

Kablosuz Sensör Ağlar ve Uygulamaları

Tahir Emre Kalaycı

Ege Üniversitesi
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
tahir.kalayci@ege.edu.tr

ÖZET

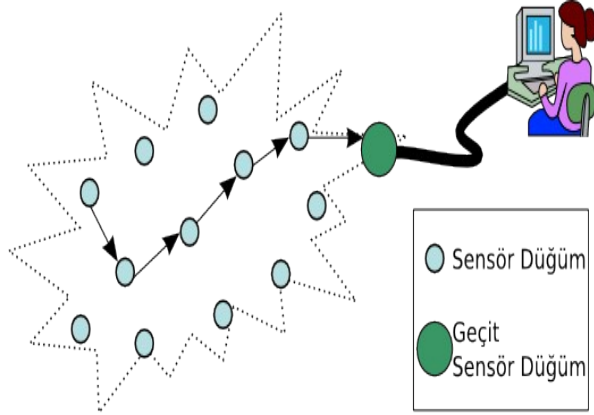
Kablosuz sensör ağlar son zamanlarda oldukça gündemde olan ve birçok alanda uygulanabilen yeni bir teknolojidir. Kablosuz sensör ağlar kullanılarak ortamla etkileşimli olarak bilgi toplanabilmekte, bu bilgi kollektif bir şekilde değerlendirilebilmekte ve gerektiğinde bilgiye dayalı olarak ortam üzerinde değişiklikler yapılabilmektedir. Bu bildiride kablosuz sensör ağları tanımlanarak, bazı temel özellikleri üzerinde durulmuş, uygulama alanlarına örnekler verilmiştir.

ABSTRACT

Wireless sensor network is a popular technology which has a wide application area. Wireless sensor networks can be used to interactively collect data from environment, collectively evaluate this data, and manipulated environment based on this data evaluation. In this paper wireless sensor network technology and wireless sensor networks are defined, some basic properties are discussed, and some example application areas are given.

Anahtar Kelimeler: kablosuz sensör ağlar, sensör düğüm, sensör ağ uygulamaları

1. GİRİŞ



Şekil 1. Bir Sensör Ağı

Donanım ve kablosuz sistemlerdeki gelişmeler düşük maliyetli, düşük güç tüketimli, çok işlevli minyatür algılama aygıtlarının üretilmesine olanak sağlamıştır. Bu aygıtlardan yüzlercesi, binlercesi yardımıyla ad-hoc ağlar oluşturulabilmektedir. Örneğin bu aygıtlar geniş bir coğrafyaya dağıtılarak kablosuz, ad-hoc bir ağ oluşturulmaktadır. Bu dağıtılan ve ağı oluşturan sensörler işbirliği yaparak bir algılama ağ sistemini (Bkz. Şekil 1) oluşturmaktadır. Bir sensör ağı bilgiye her an, her yerden kolayca erişilmesini sağlar. Bu işlevi veriyi toplayarak, işleyerek, çözümleyerek ve yayarak yerine getirir. Böylece ağ, etkin bir şekilde zeki bir ortam oluşmasında rol oynamış olur.

Kablosuz sensör ağlar; geniş bir yelpazede, değişik uygulama alanları için devrimsel algılama özelliği yetenekleri sunmaktadır. Bunun nedeni sensör ağlarının

- Güvenilirlik
- Doğruluk
- Esneklik
- Maliyet verimliliği
- Kurulum kolaylığı

özelliklerine sahip olmasıdır.

Tilak vd. [7] zeki sensörlerin ihtiyatlı gözetim sunabileceğini ve makina çökmesi, depremler, seller ve hatta terörist saldırılara yönelik bilgi toplayabileceği, tespit edebileceğini belirtmiştir.

Sensör ağları

- Bilgi toplama
- Bilgi işleme
- Sivil ve askeri uygulamalar için çeşitli ortamların izlenmesi ve gözlenmesini

olanaklı kılar

Sensörler kolaylıkla kurulmaktadır, çünkü bir altyapıya veya insan müdahalesine gerek yoktur. Algılayarak, hesaplayarak ve ortamda eyleme geçerek görevlerini yaparlar. Kendilerini örgütleyebilir (özörgütlenme) ve farklı uygulamaları desteklemek üzere uyarlanabilirler.

Her sensör düğümü, kablosuz iletişim yeteneğine ve sinyal işleme ile veri yaymaya yetecek zekaya sahiptir. Sınırlı enerji, işlem gücü ve iletişim kaynaklarına sahip olması geniş bir alanda oldukça yüksek sayıda sensör kullanımını gerektirmektedir. Bu büyük sayı kullanımı sensör ağının hareket eden nesnenin gerçek hızı, yönü, boyutu ve diğer özelliklerini, tek bir sensöre göre daha yüksek bir doğrulukta bildirmesini sağlar.

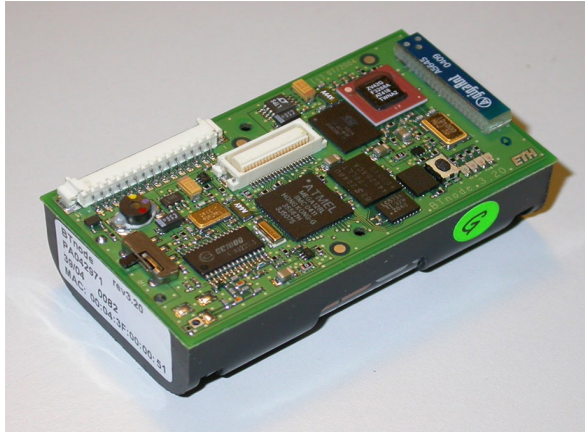
Sensör ağlarında çok sayıda sensör düğümü olması tek bir düğümün maliyetinin, toplam ağ maliyeti açısından önemini artırıyor. Akyildiz vd. [4] çalışmalarında, sensör ağının uygulanabilir olması için bir sensör düğümün maliyetinin 1\$'dan az olması gerektiğini belirtmektedir.

Sensör ağlarındaki iletişim, yüksek sayıda çarpışmalara ve ağda tıkanıklıklara sebep olabilir; bu gecikme süresini arttırabilir ve enerji verimliliğini düşürebilir. Üstelik sensörler tarafından bildirilen yüksek sayıdaki örnekler istenen veri bilgisinin oldukça aşılmasına neden olabilir.

Bütün eksikliklik ve zorluklarına rağmen kablosuz sensör ağlar; yukarıda özetlenen özellikleri ve geniş kullanım alanları nedeniyle geleceğin önemli bir parçası olacak gibi gözükmemektedir.

Bu bildirinin devamında öncelikle fiziksel sensör düğümü hakkında bilgi verilecek, kablosuz sensör ağlarının mimarisi, işleyici ve iletişimi anlatılacak ve son olarak bazı uygulama alanları aktarılacaktır.

2. SENSÖR DÜĞÜMÜ [8]



Şekil 2. Bir sensör düğümü (Kaynak: <http://www.btnode.ethz.ch/>)

Sensör düğümü (Bkz. Şekil 2), kablosuz sensör ağlarında kullanılan ve hesaplama, algısal bilgi toplama ve ağdaki diğer bağlantılı düğümlerle haberleşme yeteneklerine sahip düğümlerdir. Tipik bir sensör düğümü mimarisi Şekil 3'de görülebilir.

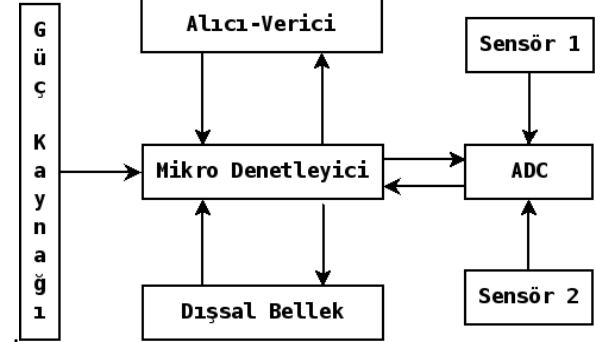
Sensör düğümlerinin geliştirilmesinin başlangıcı 1998 yılındaki Smartdust projesine dayanır. Bu projenin amaçlarından biri kübik milimetre içerisinde otonom algılama ve iletişim yaratmaktır. Bu proje erken bitmesine rağmen, bir kaç araştırma projesinin doğmasına neden olmuştur. Bu projeler Berkeley NEST¹ ve CENS² projeleridir. Bu projelerde yer alan araştırmacılar sensör düğümü için mote terimini kullanmaktadır.

1 <http://webs.cs.berkeley.edu/nest-index.html>

2 <http://research.cens.ucla.edu/>

2.1. Bileşenleri [8]

Sensör düğümünün ana bileşenleri (Bkz. Şekil 3) mikrodenetleyici, alıcı-verici, dışsal bellek, güç kaynağı ve bir veya daha fazla sensördür.



Şekil 3. Sensör Düğümü Mimarisi

Mikrodenetleyici: Mikrodenetleyici görevleri yapar, veriyi işler ve sensör düğüm içerisindeki diğer bileşenlerin işlevselliğini denetler. Denetleyici olarak kullanılabilecek diğer alternatifler arasında şunlar sayılabilir: genel amaçlı masaüstü mikro işlemci, sayısal sinyal işlemciler (SSİ), alanı programlanabilir geçit dizileri (FPGA) ve uygulamaya özgü tümleşik devreler. Mikro denetleyiciler sensör düğümü için en uygun seçimdir. Her seçeneğin kendine özgü avantaj ve dezavantajları vardır. Diğer aygıtlara bağlanmadaki esneklikleri, programlanabilir olması, bu aygıtlar uyuma moduna girebildiği ve sadece denetleyicinin bir kısmının etkin olması nedeniyle düşük enerji tüketimi nedeniyle Mikro denetleyiciler gömülü sistemler için en uygun seçimdir. Genel amaçlı mikro işlemciler mikro denetleyicilerden daha fazla enerji harcamaktadır. Sayısal sinyal işlemciler (SSİ) geniş bant kablosuz iletişim için uygundur. Kablosuz sensör ağlarda, kablosuz iletişim yalın olmalıdır. Modülasyonu işlemek daha kolay ve asli olan veri algılanması sinyal işleme görevleri daha az karmaşık olmalıdır. Bu yüzden SSİ'lerin avantajlarının kablosuz sensör ağları açısından fazla bir önemi kalmamaktadır. FPGA'lar gereksinimlere göre tekrar programlanabilir ve yapılandırılabilirler. Ancak bu zaman ve enerji tüketimine yol açar, bu nedenle FPGA'lar tavsiye edilmemektedir. Uygulamaya özgü tümleşik devreler belirli bir uygulama için tasarlanmış, uzmanlaşmış işlemcilerdir. ASIC'ler işlevselliği donanım olarak sunarken, mikro denetleyiciler yazılımsal olarak sağlarlar.

Alıcı-Verici: Sensör düğümleri ISM bandını kullanır. Bu band sayesinde geniş dalga kuşağında ve global elverişlilikte özgür radyo yayını sağlanmış olur. Kablosuz iletim ortamlarında tercihler radyo frekansı, optik iletişim (lazer) ve kızılötesidir. Lazer daha az enerji gerektirir, ancak iletişim için görüş alanı gerektirir ve atmosferik koşullara duyarlıdır. Kızılötesi lazer gibidir, anten gerektirmez ancak yayım kapasitesi olarak sınırlıdır. Radyo frekansı (RF) tabanlı iletişim çoğu WSN uygulaması için uygun olan iletişim şeklidir. WSN'ler 433 MHz ve 2.4 GHz arasındaki iletişim frekanslarını kullanırlar.

Alıcı ve vericinin işlevselliği alıcı-verici adı verilen tek bir aygıt içerisinde birleştirilmiştir. Alıcı-vericiler tekil belirteçten yoksundur. İşlemsel durumlar İletme (Transmit), Alma (Receive), Boş (Idle) ve Uyku (Sleep)'dur.

Bugünkü nesil radyolar bu işlemi otomatik olarak gerçekleştiren gömülü durum makinelerine sahiptir. Alıcı-vericideki radyolar yukarıda belirtilen dört farklı modta çalışmaktadır. Boş modda çalışan radyoların güç tüketimi neredeyse Alma modundaki enerji tüketimine eşittir. Bu yüzden alma veya iletme işlemi yapmayan radyoları boş moda almak yerine kapatmak en iyi çözümdür. Ayrıca paket iletimi için Uyku modundan İletme moduna geçerken önemli miktarda enerji tüketimi olmaktadır.

Dışsal bellek: Enerji bakış açısından yaklaşıldığında, en uygun bellek çeşitleri mikro denetleyici çipi üzerindeki bellek ve FLASH belleklerdir. Çip dışı RAM'ler seyrek veya hiç kullanılmamaktadır. FLASH bellekler maliyeti ve depolama kapasitesi nedeniyle kullanılmaktadır. Bellek gereksinimleri yüksek oranda uygulama bağımlıdır. Depolamanın türüne göre iki farklı bellek kategorisinden bahsedilebilir: a) Uygulamayla ilgili veya kişisel bilgileri saklamak için kullanılan Kullanıcı belleği, b) Aygıtın programlanması için kullanılan Program belleği, bu bellek ayrıca eğer varsa aygıtın tanımlayıcı verisini içerebilir.

Güç kaynağı: Sensör düğümündeki enerji tüketimi algılama, iletişim ve veri işleme nedeniyle olmaktadır. Sensör düğümünde veri iletişimi için daha fazla enerji gerekmektedir. Algılama ve veri işleme için enerji tüketimi daha azdır. 1 Kb veriyi 100 metrelik bir uzaklığa iletmek için gereken enerji, yaklaşık olarak saniyede 100 milyon komut işleyen bir işlemcide 3 milyon komut işlemek için gereken enerjiye eşittir. Enerji pil veya kapasitörler içerisinde saklanmaktadır. Piller sensör düğümlerinin enerji ihtiyaçlarının temel kaynağıdır. Şarj edilebilir ve şarj edilemez olmak üzere iki tip pil kullanılmaktadır. Ayrıca piller içerisinde kullanılan elektromekanik malzemeye göre de sınıflandırılabilir (NiCd - Nikel Kadmiyum, NiZn - Nikel Çinko, NiMH - Nikel Metal hidrid, Lityum-İyon). Günümüzdeki sensörler yenilenebilir enerji kaynaklarını da (güneş enerjisi, ısı enerjisi, titreşim enerjisi vb.) kullanabilecek şekilde geliştirilmektedir.

Kullanılan en önemli iki güç koruma politikası Devingen Güç Yönetimi (Dynamic Power Management DPM) ve Devingen Voltaj Ölçeklendirme (Dynamic Voltage Scaling - DVS)'dir. DPM kullanılmayan veya etkin olmayan parçaları kapatma görevini gerçekleştirir, DVS yaklaşımı determinist olmayan iş yüküne bağlı olarak güç seviyeleri arasında geçişler yaparak çalışır. Voltaj frekans ile birlikte değiştirilerek güç tüketiminde kuadratik azalmalar sağlamak mümkündür.

Sensörler: Sensörler sıcaklık, basınç gibi fiziksel durumlardaki değişimlere ölçülebilir tepkiler

üretebilen donanım aygıtlarıdır. Sensörler gözlemlenecek alanın fiziksel verisini ölçer veya algılarlar. Sensörler tarafından algılanan sürekli analog sinyaller "Analog-to-Digital" çeviriciler yardımıyla sayısallaştırılarak denetleyicilere daha fazla işlem için gönderilir. Sensör düğümleri küçük boyutlarda, düşük enerji tüketimli, yüksek hacimsel yoğunluklarda çalışabilen, otonom ve gözetimsiz çalışan, ortama uyum sağlayabilen özelliklere sahip olmalıdır. Kablosuz sensör düğümleri sadece sınırlı güç kaynağına sahip (0.5 Ah ve 1.2 V gibi) mikro elektronik sensör aygıtlarını kullanabilir. Sensörler üç kategori şeklinde sınıflandırılmaktadır.

Pasif, her yöne açık (yönsüz) sensörler: Pasif sensörler ortamı aktif araştırma ile değiştirmeden verileri toplayan sensörlerdir. Kendi enerjilerine sahiptir, enerji analog sinyali yükseltmek için gereklidir. Bu ölçümlerde "yön" şeklinde bir kavram yoktur.

Pasif, dar ışınlı sensörler: Bu sensörler pasiftir ancak iyi tanımlanmış ölçüm yönü kavramına sahiptir. Tipik bir örnek olarak kamera verilebilir. **Aktif sensörler:** Bu gruptaki sensörler ortamı aktif olarak araştırırlar, örnek olarak sonar veya radar sensörleri veya küçük patlamalarla şok dalgaları üreterek çalışan bazı sismik sensör tipleri verilebilir.

Kablosuz Sensör ağlarındaki kapsayıcı teorik çalışmalar Pasif, yönsüz sensörleri kastetmektedir. Her sensör düğümü belirli bir kapsama alanına sahiptir. Bu kapsama alanındaki gözlemlerini güvenilir ve doğru bir şekilde raporlayabilir. Kapsama alanını arttırmaya ve sensörlerin dizilimini iyileştirmeye yönelik çalışmalar yapılmaktadır [9].

Sensörlerdeki güç tüketim kaynakları olarak a) Sinyal örnekleme ve fiziksel sinyalleri elektrik sinyallerine çevirme, b) Sinyal iyileştirme ve c) analog'tan sayısala çevirme sayılabilir.

Sensör düğümlerinin birbirleriyle haberleşebilmesi için kullanılabilecek farklı iletişim yöntemleri vardır. Bu yöntemler optik iletişim (laser), kızıl berisi (IR) ve radyo frekansıdır (RF). Laser iletişim görüş alanı gereksinimi, atmosfer koşullarından etkilenme ve tek yönlü olması nedeniyle tercih edilen bir yöntem değildir. Kızıl berisi iletişim ise yine tek yönlü olması ve kısa erimi dolayısıyla tercih edilmez. Elektromanyetik dalgalar şeklinde yapılan iletişim yöntemidir. En önemli problemi anten gereksinimidir. İletimin ve alımın eniyilenmesi için minimum bir anten uzunluğuna ihtiyaç vardır. Bu uzunluk en az $\lambda/4$ (λ taşıma frekansının dalgaboyudur) olmalıdır. RF iletişimin avantajları kullanım kolaylığı, bütünlük, ticari olarak yaygın kullanımıdır. Dikkat edilmesi gereken bir başka unsur, güç tüketimini azaltmak için modülasyon, filtreleme, demodülasyon, vb. işlemlerin yapılması gerekliliğidir.

3. SENSÖR AĞLARININ MİMARİSİ, İŞLEYİŞ ve İLETİŞİM

Sensör ağı teknolojilerini gerçekleştirmede; donanım tasarımı, iletişim protokolleri ve uygulama tasarımı zorluklar çıkmaktadır. Sensör ağının yaşam ömrünü uzatmak ve zeki veri toplama sistemleri kurmak bu zorluklardan ikisidir. Diğer zorluklar şu şekilde listenebilir:

- Sensör ağlarının topolojisi çok sık değişir.
- Sensörler noktadan noktaya iletişime dayanan ağlarda yayım iletişim paradigmasını kullanır.
- Sensörler çok kısıtlı güç, hesaplama yeteneği ve hafızaya sahiptir.
- Sensörler bozulmaya yatkındır.
- Sensörler çok fazla yükten dolayı genel kimlik (ID) sahibi olmayabilir
- Sensörler çok fazla sayılarda kurulur, bu nedenle kalabalıktan kaynaklanan tıkanma ve çarpışmalar olabilir. Önlemek için birbirine yakın sensörler eşzamanlı iletişim yapmamalıdır.
- Ad-hoc yerleştirilmiş sistemin, sonuç dağıtım ve düğümlerin bağlantılılığını (connectivity) tanımlaması ve sağlaması gerekir.
- Devingen ortam durumları, sistemin zamanla bağlantılılık ve sistem uyarımını uyarlamasını gerekli kılar.

3.1. Gereksinimler

Sensör ağı gereksinimleri aşağıdakileri içerir:

Fazla sayıda sensör: Ucuz, küçük boyutlu sensörler kullanılarak sensör ağları binlerce sensör düğümü içerebilir. Ölçeklenebilirlik ve bu yüksek sayıdaki sensörü yönetmek önemli bir sorundur. Kümeleme (clustering) bu probleme çözümlerden biridir. Kümelemede, komşu düğümler bir küme oluşturmak üzere birleştiriliyor ve bir küme başı, bu kümeyi yönetmek için seçiliyor.

Düşük enerji kullanımı: Çoğu uygulamada, sensör düğümleri çok uzak bir yere kurulmaktadır. Bu yüzden, düğümlerin bakımının oldukça zor olduğu durumlar ortaya çıkmaktadır. Düğümün ömrü, üzerindeki pilin ömrüyle belirleniyor, böylece minimal düzeyde enerji tüketilerek pilin en verimli şekilde kullanılması gerekiyor. Çok sayıda sensör pilini doldurmak pahalı ve zaman alan bir görev olabilir.

Düşük belleğin verimli kullanımı: Sensör ağları kurulurken yönlendirme tablosu, veri yineleme (data replication), güvenlik ve benzeri konular sensör düğümündeki düşük belleğe sığacak şekilde değerlendiriliyor.

Veri toplama: Çok sayıda algılama düğümü ağı bilgiyle şişirebilir. Bu problemi çözmek için, bazı düğümler (küme başları gibi) veriyi toparlayarak, bazı hesaplamalar yaparak (ortalama, toplam, en yüksek, vb.) elde ettiği özetleri yayınlatabilir.

Ağ özörgütlenmesi: Çok sayıda düğüm ve bu düğümlerin erişimi zor (vahşi-hostile) ortamlarda

yerleştirilmesi gibi durumlarda, ağın kendini örgütleyebilmesi olmazsa olmazdır. Ağın yaşamı süresince düğümler çökebilir, yeni düğümler ağı katılabilir. Bu yüzden, ağ belirli aralıklarla kendini yeniden yapılandırabilmelidir. Böylece işlevini sürdürebilecektir. Bireysel düğümlerin ağdan ayrılma, bağlanma gibi durumlarında da tüm ağın bağlantılılığının korunması önemlidir.

İşbirlikçi sinyal işleme: Bu ağları mobil ad-hoc ağlardan ayıran önemli bir etken, ağların amacının sadece iletişim değil, ilgi duyulan bir olayın belirlenmesi/tahmininin yapılmasıdır. Belirleme başarımını arttırmak için birden fazla sensörden gelen veriyi birleştirmek (fusion) önemlidir. Bu veri birleştirmesi, veri ve kontrol mesajlarının aktarımını gerektirir. Bu gereksinim ağ mimarisinde kısıtlar yaratabilir.

Sorgulama yeteneği: Sensör ağı için Intanagonwimat vd. veri merkezli ve adres merkezli olmak üzere iki tip adresleme olduğunu belirtmiştir. Veri merkezli adreslemede sorgu ağın belirli bir bölgesine gönderilirken, adres merkezli adreslemede sorgu doğrudan belli bir düğüme gönderilmektedir.

Düşük Maliyet: Ağlarda binlerce düğüm kullanılacağı için sensör düğümlerinin maliyetinin düşük olması gereklidir.

3.2. Kablosuz Sensör Ağlarının Mobil Ad-hoc ağlara göre avantajları

Geleneksel kablosuz ad-hoc ağlar için bir çok algoritma ve protokol önerilmiş olsa da, bu algoritma ve protokollar sensör ağlarının eşsiz özellik ve uygulama gereksinimlerine uymamaktadır. Sensör ağları hatalara eğilimli ve genel kimliğe sahip olmayabilir ancak yine de geleneksel kablosuz ad-hoc ağlara göre bazı avantajlara sahiptir:

- Binlerce sensörün dağıtılmasıyla çok geniş alanların kapsanmasına olanak sağlarlar
- Ağ oluşturmuş olan sensörler, bir sensörün hatası durumunda da doğru bir şekilde çalışmaya devam ederler. Böylece, yüksek seviyeli artıklık ("redundancy") geniş ölçüde *hata toleransı* sağlamış olurlar
- Kablosuz sensör ağlar ayrıca sink düğümlerinin başka ağlara (İnternet, Geniş Alan Ağları, vb.) bağlantı sağlamasıyla uzaktan erişim olanağını artırırlar.
- Ayrık fenomenini ("discrete phenomenon") yerelleştirerek güç tüketimini azaltabilirler
- İnsan müdahalesini ve yönetimini azaltabilirler
- Gözetimsiz, erişimi zor bölgelere ortamlarda çalışabilirler
- Değişen ağ durumlarına devingen olarak tepki gösterebilirler

3.3. Ad hoc sensör ağları nasıl çalışır?

Ad hoc sensör ağı, merkezi bir yönetim veya destek hizmetlerinin yardımı olmadan geçici bir ağ oluşturan sensör düğümleri kümesidir. Başka bir

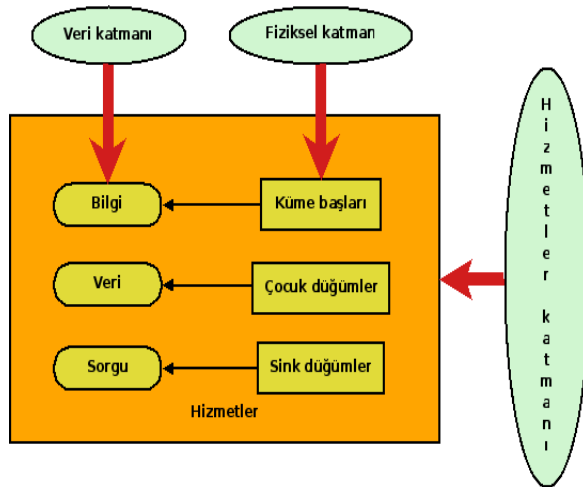
söyleşiyle ana istasyonlar gibi sabit bir altyapının olmadığı ağlardır.

Genel olarak, sensör düğümleri kablosuz radyo frekans (RF) alıcı-vericilerini ağ arabirimi olarak kullanarak, birbirleriyle iletişimi multi hop kablosuz bağlantılar şeklinde gerçekleştirirler. Ağdaki her sensör düğümü ayrıca yönlendirici ("router") şeklinde davranarak veri paketlerinin komşu düğümler arasında iletilmesini sağlar.

Ad hoc ağlar topolojideki sık değişimlerle ilgilenmek zorundadır. Bu sensörlerin hataya eğilimli olmasından ve çöken düğümlerin yerini tutmak veya ilgilenen alanı genişletmek için yeni sensör düğümlerinin ağı katılmasından dolayı gereklidir. Bu özelliklerden dolayı ad hoc sensör ağının tasarımındaki temel zorluk özörgütlenebilen sensör ağlarının ve haberleşen iki düğüm arasındaki yolu verimli bir şekilde belirleyen devingen yönlendirme ("routing") iletişim kurallarının (protokoller) geliştirilmesidir.

Ufak sensörler düşük enerji tüketimiyle daha kapsamlı bir algılama işini sağlamak için aralarındaki koordinasyonu gerçekleştirmeleri, kümeler ("cluster") halinde çalışmaları mümkündür. Her bir küme sensörlerin yönetimi için kendisine bir küme başı ("cluster head") atar. Küme başlarının avantajları;

- Kümeleme sensörlerin daha global hedeflere erişmek için kendi yerel etkileşimlerini verimli bir şekilde düzenlemelerine olanak sağlar
- Ölçeklenebilirlik
- İyileştirilmiş sağlamlık ("improved robustness")
- Daha verimli kaynak kullanımı
- Düşük enerji tüketimi
- Sağlam bağlantı veya düğüm çökmeleri ve ağ bölümleri



Şekil 4. Sensör Ağı Mimarisi

Şekil 4'te bir sensör ağının genel mimarisi görülmektedir. Şekilden inceleneceği gibi, üç katman vardır: hizmet katmanı, veri katmanı ve fiziksel

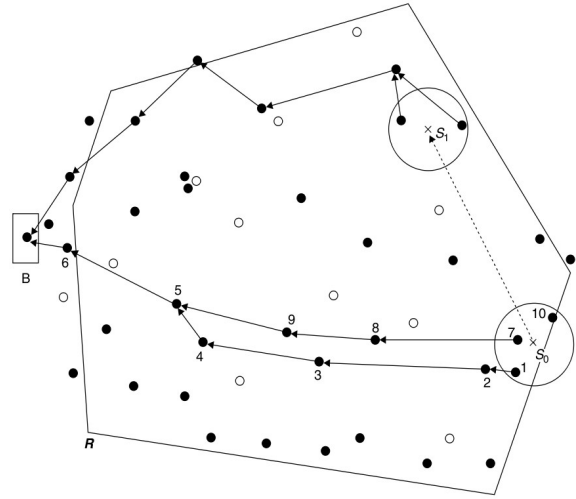
katman. Hizmetler yönlendirme iletişim kuralları, veri toplama ve veri yayma hizmetlerini (bunlarla sınırlı değildir) içerir.

Fiziksel katman fiziksel düğümlerden oluşur. Bu düğümler sinkler, çocuk düğümler, küme başları ve ebeveyn düğümlerdir. Ebeveyn düğümler iki veya daha fazla küme başına bağlanan düğümlerdir. Tüm mesajlar veri katmanında neredeyse modellenmiştir.

Sink düğümleri ya tüm sensör ağına veya kullanılan sorgunun tipine bağlı olarak sadece belli bir bölgeye sorgu yayınlırlar ("broadcast"). Sensör düğümleri bir algılamada bulunduğu anda (nesne algılama, sıcaklık titreşim konum değişimleri, vb.) bu algılama sonucu elde ettikleri veriyi komşu sensör düğümlerine yayınlırlar.

Her bir sensör (çocuk) en az bir küme başına bağlandığı için, küme başları bu veriyi alırlar. Küme başlarının görevi görevi bu veriyi işlemek ve birleştirmek, sonra komşu düğümlere yayınlama yoluyla sink düğüme aktarmaktır. Küme başları çocuk düğümlerden bir çok veri paketi aldığı için verileri süzmeli, işlemeli ve bilgi haline getirmelidir.

Sensör uygulamalarında sensör düğümlerindeki bellek, pil ve işlem gücü gibi donanımsal sınırlamalar, hedeflenen alana oldukça fazla sayıda sensör düğümünün konuşlandırılmasıyla karşılanır. Bu sensör düğümleri bir büyük kablosuz ad hoc ağ şeklinde işleri işbirliği içerisinde gerçekleştirirler. Düğümler arasındaki mesafelerin kısa olması, her düğümün iletim çapını düşürerek güç korunmasına da yardımcı olur.



Şekil 5. Veri toplayan bir sensör ağı [6]

Şekil 5'te bir sensör ağındaki veri toplama gösterilmiştir [6]. Bu ağın amacı x ile gösterilmekte olan ve R alanı içerisinde kalan nesneden veri alabilmektir. Ana istasyon B ile gösterilmektedir. Dolu daireler yaşayan düğümleri, boş daireler ölü düğümleri göstermektedir. Bu örnekte nesnenin algılanabilmesi için en azından iki sensör gerekmektedir. Nesne S_0 konumunda iken 1 ve 7 nolu

düğümler algılama işini yaparlar. 2,3,4,5 ve 6 nolu düğümler 1. düğümden; 8,9,5 ve 6 nolu düğümler 7. düğümden verinin iletişim yolunu oluşturur. Veri 5. düğümden birleştirilebilir. Bu tek mümkün algılama şekli değildir, 7 nolu düğüm yerine 10 nolu düğümden nesnenin algılamasını yapabilir. Böylece verinin iletişim yolu da değişecektir. Nesne S₁'e doğru ilerledikçe algılama, aktarma ve birleştirme görevleri değişecektir.

3.4. Sensör Ağlarında Veri Birleştirme ve Yayma

Sensör ağlarının adres merkezli olması yerine veri merkezli olması gerekir. Sensör ağlarının temel fikri çok ucuz ve basit sensör düğümlerinin tasarlanmasıdır. Bu şekilde sensör uygulamaları binlerce atılabilir düğümler herhangi bir yük oluşturmaktan kullanılabilir. Her bir düğüme tekil bir adres vermek, özellikle sensör ağ uygulamasında binlerce düğüm kullanıldığında oldukça masraflı bir iştir. Tek bir sensör düğümünün sınırlı bellek ve işlem gücünden ziyade bizi ilgilendiren sensör gruplarıdır.

Veri merkezli uygulamalar, sensörler tarafından üretilen verilere odaklanmıştır. Bu yüzden sensör #46'ya bir sorgu göndermek yerine, sorgu üzerine GPS (Küresel konumlandırma sistemi) yerleştirilmiş sensör yardımıyla konumu bilinen #6 nolu bölgeye gönderilmektedir. GPS kullanımının arkasındaki ana fikir, veri yayılımı açısından önemli olan sensörlerin konumunu kolayca belirlemektir. Böylece GPS gömülmüş sensörler yardımıyla konumları bilinen belli bir alana gönderilebilmektedir. (Maalesef gömülü GPS sensör düğümleri görüş açıları engellediğinde yanıltıcı olabilmektedir, ayrıca GPS tam konumu değil belli bir konum aralığını verir. Bu yüzden birbirine yakın düğümler aynı GPS değerini üretecektir.)

Birleştirme (“Aggregation”): Bazı sensör düğümleri komşularından aldığı verileri birleştirmekle yükümlüdür. Birleştirici düğümler sink düğümlerine bilgi halinde gönderebilmek için veriyi süzebilir, işleyebilir ve saklayabilir. Birleştirme işlemi aşağıdaki nedenlerden dolayı faydalıdır:

- Bilgi döngüsünü arttırmak
- Doğruluk düzeyini arttırmak
- Çöken sensör düğümlerini karşılamak için veri artıklığı (“redundancy”)

Yayma (“Dissemination”): Sensörler tarafından üretilen veri, hedefine ulaşmak için bir çok ara düğüm üzerinden geçmelidir. Ara düğümler çıktığı zaman gelen mesajların iletilmesinde sorunlar oluşmaktadır. Diğer sorunlar aşağıda listelenmiştir:

- Yönlendirme iletişim kuralları en kısa yolu bulmalıdır.
- Artıklık: Bir sensör aynı veri paketini birden fazla alabilir.

Sensör ağlarında veri yayma için iki senaryo vardır: sorgu güdümlü ve sürekli güncelleme. Her senaryo belirli tipteki sensör uygulamalarına uygulanabilmektedir. Birinci yöntem bire-bir ilişki olarak kullanılmaktadır, sink bir sorgu yayımlayarak sensör düğümlerinden bu sorgusuna yönelik raporlanan yanıtları alır. Örneğin sink bir nesnenin (düşman tankı veya bir hayvan) ilk defa görünüp görünmediğine dair sorguda bulunabilir.

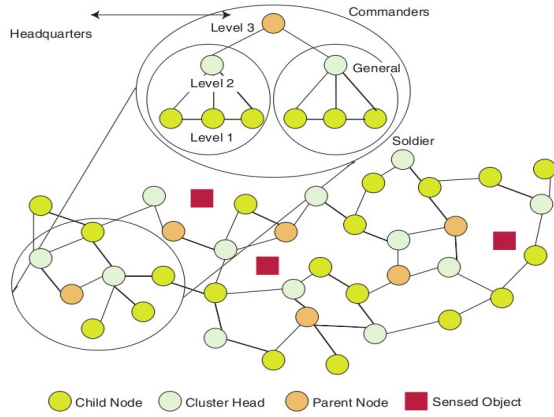
İkinci senaryo bire-çok ilişki örneğidir. Sink düğümü bir sorgu gönderir ve sorgusuna yönelik sürekli güncellemeler alır. Örneğin sink hareketli bir nesnenin doğrultusunu sorgulayabilir. Sensör düğümleri bu sorgu sonucunda hareket eden nesnenin yeni konumunu sürekli olarak raporlarlar. Sürekli güncellemeye dayanan veri yayma senaryosu yüksek oranda enerji tüketimine neden olmaktadır, ancak sorgu güdümlü yöntemine göre daha güvenilir ve doğrudur. Bunun nedeni daha fazla sensörün sorgu raporlamada yer almasıdır.

Örnek olarak sensör düğümlerinin bir park alanı ağında tek tek adreslenebildiğini düşünelim. Bu şekilde tüm boş park alanlarının belirlenmesi kolaylaşacaktır. Başka bir örnek ise bir uçakta her yolcunun koltuğunun üstüne herhangi bir yolcunun beklenmeyen hareketini belirleyen sensörler yerleştirmektir. Herhangi bir tehlike durumunda sensör ağı uçağın kontrolünü almak üzere işbirliğine gidebilir (Örneğin ışıkları kapatmak, pilotun kokpit kapısını kapatmak gibi).

Bu sensörlerin kullanılmasındaki en önemli avantaj herhangi bir hareket durumunda bağlantılılığı korumasıdır. Bu sensörler oldukça küçük olabildiği için yanlışlıkla yerlerinin değiştirilmesi oldukça olasıdır. Bu yüzden sensör ağları, bazı sensörler yerlerinden oynasa bile bağlantılılığı sağlamak zorundadır. Örneğin bu sensörler bir ormanda bulunabilir ve her türlü hareket ettirmeye karşı savunmasız olabilir (Örneğin insan, hayvan, böcek, yağmur, rüzgar vb.).

3.5 Sıradüzensel Sensör Ağlar

Sıradüzensel sensör ağları (Bkz. Şekil 6), askeri sıradüzenini model alan ve bu modele göre çalışmasının biçimlendiren bir yapıdır. Bir taktiksel askeri ağ yapısı incelenerek bu sıradüzensel sensör ağlarının benzer yapısı anlaşılabilir.



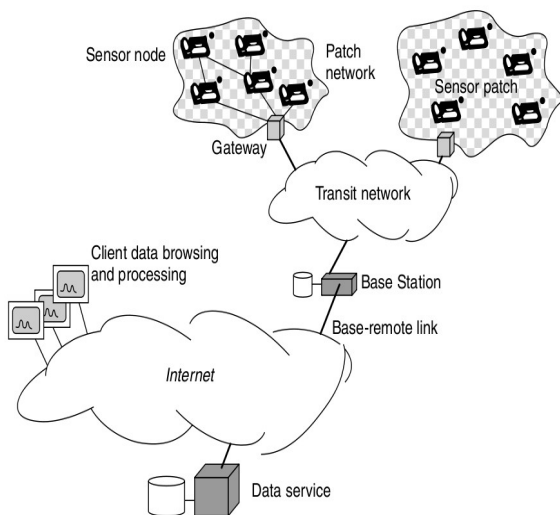
Şekil 6. Sıradüzensel sensör ağı [1]

Bir taktiksel askeri ağ, komutanlar tarafından (parent nodes) yönetilen birim gruplarından (clusters) oluşur. Bu komutanlar emileri ana karargahı (sink node) olarak, birimdeki gözlemleri ve verileri geriye gönderirler.

Komutanlar gelen emirleri generallere (cluster heads) gönderirler. Her general bir grup askerden (children) sorumludur. Askerler diğer askerler ve generallerle yerel iletişim kurarlar. Askerlerden mesajları alan generaller bu bilgiyi komutanlarına iletir.

Savaş alanında bir gözlemlerde bulunan askerler bu bilgiyi generallere aktarırlar. General askerlere emir vererek eyleme geçmelerini sağlayabilir veya komutanına danışabilir. Karar eylemlerinde (saldırı gibi) sadece ana karargah bilgiye dayanarak bir karar verebilir.

4. UYGULAMA ÖRNEKLERİ



Şekil 7. Habitat izleme için kullanılan örnek bir sensör ağı mimarisi [6]

Ortam kirliliklerinin belirlenmesi, uzak yerlerin gözlenmesi ve hatta müşteri davranışlarının izlenmesi, sensör ağlarının uygulamaları arasında sayılabilir. Araştırmacılar sensör ağları teknolojilerini, geleneksel kablosuz ağlarla çözülmesi zor olan problemlere uyarlamaya çalışmaktadır. Aşağıda bu çalışmalardan bazı örnekler incelenebilir [1][2]:

- Habitat (bitki, hayvan) izleme ve çevresel gözlem, hava durumu tahminleme sistemleri (Bkz. Şekil 7)
- Sağlık uygulamaları (hasta, doktor takibi, hasta fizyolojik psikolojik durum izleme, vb.)
- Enerji tedarik ve aktarma sistemleri (üretim, dağıtım, tüketim yapılarında)
- Ev ve ofis uygulamaları (zeki anaokulu örneği var [3])
- Uzak yerlerin, konumların çözülmesi (tornado hareketi, orman yangın tespiti, vb.)
- Geniş bir metropol alanındaki taksilere sensörler yerleştirilerek trafiğin gözlenmesi ve bu gözlemlere dayanarak rotaların etkin planlanması
- Bir park yerindeki boş ve dolu alanların sensör ağlarıyla belirlenmesi
- Kablosuz gözetim sensör ağlarıyla alışveriş merkezi, araba garajı veya benzeri tesislerde güvenlik sağlama
- Düşman hareketlerini belirleme, bulmak ve izlemek için askeri sensör ağlar
- Terörist saldırılara karşı tetikliliği arttıran sensör ağlar

5. SONUÇLAR

Kablosuz sensör ağlar bildiride anlatılan özellikleri sayesinde oldukça geniş bir yelpazede rahatlıkla kullanılabilir. Her ne kadar bazı zorlukları olsa da bu zorlukların aşılmasına yönelik çalışmalar ve çabalar sürmektedir. Özellikle askeri uygulama alanları bulunsun da, ormanların yangın için gözlenmesi, nesli tükenmekte olan hayvanların izlenmesi doğayı korumakla ilgili alanlar olarak önemlidir. Kablosuz sensör ağlarının, RFID'de olduğu gibi insanların izlenmesi için kullanılması olanaklıdır. Bu durumda yasaların geliştirilmesi gerekmektedir. Uygulayıcıların insanların kişisel hak ve hürriyetlerine dikkat etmesi, bu hakları ihlal etmemeye yönelik çalışmalar yapması şarttır.

Sonuç olarak kablosuz sensör ağlar tüm zorluklarına rağmen önümüzdeki yıllarda önem kazanarak, bir çok alanda uygulanacaktır.

TEŞEKKÜR

Desteği, yönlendirmeleri ve düzeltmeleri konusundaki önerileri için Yrd. Doç. Dr. Aybars UĞUR'a teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

Karl, H. and Willig, A.; "Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks", Wiley, (May 2005)

- [1] Tubaishat, M.; Madria, S., "Sensor networks: an overview," Potentials, IEEE , vol.22, no.2, April-May 2003, pp. 20-23.
- [2] Ning Xu, A Survey of Sensor Network Applications, University of Southern California. Available from <http://courses.cs.tamu.edu/rabi/cpsc617/resources/sensor%20nw-survey.pdf> , 2002.
- [3] Srivastava, M., Muntz, R., and Potkonjak, M. 2001. Smart kindergarten: sensor-based wireless networks for smart developmental problem-solving environments. In Proceedings of the 7th Annual international Conference on Mobile Computing and Networking (Rome, Italy). MobiCom '01. ACM, New York, NY, 132-138. DOI=<http://doi.acm.org/10.1145/381677.381690>
- [4] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci. "Wireless Sensor Networks: A Survey". Computer Networks, 38(4):393--422, March 2002.
- [5] Vieira, M.A.M.; Coelho, C.N., Jr.; da Silva, D.C., Jr.; da Mata, J.M., "Survey on wireless sensor network devices," Emerging Technologies and Factory Automation, 2003. Proceedings. ETFA '03. IEEE Conference , vol.1, no., pp. 537-544 vol.1, 16-19 Sept. 2003
- [6] Anna Hac, "Wireless Sensor Network designs", John Wiley & Sons, 2003
- [7] S. Tilak, N. Abu-Ghazaleh, and W. Heinzelman, "A Taxonomy of Wireless Micro-Sensor Network Models," ACM Mobile Computing and Communications Review (MC2R), Volume 6, Number 2, April 2002.
- [8] Sensor node - Wikipedia, the free encyclopedia, Erişim adresi : <http://en.wikipedia.org/w/index.php?oldid=263854165> , 2009.
- [9] Yıldırım, K.S., Kalaycı, T.E., Uğur, A., "Optimizing Coverage in a K-Covered and Connected Sensor Network Using Genetic Algorithms", 9th WSEAS International Conference on EVOLUTIONARY COMPUTING (EC'08), Sofia, Bulgaria, May 2-4, 2008.