelman W., Kulik J., and Balakrishnan H., "Adaptive protocols for information dissemination in wireless sensor Networks", Proc. 5th ACM/IEEE Mobicom Conf. (MobiCom'99), 174-185, August 1999.
- [3]. Savvides, A., Han, C., and Srivastava, M., "Dynamic Fine-Grained Localization in Ad-Hoc Networks of Sensors", Proc. 7th ACM MobiCom, 2001, 166-79.
- [4]. Heinzelman, W., Chandrakasan A., and Balakrishnan, H., "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor

- Networks”, Proc. 33rd Hawaii Int’l. Conf. Syst. Sci., 2000.
- [5]. Lindsey, S.; Raghavendra, C.S.; “PEGA-SIS: Power-efficient gathering in sensor information systems”, IEEE Aerospace Conference Proceedings, 2002. Vol. 3, 2002, 1125-1130
- [6]. Huang T. G., “Casting the Wireless Sensor Net”, Technical Review, <http://www.cens.ucla.edu/News/TechReview.pdf>, 2003.
- [7]. Chung C.M., Ying-Hong W., Chih-Chieh C., “Ad hoc on-demand backup node setup routing protocol”, 15th International Conference on Information Networking, Proceedings, 2001, 933 – 937
- [8]. Jun-Zhao S., “Mobile ad hoc networking: an essential technology for pervasive computing”, International Conferences on Info-tech and Info-net, Proceedings, 3, 2001, 316 – 321
- [9]. Kulik J., Heinzelman W., and Balakrishnan H., “Negotiation-based protocols for disseminating information in wireless sensor Networks”, *Wireless Networks*, 8, 2002, 169–185
- [10]. Intanagonwiwat C., Govindan R., and D. Estrin, “Directed diffusion for wireless sensor Networks”, *IEEE/ACM Trans. Networking*, 11(1), 2003, 2–16
- [11]. Heinzelman W., Chandrakasan A., and Balakrishnan H., “Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor Networks”, Proc. 33rd Hawaii Int. Conf. Syst. Sci. (HICSS’00), January 2000.
- [12]. Kulik J., Heinzelman W., and Balakrishnan H., “Negotiation-based protocols for disseminating information in wireless sensor Networks”, *Wireless Networks*, 8, 2002, 169–185
- [13]. Tillett J., Rao R., Sahin F., “Cluster-head identification in ad hoc sensor networks using particle swarm optimization”, Personal Wireless Communications, IEEE International Conference, 2002, 201 – 205
- [14]. Heinzelman W. Chandrakasan A. And Balakrishnan H., “An Application-Specific Architecture for Wireless Microsensor Networks”, To appear: IEEE Transactions on Wireless Communications.
- [15]. Ganesan D., Govindan R., Shenker S., and Estrin D., “Highly-resilient, energy-efficient multipath routing in wireless sensor Networks”, *ACM SIGMOBILE Mobile Computing Commun. Rev.*, 5(4), 2001, 10–24
- [16]. Chang J. and Tassioulas L., “Maximum lifetime routing in wireless sensor Networks”, Proc. Adv. Telecommun. Inf. Distribution Res. Program (ATIRP2000), College Park, MD, March 2000.
- [17]. Dorigo, M., Member, IEEE, Maniezzo, V., and Colomi, A., “The Ant System: Optimization by a colony of cooperating agents”, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part B*, Vol.26, No.1, 1996, 1-13
- [18]. Okdem, S., and Karaboga, D., “Routing in Wireless Sensor Networks Using Ant Colony Optimization”, Proc. 1st NASA/ESA Conference on Adaptive Hardware and Systems, 2006, 401-404
- [19]. D. Karaboga, “An Idea Based On Honey Bee Swarm For Numerical Optimization”, *Technical Report-TR06*, Erciyes University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department, 2005.
- [20]. B. Basturk, D. Karaboga, “An Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm for Numeric function Optimization”, IEEE Swarm Intelligence Symposium 2006, May 12-14, 2006, Indianapolis, Indiana, USA