

# Kablosuz Algılayıcı Ağ Yönlendirme Protokolleri İçin Geliştirilen Ayrık-Olay Tabanlı Benzetim Yazılımı

Selçuk Ökdem, Derviş Karaboğa

Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kayseri

okdem@erciyes.edu.tr, karaboga@erciyes.edu.tr

**Özet:** Bir Kablosuz Algılayıcı Ağı (KAA) işbirliği içinde çalışan algılayıcı elemanlardan oluşmaktadır. Bu türdeki ağ yapıları askeri izleme, çevresel görüntüleme ve izinsiz giriş tespiti gibi birçok uygulama alanına sahiptir. KAA' ların temel özellikleri düşük enerji kapasitelerine, sınırlı işlemci kabiliyetlerine ve düşük bant genişliklerine sahip olmalarıdır. KAA' lara özgü bu kısıtlamalardan dolayı, birçok güncel çalışma enerji tüketimini azaltacak protokollerin geliştirilmelerine yoğunlaşmıştır. KAA yönlendirme protokollerinin performans ölçümlerinde benzetim programları tasarımcılar için önemli bir araçtır. Literatürde klasik kablolu ve kablosuz ağlar için geliştirilmiş bazı benzetim platformları mevcuttur. Ancak, bu benzetim platformları KAA' lara uyarlanmalarındaki güçlükler nedeniyle her zaman kullanışlı değildirler. Ayrıca bu platformlar, KAA' lara özgü yönlendirme işlemlerini sınırlı düzeyde desteklemektedirler. Bu bildiride KAA protokollerinin tasarımında ve bu protokollerin performans testlerinde kullanılmak üzere bir benzetim programı önerilmiştir. Önerilen program aracılığıyla verimli enerji kullanılmasını sağlayan etkin yönlendirme protokolleri geliştirilebilmekte ve performans sonuçları ayrıntılı olarak alınabilmektedir.

**Anahtar Sözcükler:** Kablosuz Algılayıcı Ağlar, Yönlendirme Protokolleri, Benzetim Yazılımları.

**Abstract:** A Wireless Sensor Network (WSN) is a collection of sensor nodes that are cooperating with each-other. This type of network structures has several application areas such as military surveillance, environmental monitoring, intrusion detection, and etc. The main properties of WSNs are listed as having low energy capacities, limited processor capabilities, and low bandwidths. Because of these WSN-specific limitations, recent studies have focused on developing routing protocols that will help to lower energy consumption. To evaluate the performances of WSN routing protocols, simulation programs are important tools for designers. In the literature, there is a couple of simulation tools developed for traditional wired and wireless networks. However, it may not be applicable to use current simulation platforms due to the difficulties of adapting them for WSNs. They also have limited support for WSN-specific routing operations. In this study, a simulation program is proposed to design WSN protocols and test performances of these protocols. By the means of this program, it is possible to design effective routing protocols providing energy consumption efficiently and obtain performance results in detail.

## 1. Giriş

Düşük güç tüketimine sahip küçük ölçekli algılayıcı elemanlar bir araya gelerek Kablosuz Algılayıcı Ağları (KAA) meydana getirirler. KAA elemanları algılama işlemlerini sahip oldukları kısıtlı kaynaklarla (düşük iletişim yeteneği, sınırlı hesaplama gücü, sınırlı enerjisi) işbirliği içerisinde yaparlar. Bu tür ağ yapılarında yeni ve etkin algoritmaların geliştirilmesine ve bu algoritmalar için performans ölçümlerinin yapılabileceği benzetim yazılımlarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Kablosuz ağlarda uygulanmak üzere geliştirilen yönlendirme protokolleri verilerin kaynaktan hedefe ulaşması için en iyi güzergahın belirlenmesini amaçlayan işlemleri gerçekleştirir. Bu protokollerin test edilmesine yönelik geliştirilen benzetim yazılımlarıyla performans sonuçları alınır ve alınan sonuçlara göre protokoller şekillendirilir. Gerçek ortamda ve doğal şartlar altında KAA yapılarının belirlenen kriterler çerçevesinde test edilmesi, sistemin işleyişinin performansı hakkında bilgi edinilmesini sağlayan ideal bir yöntemdir. Ancak bu yaklaşım bazı zorlukları beraberinde getirir. Bunlardan birincisi, az sayıda KAA yapısının hali hazırda uygulanmış olmasıdır. Henüz gerçek anlamda yaygınlaşmamış olan bu tür ağ yapılarını uygulama üzerinde birebir test imkanı zordur. Ayrıca günümüz KAA uygulamaları onlarca veya yüzlerce algılayıcı elemanı destekleyecek ölçüdedir [1,2]. KAA araştırma konuları geleceği hedefleyen doğrultuda binlerce, hatta milyonlarca algılayıcı eleman içeren ağları da öngörmektedir [3]. Bu doğrultuda, bir benzetim platformunun hazırlanması, geliştirilen performans sonuçlarının alınması için uygun bir çözümdür. Bu sayede, değişik dağılımlarda farklı sayıda elemanlar içeren KAA uygulama senaryoları üretilerek bunlara ait ortalama performans sonuçları alınabilmektedir.

Bildirinin devam eden kısımları özetle şu şekildedir: 2. kısımda mevcut benzetim yazılımları ile ilgili çalışmalar, 3. kısımda

geliştirilen benzetim yazılımı ve son olarak da sonuçlar verilmektedir.

## 2. Önceki Çalışmalar

Haberleşme protokollerinin test edilmesinde yaygın olarak kullanılan ağ benzetim yazılımına Ns-2 örnek olarak verilebilir [4]. Ns-2, TCP/IP protokolü üzerinde çalışmaların da test edilebileceği güçlü bir yazılımdır. Ancak bu yazılımın asıl çalışma alanı kişisel bilgisayarlar (PC), istemci-sunucu (client-server) yapılar, LAN/WAN ve benzeri yapılar gibi nispeten gelişmiş kapasitedeki bilgisayar sistemlerinin haberleşmesini konu almaktadır. KAA yapılarında bulunan düşük kapasiteli elemanlar için Ns-2 yazılımının özelleştirilmesi, uyarlanması veya bu yapılar özgü diğer benzetim yazılımlarının kullanılması gerekmektedir. Geliştirilen yönlendirme algoritmalarının test edilmesi işleminde farklı sayılarda elemanların bölge içerisine farklı dağılımlarda yerleşimleri söz konusu olmaktadır. Bu şekilde bir çalışma için benzetim yazılımın farklı KAA yapılarını test edecek ölçüde ayarlanabilir ve ölçeklenebilir (scalable) olması hedeflenmektedir. Benzetim yazılımlarının gerçekle birebir örtüşebilmesi için OSI katmanlarının ilgili bölümleri işletilmek durumundadır. Bu sayede, farklı katmanlarda çalışma yapan araştırmacılar kendileri ile ilgili katman üzerinde modellemeleri ve program geliştirmelerini yaparak çalışma sonuçlarını elde edebilirler. Dolayısıyla bir benzetim yazılımı farklı modüllerden oluşabilir ve her bir modül OSI katmanlarından birinin çalışma alanına karşılık gelir. Farklı alanlarda çalışma yapan araştırmacılar ortak bir noktada buluşabilir ve belirli bir standart dahilinde araştırma ve geliştirme yapabilirler. Bilgisayar haberleşmesinde genel olarak kabul gören OSI referans modeli içerisinde IEEE organizasyonu [5] etkin olarak standartlar belirlemekte ve bu standartların pratikte kullanımı tercih edilmektedir. Kablosuz ağ yapılarında işlevsel benzetimleri gerçekleştiren bazı ağ benzetim programlarına GlomoSim (Global Mobile Information System Simulator) ve OPNET

örnek verilebilir. Kablolu ve kablosuz haberleşmenin her ikisini de kapsayarak benzetim yapan yazılımlarına da Ns-2 ve Ptolemy örnek olarak verilebilir [4-6]. GlomoSim [7] hareketli kablosuz haberleşme yapan elemanların oluşturduğu ağ yapıları için geliştirilen bir benzetim yazılımıdır. GlomoSim, katmanlı bir mimari içerisinde modüllerin tasarlanmasıyla oluşturulmuştur. Bu yazılımda her bir modül belirli bir protokolün parçasını temsil eder. GlomoSim benzetim programında modül ekleme, genişletme ve düzenleme işlemleri PARSEC (Paralel Simülasyon Ortamı için Karmaşık Sistemler) [8] programlama diliyle yapılır. PARSEC programlama dili "C" tabanlı sıralı ve paralel çalışma yapabilen bir yazılım geliştirme ortamıdır. OPNET [9] benzetim yazılımı OPNET teknolojileri firması tarafından geliştirilen ticari bir ağ modelleme yazılımıdır. Bu yazılımda ağlar, alt ağlar, ağ bileşenleri, haberleşen elemanlar ve diğer haberleşmeyi sağlayan yardımcı ağ aygıtları hiyerarşik bir düzende modellenmiştir. Bu elemanların her biri nokta eleman (node) olarak adlandırılmakta ve her bir işlev sonlu durumlu makine (Finite State Machine – FSM) olarak modellenmektedir. Bu yazılımda ağın tamamı ayrık-olay (discrete-event) tabanlı benzetim programlarıyla çalıştırılır. OPNET; noktadan-noktaya, yol (bus), ve kablosuz olarak üç ayrı bağlantı türünü destekler. Kablosuz bir bağlantı; kablosuz, hareketli (mobile) veya uydu ağı olacak şekilde kullanılır. Alıcı-verici bağlantısında, kanal durumları (görüş durumu, sinyal şiddeti, ve bit hataları gibi) modellenir. Alıcı-verici modülünde alınan sinyalin gücü hesaplanır ve bu sinyal belirli bir seviyeden yüksek ise alıcı tarafından ele alınarak işleme tabi tutulur. Ns-2 yazılımı REAL [10] ağ benzetim programının bir türüdür. Temelde bu yazılım TCP, yönlendirme ve çok noktaya yayımlama (multicast) yapıları için geliştirilmiştir. Ancak bu yazılım üzerine bazı eklemeler ve düzenlemeler yapılarak kablosuz ve hareketli sistemler için de benzetim çalışmaları mümkün hale getirilmiştir. Rice Üniversitesi tarafından geliştirilen Monarch (Mobile Networking Architectures) isimli proje bu

yönünde çalışmaları içermektedir [11]. Ns-2 yazılımının son versiyonu IEEE 802.11 MAC protokolü, hareketli modeller, ad-hoc yönlendirme protokolleri (AODV ve DSR gibi), kablosuz haberleşme, kablolu ve kablosuz haberleşmenin bulunduğu karışık ağ yapıları için benzetim ortamlarını sunmaktadır. UCLA (The University of California, Los Angeles) tarafından Ns-2 yazılımı düzenlenerek SensorSim [12] adında algılayıcı ağı benzetim programı geliştirilmiştir. Diğer benzetim platformlarına benzer şekilde SensorSim bünyesinde, hedef, kaynak, algılayıcılar, haberleşme bağlantı kanalları, fiziksel ortam (medya), hareketlilik (mobility) modeli ve güç modeli gibi tanımlamaları içermektedir. Ne yazık ki SensorSim yazılımı açık kod olarak artık genel kullanıma sunulmamaktadır.

Plotemy [6], UC Berkeley Üniversitesi tarafından geliştirilmeye devam edilen ayrık-olay (discrete-event) tabanlı, gerçek zamanlı (real-time) gömülü sistem tasarımı konu alan bir benzetim yazılımıdır. Bu yazılımın temel prensibi çoklu hesaplama modellerini (süreklilik analizi, veri akışı ve sonlu durumlu makineler gibi) hiyerarşik tasarımda sunmasıdır.

TOSSIM [13], TinyOS işletim sistemini [14] çalıştıran KAA yapılarına özgü geliştirilmiş bir benzetim yazılımıdır. TOSSIM geliştiricilerinin temel amacı algoritmaların ve bunların gerçek ortamda uygulamaları üzerine uyarlanmalarını hedefleyen ölçeklenebilir kolay bir arabirimin oluşturulmasıdır. Bu benzetim programında oluşturulan bir senaryo, TinyOS donanımlarına kolayca aktarılabilir. Bu yazılımın dezavantajı hedef ağın sadece belirli bir donanım için tasarlanmış olmasıdır. Bundan dolayı hata kontrolleri, akış denetimi ve diğer OSI katmanları için kullanılacak algoritmalar son derece sınırlıdır. Dolayısıyla, genel amaçlı bir algılayıcı ağ yapısı için benzetim platformunu sunmada yetersiz kalmaktadır.

JProwler ve Prowler [15] benzetim yazılımları Java ve Matlab dilinde geliştirilmiş ve OSI referans modelinin birinci

ve ikinci katmanını simüle etmektedir. Yazılım açık kaynak kodludur ve OSI referans modelinin üçüncü katmanında yer alan yönlendirme protokollerinin bu yazılıma ilave edilebilmesi mümkündür. Ayrıca alt katmanlarda yer alan fiziksel eşitlikler ve veri bağlantı özelliklerinin ve algoritmalarının da değiştirilmesi ve güncellenmesi mümkündür. Ancak bu yazılımın katmanlarında istenilen ayarlara yönelik değişimleri yapma imkanı çok sınırlı düzeyde kalmaktadır.

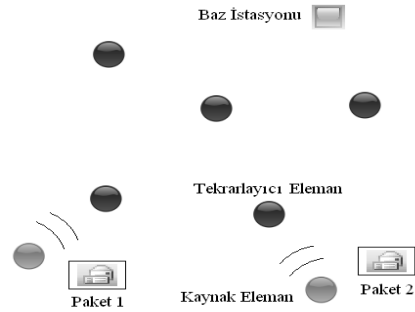
### 3. Geliştirilen KAA Benzetim Yazılımı

Radyo dalgalarının iletilmesinde çevresel şartların etkisi büyüktür. Verici radyosu yayınının kapsama alanının belirlenmesi için çevresel şartların göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Radyonun kapsama alanını belirleyen iletim sahası haberleşen iki eleman arasında ortalama olarak verilen maksimum uzaklıktır. İletim sahası, direk olarak verici ve alıcı elemanın iletim gücü ve alıcı hassasiyetine bağlıdır. Dolaylı olarak da çevresel şartlara bağlı olan iletim gücü, vericinin radyo dalgalarını yayınlamak için harcadığı güçtür. Alıcı performansını belirleyen alıcı hassasiyeti ise alıcı ünitenin sağlıklı bir şekilde algılayabileceği en düşük seviyedeki radyo sinyalıdır. Çevresel şartların belirlenmesinde “boş uzay” ve “yer yansımaları” yayım modeli olmak üzere genelde iki model kullanılmaktadır [16]. Oluşturulan benzetim programında bu iki model desteklenmektedir. Veri bağlantı modelleri olarak CSMA, TDMA ve FDMA veri bağlantı modelleri [5] kullanılabilir.

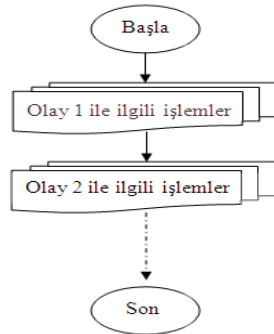
#### Paralel Yapıda Ayrık Olay Çalıştırma Mimarisi

Ağ üzerindeki farklı bölgelerde aynı zaman dilimlerinde gerçekleşen olaylar gözlenebilmektedir. Bu durumda farklı algılayıcı elemanlar aynı anda farklı paketleri merkeze iletmek isteminde bulunacaklardır. Geliştirilen benzetim yazılımı, Şekil 1a’da yer alan örnek bir senaryoda görüldüğü üzere farklı paketleri aynı anda ağ üzerinde

yayınlayacak özellikte paralel çalıştırmayı desteklemektedir. Paralel çalıştırmanın gerçekleştirilmesi için Octave platformunun zamanlayıcı (timer) nesnesinden faydalanılmıştır. Zamanlayıcı nesnesi olayları çoklu programlama yöntemiyle aynı ağ yapısında paralel bir şekilde çalıştırmaktadır (Şekil 1b). Olaylara ait işlemlerin çalıştırılmasında her bir işleme eşit zaman dilimlerinin verildiği döner çekirdek (round robin) [17] çoklu-işlem tekniği kullanılmıştır. Her bir olaya ait işlem süresi değişken alınmış ve işlemin ilgili adımının tamamlanmasıyla işlem süresi sonlandırılmıştır.



Şekil 1a. Paralel yapıda gerçekleştirilen veri yayını



Şekil 1b. İşlem akışı

Şekil 2’de yer alan komşuluklarla verilen 8 elemanlı bir ağ yapısı kullanılarak iki olay için oluşturulan örnek bir senaryoda 3. ve 6. elemanlar temel yayılım (flooding) [4] tekniği ile veri iletiminde bulunmaktadır. Benzetim programı aracılığıyla elde edilen komşuluk tablosunda ilk satır birinci

elemanın komşularını diğer satırlarda sırayla diğer elemanların komşularını içermektedir. Başlangıçta veri gönderici olarak sadece 3. ve 6. elemanlar rol almakta iken bir adım sonra bu elemanların komşuları da ilgili paketleri göndermek için rol almaktadırlar (Şekil 3).

1	3	4	-	-	-	-	-
2	5	8	-	-	-	-	-
3	1	5	6	-	-	-	-
4	1	7	-	-	-	-	-
5	2	3	7	8	-	-	-
6	3	8	-	-	-	-	-
7	4	5	8	-	-	-	-
8	2	5	6	7	-	-	-

Şekil 2. Sekiz elemanlı ağ yapısında üretilen komşuluklar

Adım 1 > Göndericiler: 3      Alıcılar: 1\_5\_6  
Adım 2 > Göndericiler: 1\_5\_6      Alıcılar: 2\_4\_7\_8

Şekil 3. İki adım çalıştırılan senaryoda 1. paket iletimi

### Zamanlayıcı Nesnesi Yapılandırması

Geliştirilen benzetim programında olaylar birbirinden bağımsız bir şekilde ele alınmakta ve paralel yapıda gerçekleşebilmektedir. Bunun için çoklu programlama tekniklerinden faydalanılmıştır. Oluşturulan yönlendirme algoritması için veri gönderimi, alımı, hata olayları, olayların kaydedilmesi, raporlanması gibi fonksiyonlar verilen öncelik değerlerine göre sistemde çalıştırılmaktadır. Öncelik değerleri sistemde CPU kullanım hakkını ve çalışma periyodunu ifade etmektedir. Octave ortamında geliştirilen benzetim programında “öncelikleri dikkate alan döner çekirdek” (priority based round robin) [18] çoklu programlama tekniği kullanılmaktadır. Bu tekniğin Octave platformunda oluşturulmasında Octave araçlarından olan zamanlayıcı nesnelere faydalanılmıştır.

### Bir KAA Senaryosunun Başlatılması

Programın içerisinde yer alan “KAA-başlatma(argümanlar)” fonksiyonuyla argüman parametreleriyle verilen özellikler

sahip bir KAA yapısı oluşturulmaktadır. Argüman parametreleri ağ yerleştirilmesi, algılayıcı elemanlar ve alt katman özellikleri hakkında bilgiler içermektedir. Bu parametreler Tablo 1’de yer almaktadır. Şekil 4’de ise Octave komut satırından ilgili başlatma fonksiyonu örnek bir KAA yapısı için çağrılmaktadır. Çağırılan fonksiyon, 100x100m2 alan üzerine düzgün dağılımla rasgele yerleştirilen 100 elemanlı bir ağ yapısı için “LEACH” yönlendirme protokolünü kullanmaktadır [19].

```
>> N=100; X=100; Y=100; E=2; f_tasiyici=2.4e9; TX=10; RX=-90;
    k=8192; f_veri=250e3; R=('FLOODING');
>> kaa_baslatma(N, X, YE, f_tasiyici, TX, RX, k, f_veri, R);
>> |
```

Şekil 4. Başlatma fonksiyonunun çağırılması

Tablo 1. Başlatma argüman parametreleri

Argüman	Tanımları	Birim
$N$	KAA eleman sayısı	adet
$X$	Algılayıcı elemanların yerleştirildiği dikdörtgensel bölgenin yatay uzunluğu	metre
$Y$	Algılayıcı elemanların yerleştirildiği dikdörtgensel bölgenin dikey uzunluğu	metre
$E$	Algılayıcı elemanların başlangıç enerjileri	joule
$f_{tasıyıcı}$	Radio iletim/alan taşıyıcı frekansı	Hertz
$TX$	Radio iletim gücü	dBm
$RX$	Radio alım gücü	dBm
$K$	Paket uzunluğu	Bit
$f_{veri}$	Veri iletim frekansı	bit/saniye
$R$	Yönlendirme protokolü tanımlayıcısı	Metin

### Ağ Haberleşme Bağlantılarının Elde Edilmesi

Yayımlı algoritmasına [4] göre yapılan bir başlatma için komşuluk tablosu algılayıcı elemanların verici gücüne, alıcı hassasiyetine ve birbirlerine olan uzaklıklarına göre çıkartılmaktadır. Şekil 5’de 50x50m2 bölge üzerinde dağıtılmış -80dBm alıcı hassasiyetli alıcılara sahip 8 elemanlı KAA ağları için

programın ürettiği komşuluk tabloları görülmektedir. -15dBm verici gücüne sahip elemanların oluşturduğu komşuluklar şeklin sol tarafında görülmektedir. -10dBm verici gücüne sahip elemanların oluşturduğu komşuluklar ise şekil üzerinde sağda görüldüğü üzere daha yoğun olmaktadır.

1	5	8	-	-	-	-	-
2	4	-	-	-	-	-	-
3	6	7	8	-	-	-	-
4	2	-	-	-	-	-	-
5	1	8	-	-	-	-	-
6	3	7	-	-	-	-	-
7	3	6	-	-	-	-	-
8	1	3	5	-	-	-	-

a)

1	2	3	4	5	6	8	-
2	1	3	4	5	6	7	8
3	1	2	4	5	8	-	-
4	1	2	3	5	8	-	-
5	1	2	3	4	7	8	-
6	1	2	7	-	-	-	-
7	2	5	6	-	-	-	-
8	1	2	3	4	5	-	-

b)

Şekil 5. Farklı verici güçlerinde oluşturulan komşuluklar: a)-15dBm, b)-10dBm

Komşuluklar üzerinden yayılım algoritmasıyla yapılan haberleşme Eşitlik 6 ile tanımlı bağlantılar aracılığı ile gerçekleştirilmektedir. Eşitlikte tabu listesi daha önce alınan paketlerin kimliklerini içermektedir. Algılayıcı eleman alıcısına gelmeye başlayan paketin öncelikle kimliğinin de bulunduğu başlık bilgisi değerlendirilmekte ve bu paketin daha önce alınmış olup olmadığına tabu listesindeki kimlik kontrolünden sonra karar verilmektedir. Eğer bu paket daha önce alınmış ise paketin yayınlanmakta olan verisi dikkate alınmamakta ve paketle ilgili bir işlem yapılmamaktadır. Eşitlikte  $L$  bağlantı grafiğini,  $s$  gönderici elemanı,  $r$  alıcı elemanı,  $N_s$  verici eleman  $s$ 'nin komşuluğunu, tabur

alıcı eleman  $r$ 'nin tabu listesini,  $n$  ise maksimum paket sayısını ifade etmektedir.

$i = (0, 1, 2, 3, \dots, n)$  paket numarası;

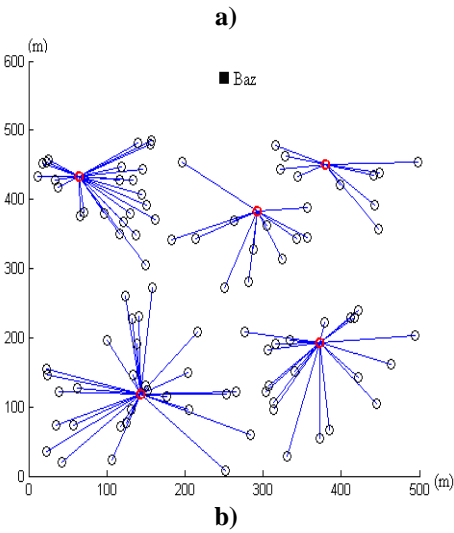
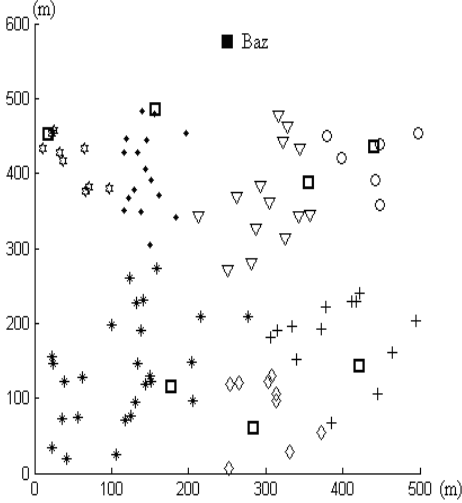
$L = (s_i, r_i)$  öyle ki  $r_i \in N_s$  ve tabur,  $i$ 'den farklı (6)

Periyodik veri iletimini kullanan küme tabanlı haberleşmede ise iletim iki aşamada gerçekleşir. İlk aşamada veriler kümeler içerisinden seçilen ve “başkan” olarak adlandırılan algılayıcılara gönderilir. İkinci aşamada ise başkanlar bu verileri merkeze iletir. Küme başkanlarıyla yapılan bir KAA haberleşmesi için yönlendirme işleminde en uygun küme başkanları ve elemanları belirlenmektedir. Daha sonra bu veriler bu başkanlar aracılığıyla merkeze (baz istasyonu) toplanmaktadır. Bölge üzerinden periyodik veri transferi gerektiren durumlar için kullanışlı bir çözüm olan kümeleme tabanlı bir yaklaşımda benzetim programı tarafından elde edilen kümeler Şekil 6(a)'da yer almaktadır. Burada 500mx500m alana rastgele dağıtılmış 100 elemanlı KAA için alınan kümeler gösterilmektedir. Bu ağ yapısında küme başkanı sayısı 5 olarak alınmıştır. Boş kare işaretçileriyle gösterilen küme başkanlarının seçimi ise LEACH protokolü ile gerçekleştirilmiştir. Diğer algılayıcı elemanlar ait oldukları kümelerle göre işaretlendirilmiştir. Bu kümelerdeki elemanlar üçgen, yıldız, artı, vb. işaretçiler ile gösterilmiştir. Elemanlar verilerini ait oldukları kümenin başkanları aracılığı ile baz istasyonuna (Baz) iletmektedirler. Örnek olarak Şekil 6(b)'de CWA protokolünün ürettiği ağ bağlantıları yer almaktadır. Şekilden görüldüğü üzere CWA protokolü küme başkanları seçimini ağ üzerinde diğer elemanlara olan uzaklıkları dengeleyecek şekilde daha düzgün dağılımlı olarak gerçekleştirmektedir [20].

#### 4. Sonuçlar

Bu bildiriye, KAA yapılarında yönlendirme protokollerinin performans testlerinin yapılmasına yönelik geliştirilen benzetim yazılımı tanıtılmıştır. Protokollerin test işlemi için farklı ölçütlerden faydalanılmıştır. İstenilen ölçütlerde ve şartlarda farklı ağ

senaryolarında test işlemlerinin gerçekleştirilmesi ve sonuçların istenilen formatlara göre alınabilmesi için Octave platformundan faydalanılmıştır.



Şekil 6. a) LEACH kümeleri b) CWA protokolu

KAA uygulamalarının çok sayıda algılayıcı elemanı destekleyecek ölçüde yapılması gerekmektedir. Fazla eleman sayısına sahip KAA yapılarında, yönlendirme protokolleri üzerinde geliştirilen algoritmalar farklı senaryolar için test edilebilmektedir. Hazırlanan benzetim programıyla önerilen yaklaşımların bu yapılar için kullanılabilirliği ve performans sonuçları elde edilen test

verilerine göre incelenebilmektedir. Sonuç olarak, hazırlanan benzetim programı farklı yönlendirme protokollerinin performans sonuçlarını tablo verileri halinde veya grafiksel ortamda almak için protokol tasarımcılarına kullanışlı bir yazılım geliştirme ortamı sunmaktadır.

## Kaynaklar

- [1] Cerpa, A., and etc, "Habitat monitoring: Application Driver for Wireless Communications Technology", ACMSIGCOMM'2000, Costa Rica, 2001.
- [2] Halweil, B., "Study Finds Modern Farming is Costly, World Watch, Cilt 14, No 1, 9-10, 2001.
- [3] Yick, J., Mukherjee, B., Ghosal, D., "Wireless Sensor Network Survey", Computer Networks, Elsevier, Cilt 52, 2292-2330, 2008.
- [4] Information Sciences Institute, University of Southern California, "The Network Simulator ns-2: Tips and Statistical Data for Running Large Simulations in NS", <http://www.isi.edu/nsnam/ns/ns-largesim.html>, 2008.
- [5] The Standards Board (SASB), "IEEE Standards Association", <http://standards.ieee.org>, 2011.
- [6] Ptolemy Project Group, "Heterogeneous Modelling and Design", UC Berkeley-EECS, <http://ptolemy.eecs.berkeley.edu>, 2008.
- [7] Bajaj, L., Takai, M., Ahuja, R., Tang, K., Bagrodia, R., and Gerla, M., "GloMoSim: A scalable network simulation environment", Technical Report 990027, Computer Science Department, University of California, Los Angeles, May 1999.
- [8] PARSEC Research Group, "PARSEC," UCLA Parallel Computing Laboratory, <http://pcl.cs.ucla.edu/projects/parsec>, 2008.

- [9] OPNET Researchers and Developers, "OPNET Simulator Platform", OPNET Technologies, Inc., <http://www.opnet.com/>, 2008.
- [10] Keshav, S., "REAL: A network Simulator", Technical Report 88/472, University of California, Berkeley, 1988.
- [11] Monarch Research Group, "Monarch Project, Rice University", Computer Science Department, <http://www.monarch.cs.rice.edu/>, 2008.
- [12] Park, S., Savvides, A., and Srivastava, M., "SensorSim: A simulation framework for sensor Networks", In Proc. of the ACM international Workshop on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems, 2000.
- [13] P., Levis, and etc, "TOSSIM: Accurate and scalable simulation of entire TinyOS applications", Proceedings of the 1st international conference on Embedded networked sensor systems, 2003.
- [14] Hill, J., Szewczyk, R., Woo, A., Hollar, S., Culler, D., Pister, K. S., "System architecture directions for networked sensors", In Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems, Boston, MA, USA, 93–104, 2000.
- [15] Simon, G., Volgyesi, P., Maroti, M., Ledeczi, A., "[Simulation-based optimization of communication protocols for large-scale wireless sensor networks](#)", Proc. of the IEEE Aerospace Conference, March 2003.
- [16] Bajaj, L., and etc., "GloMoSim: A Scalable Network Simulation Environment", In Technical Report 990027. Computer Science Department, University of California, Los Angeles, 1999.
- [17] Shreedhar, M., Varghese, G., "Efficient fair queueing using deficit round robin", ACM SIGCOMM Computer Communication Review, Cilt 25, No 4, 1995.
- [18] Faisstnauer, C. and etc., "Priority round-robin scheduling for very large virtual environments",. IEEE Proceedings of the Conference on Virtual Reality, 135-142, 2000.
- [19] Heinzelman, W., Chandrakasan, A., Balakrishnan, H., "Energy-Efficient Communication Protocols for Wireless Microsensor Networks", In Proc. Hawaaiian Int'l Conf. on Systems Science, 1-10, 2000.
- [20] Karaboga, D., Okdem, S, "Kablosuz Algılayıcı Ağlarında Zeki Yönlendirme Teknikleri", doktora tezi, Erc. Üniv. Fen Bil. Ens. Bilg. Müh., Şubat 2011.