

SORGU-TABANLI TELSİZ ALGILAYICI AĞLARI SINAMA ORTAMI ÇALIŞMALARI

İlker Demirkol

Boğaziçi Üniversitesi
Bilgisayar Müh. Bölümü
ilker@boun.edu.tr

Kerem Başol

Boğaziçi Üniversitesi
Bilgisayar Müh. Bölümü
kbasol@boun.edu.tr

Ömer Bilal Orhan

Boğaziçi Üniversitesi
Bilgisayar Müh. Bölümü
omerb@boun.edu.tr

Soner Sevinç

Boğaziçi Üniversitesi
Bilgisayar Müh. Bölümü
soner.sevinc@boun.edu.tr

ÖZET

Telsiz algılayıcılar enerji kaynağı olarak pil kullandığı için ve bu pillerin değiştirilmesi ya da tekrar doldurulması genelde mümkün olmayacağı için, telsiz algılayıcı ağlar üzerine yapılan çalışmalar güç tüketimini azaltmayı hedeflemektedir. Yapılmaya çalışılan, dolaylı olarak ağın çalışma ömrünü uzatmaktadır. Önerilmiş olan ya da önerilecek bu tür çalışmaların başarımlarının ölçümü için benzetim, analiz gibi yöntemler de kullanılmasına rağmen; en gerçeğe yakın ölçüm yöntemi sinama ortamları üzerinde yapılan ölçümlerdir. Bu bildiride, sorgu tabanlı telsiz algılayıcı ağları için oluşturulan bir sinama ortamı incelenmektedir. Öncelikle sorgu tabanlı telsiz algılayıcı ağlar tanımlanacak ve daha sonrasında sinama ortamının kurulumu ve çalıştırılması sırasında elde edilen tecrübeler aktarılacaktır.

ABSTRACT

Since wireless sensors use batteries as energy source, and since these batteries are generally cannot be replaced or recharged, research on wireless sensor networks (WSN) aim to reduce the energy consumption. Actually the aim is to achieve longer lifetime for the network. Although analysis and simulation methods are used for performance evaluation of the proposed solutions, the experiments done on a test-bed would be more realistic. In this paper, we investigate a test-bed established to investigate query-based wireless sensor networks. Firstly, we will define query-based WSN and then the information achieved at the establishment phase and experiments phase will be described.

Anahtar Kelimeler: Telsiz algılayıcı ağlar, sorgu tabanlı ağlar, sinama ortamı^{*}

1. GİRİŞ

Algıladığı veriyi işleyebilen ve birbiri ile telsiz olarak haberleşebilen algılayıcılardan oluşan telsiz algılayıcı ağlar; altyapı gerektirmeyen birçok sivil ve askeri uygulama için kullanılabilir. Hassas tarım, afet erken uyarı sistemleri gibi sivil uygulamalar yanında sızma sezme, hedef takip gibi askeri uygulamalar için önerilmiş çeşitli telsiz algılayıcı ağ çözümleri bulunmaktadır. Ancak, çeşitli uygulamalarda tüm algılayıcıların tüm algıladıkları verileri yollaması yerine, belirli bir tip veriyi yollamaları ya da belirli bir veri belirtilen bir eşiği geçtiğinde o veriyi yollamaları istenebilmektedir. Bu tür istekler sorgularla algılayıcılara iletiildiğinden, bu cins ağlara sorgu tabanlı telsiz algılayıcı ağlar denmektedir. Örnek olarak, tarımsal uygulamalarda istenilen ölçüm çeşidi (nem, sıcaklık, vb.) ve bu ölçümlerin yollanma sıklığı değişkenlik gösterebilmektedir [1]. Dolayısı ile hassas tarım uygulamalarında, sorgu tabanlı telsiz algılayıcı ağların kullanılması daha uygun olacaktır. Bu ve benzeri uygulamaların başarımlarının ölçümlerinin yapılması ve özelliklerinin incelenmesi için Boğaziçi Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Ağ Araştırmaları Laboratuvarı (NETLAB) bünyesinde Crossbow [5] telsiz algılayıcılarından oluşan bir sinama ortamı kurduk. Bu sinama ortamında toplayıcı algılayıcıdan (*sink*) tüm ağa sorgu tabanlı emir paketleri yayınlarken diğer algılayıcıların istenilen bilgileri sadece istenilen zamanlarda yada ölçüm değerleri belli bir eşik değerini aştığında yollamaları sağlandı. Bu bildiride, bu sinama ortamının oluşturulması ve çalıştırılması sırasında elde edilen tecrübeler aktarılmaya çalışılmıştır. Bölüm 2’de sorgu tabanlı algılayıcı ağlarının tanımı yapılmaktadır, Bölüm 3’te kurulan sinama ortamının özellikleri anlatılmaktadır. Daha sonrasında, sinama ortamından elde edilen çeşitli sonuçlar Bölüm 4’te verilmiştir. Son olarak, Bölüm 5’te ise sorgu tabanlı ağ uygulamasının tasarımı ve algılayıcılar üzerinde koşacak TinyOS kodunun genel hatları belirtilmiştir.

^{*} Bu çalışma BAP/04A105 ve DPT/03K120250 projeleri tarafından desteklenmiştir.

2. SORGU TABANLI TELSİZ ALGILAYICI AĞLARI

Sorgu tabanlı telsiz algılayıcı ağlar, algılayıcılara uzaktan sorgu yaparak istenen bilgiyi alma ya da algılayıcılara istenen işlemi yaptırma prensibine dayanmaktadır. Sorgu, genellikle toplayıcı düğümden (toplayıcı algılayıcıdan) diğer algılayıcılara gönderilen ağ paketleri vasıtasıyla gerçekleştirilir.

2.1. Literatürdeki Çalışmalar

Literatürde sorgu tabanlı algılayıcı ağlarını esas alan birçok model ve uygulama geliştirilmiştir. Bu uygulamalardan bazıları yapı sağlamlığı kontrolü [4], taşıt hasar görüntülemesi [2], [3] ve tarım uygulamaları [1] olarak sıralanabilir. Yapı sağlamlığı kontrolü uygulamasında [4], ana istasyondan gönderilen mesajlar “uyan”, “bilgi toplamaya başla”, “yeniden uyu” şeklinde olmaktadır. Bu sorgular vasıtasıyla binanın ne derecede titreşim yaptığı, belli noktadaki zorlanma miktarları gibi bilgiler ölçülmektedir. Bahsi geçen komutların kullanımı, nadir olarak gerçekleştirilecek olan kontrol işlemi için gereksiz pil harcamasını önleyecek ve algılayıcıların yaşam süresini uzatacaktır. Algılayıcıları uzaktan programlayabilmek için sorgu tabanlı bir sistem kullanılması gerekmektedir.

Daha önce geliştirilmiş olan sorgu tabanlı algılama ağları uygulamalarının ortak özellikleri genelde değişik tipte bilgiyi toplayabilmeleri ve toplanacak olan bilgi türünün uzaktan seçilebilmeleridir. Bu organizasyonun güzel yanı istediğimiz tipte ölçümü istediğimiz zaman gerekli sorguyu yönlendirerek yapabilmemizdir. Örneğin, tarım uygulamasında isteğimize göre nem, sıcaklık, asidite ölçümünü algılayıcılara sorgu yollayarak yaptırmanın mümkün olmaktadır. Bu ayırım, algılayıcıların yalnızca bir ölçüme odaklanmasını sağlamakta, sonuç olarak da pillerinin daha uzun ömürlü olmalarını beraberinde getirmektedir.

Şu ana değin yapılmış olan uygulamaların eksik yönü ise bilgi toplama stratejilerinin verimsizliği ve ağ içinde kullanılan protokollerin değiştirilememesidir. Sürekli değişen ortam koşulları dikkate alındığında, değişik bilgi aktarma stratejileri ve değişik uyuyup uyanma rutinleri son derece gerekli ve önemli bir hale gelmektedir. Değişen ortam koşullarına örnek olarak iklim koşullarındaki değişimler, bilgi ölçüm önceliklerindeki değişimler ve zamana göre farklılaşmalar verilebilir.

2.2. Uygulanan Sorgu Tabanlı Algılayıcı Ağ Sistemi

Sinama ortamında uygulanan sorgu tabanlı sistemde, bilgi alma-aktarma ve uyuma-uyanma rutinlerinde değişimlere el verebilecek özellikler bulunmaktadır. Bu sistemde, toplayıcı algılayıcıdan diğer tüm algılayıcılara gönderilecek iki çeşit sorgu mesajı yer alacaktır. Birincisi, algılayıcıların belli bir gelişmeye karşı tepki vermelerini sağlamak, ikincisi ise algılayıcıların sürekli ölçümler yapıp periyodik bilgi aktarmalarını sağlamaktır. Her iki başlık için de değişik, isteğe bağlı ölçümler gerçekleştirilebilir. Kimyasal bazlı ölçümler, nem ölçümleri ve sıcaklık ölçümleri bunlardan bazılarıdır.

Önerilen sistem ile örneğin daha önce bahsedilen hassas tarım uygulaması daha verimli hale getirilebilir: Yaz aylarında, özellikle kurak geçen dönemlerde topraktaki nem oranının seviyesi oldukça önem arz etmektedir. Nemin belli bir seviyenin altına düşmesi ve sulamanın gecikmesi mahsulü olumsuz yönde etkileyecektir. Böyle bir durumda çiftçiler sisteme “nem belli bir seviyenin altına düşerse sulama başlat” komutunu verirler ve bu komutu alan tarladaki algılayıcılar bu komuta göre çalışmaya devam ederler. Ayrıca, sisteme “sürekli görüntüle” komutu verilebilir ve ölçümlerin belirlenen bir sıklıkta devamlı olarak toplayıcı algılayıcıya yollanması sağlanabilir. Aynı yöntem toprağın gübre yoğunluğunun (kimyasal ölçüm) ve sıcaklığının ölçümünde de uygulanabilir.

Topraktaki gübre yoğunluğunun çok az olması ürünün iyi gelişmemesine yol açarken, gübrenin fazla olması da topraktaki asitliğin artmasına, sonuç olarak da ürünün yanmasına yol açmaktadır. Bu nedenle toprağın kimyevi içerik açısından incelenmesi büyük önem arz etmektedir. Yukarıda belirttiğimiz yöntemlerle toprağın kimyasal içeriği kolaylıkla kontrol altına alınabilir. Değişen mevsimler ve değişen iklim koşulları farklı zamanlarda farklı ölçümler yapmayı gerekli kılacaktır. Yaz aylarında nem ölçümü önem kazanırken, gübreleme dönemlerinde ise kimyevi ölçümler ön plana çıkacaktır. Sinama ortamında uyguladığımız sistem, ölçümlerdeki bu esnekliği göz önüne almakta ve istediğimiz tip ölçümü istediğimiz zaman bilgisayardan görebilmemizi sağlamaktadır.

Uygulanan sistem öne sürülen hedeflerini gerçekleştirebilmek için temel olarak üç çeşit işlevi içermelidir:

- Birincisi, toplayıcı algılayıcıdan diğer algılayıcılara mesaj aktarımı hatasız ve hızlı bir şekilde yapılabilir.

- İkincisi, olay güdümlü paket gönderme mekanizması gerçekleştirilmeli.
- Son olarak da algılayıcıların enerji-verimli işleyebilmesi için enerji harcamalarının makul düzeylere indirgenmesi, bunun için gerekli olan protokollerin geliştirilmesi ve hayata geçirilmesi hedeflenmektedir. Bu hedeflerin nasıl gerçekleştirilebileceği daha detaylı olarak Bölüm 4’te anlatılacaktır.

3. TELSİZ ALGILAYICI AĞ SINAMA ORTAMI ÖZELLİKLERİ

3.1. Sinama ortamının donanımsal özellikleri

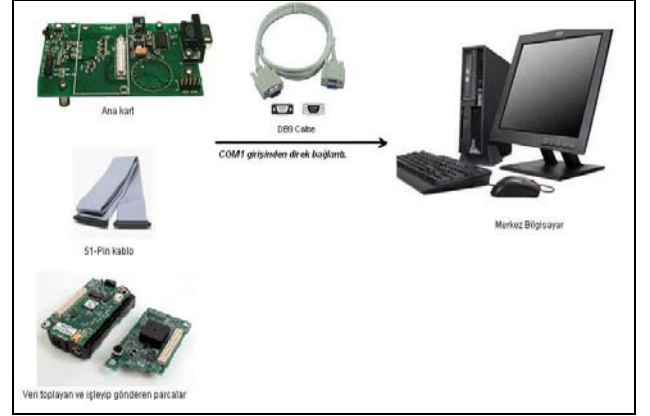
Çalışmalarımızda kullandığımız algılayıcı cihazları veri algılama ve veri işleyip göndermekten sorumlu iki ayrı parçadan oluşmaktadır. Algılamayı gerçekleştirecek olan birinci parça diğerinin üzerine 51-pin’li arabirim vasıtasıyla birleştirilmekte, ve veri aktarımı da alttaki parça vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir.

Deneyler boyunca iki çeşit algılama cihazı kullanıldı: Crossbow’un MTS300 ve MTS310 algılama kartları. Her iki çeşitte de bulunan sıcaklık ve ışık algılayıcılarına ek olarak MTS310 da ivme ve manyetik alan algılayıcıları da bulunmaktadır.



Şekil 1. Algılayıcıların algılama devre kartı. (MTS310)

İkinci parça olan Crossbow MICA2DOT (MPR500) [5] ise alınan verileri işlemek için 128Kb programlanabilir hafızaya ve 7.37Mhz işlemciye sahiptir. Ayrıca, elde edilen bilgilerin yollanması için 915 Mhz radyo frekansı kullanır. Ana algılayıcı kartı bilgisayara seri port (COM) girişinden bağlanan MIB510 ana kartıdır. Ağ ile bilgisayar arasındaki haberleşme bu yolla sağlanır.

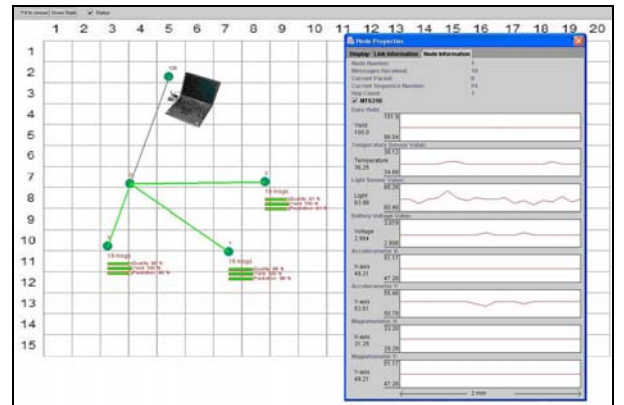


Şekil 2. Algılayıcı ağı kurulumu.

3.2. Sinama ortamının yazılımlar özellikleri

Algılayıcıların üzerinde koşan sistem, nesC dili ile yazılmış olan Tiny-OS [6] işletim sistemidir. Uygulamalarımızda ortam erişim denetimi (MAC) olarak Berkeley Üniversitesi'nin sunduğu Taşıyıcı Dinlemeli Çoklu Erişim (CSMA) tabanlı B-MAC protokolü [7] kullanılmaktadır. Ağa yolladığımız paketlerin izleyecekleri rotayı belirleyebilmek için çeşitli yönlendirme protokolleri de kullanabilmektedir. Tiny-OS işletim sisteminin içerisinde bulunan bu yazılımlar algılayıcılara yüklendiğinde değişik amaçlar için farklı protokolleri uygulamamıza olanak vermektedirler. En kısa yol seçimi, rasgele yol seçimi gibi uygulamaya özgün seçenekleri bulunmaktadır.

Ağ ilingesini ve algılayıcılardan gelen bilgileri bir Java programı (Crossbow firmasının Surge GUI uygulaması) aracılığıyla Şekil 3'te örneklendiği üzere bilgisayardan izlemek mümkündür.

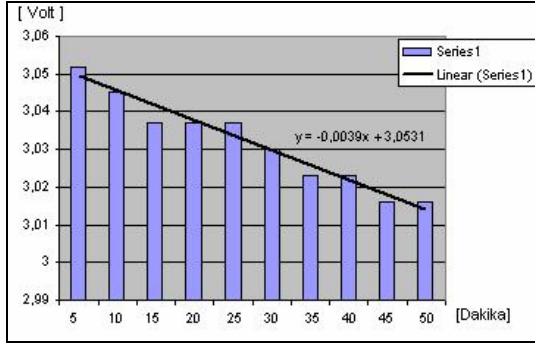


Şekil 3. Ağ ilingesini ve ısı, ışık, manyetizma ve ivme bilgileri.

4. SINAMA ORTAMI ÖRNEK SONUÇLARI

Şekil 4'te görüldüğü gibi, algılayıcıların ölçebildiği bir diğer veri de voltaj bilgisidir. Voltajın düşmesi uygulamaya bağımlı olup, doğrusal olduğu durumlarda algılayıcıların tahmini yaşam süresi hesaplanabilmektedir. Voltaj değeri çalışma sınırı olan 2.1 Voltun [8] altına düştüğünde algılayıcı kullanım dışı kalmaktadır. Bu ölçümler kurulan ağın tahmini yaşam süresi hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlamaktadır.

Şekil 4'te, 2 saniye aralıklarla periyodik ölçüm yapıp bu ölçümü ağa bildiren bir ağ kurulumundan alınmış voltaj değerleri gösterilmektedir. Bu değerler ana algılayıcıya tek sekme uzaklıkta olan bir algılayıcıdan gelmektedir. 5 dakika aralıklarla toplanan voltaj bilgisi kullanılarak yapılan doğrusal regresyon analizi bu algılayıcının tahmini yaşam süresini göstermektedir.



Şekil 4. Voltaj düşüm doğrusal regresyon analizi

Algılayıcılar farklı iletişim durumlarında farklı miktarda güç harcamaktadırlar. İletişim durumuna göre güç kullanımları, Tablo 1'de görüldüğü gibi, radyo yayını sırasında en yüksek değerindedir. Yayın alırken ve yayını beklerken harcanan enerji aynıdır, bunun yanında uyku modunda fark edilir bir enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Telsiz ağlarda en önemli sorunlardan biri olan enerji-verimliliği hedefine ulaşmaya yönelik çalışmaların temelini, algılayıcıyı uygunken uyku modunda tutmak oluşturmaktadır.

TABLO 1 . Mica2 algılayıcılarının iletişim durumuna göre enerji harcamaları. [9]

İletişim Durumu	Güç Kullanımı (mW)
İletim	81
Alım/Eylemsiz	30
Uyku	0.003

Algılayıcılar herhangi bir dış güç kaynağına bağlı olmadıkları için tüm gerekli enerjilerini sahip oldukları pillerden karşılayacaklardır. Bu nedenle

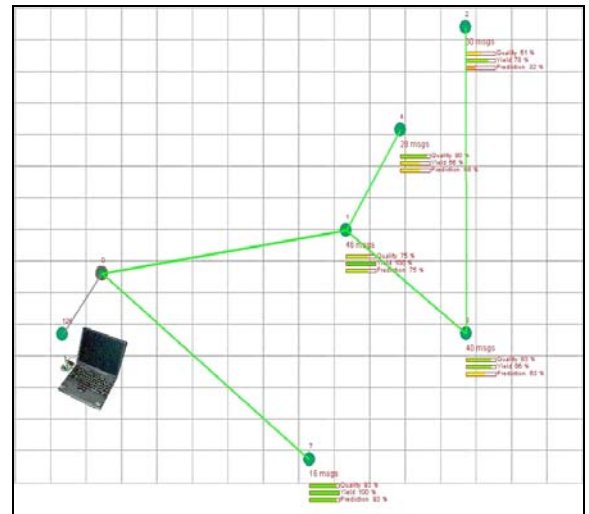
algılayıcıların enerji-verimli çalışabilmeleri bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu soruna çözüm ise algılayıcıların her zaman çalışmamaları, gerektiği zaman işlemeleri, gerekmediği zaman ise uyumalarıdır. Algılayıcıların çalışırılık oranı ayarlanarak, daha enerji-verimli bir sistem elde edilmesi hedeflenmektedir.

TABLO 2. Çalışırılık oranları ve bunlara karşılık gelen paket ve bilgi akış hızları [10]

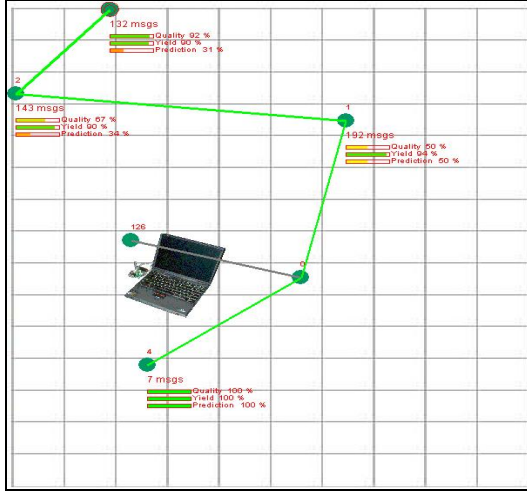
Mod	Çalışırılık Oranı (%)	Max Paket Oranı (paket/sn)	Bilgi Akış Hızı (kbps)
0	100	42.93	12.364
1	35.5	19.69	5.671
2	11.5	8.64	2.488
3	7.53	6.03	1.737
4	5.61	4.64	1.336
5	2.22	1.94	0.559
6	1.00	0.89	0.258

Çoklu sekme ile paket taşıyabilme özelliği, telsiz algılayıcı ağlarda toplayıcı algılayıcıya uzak olan algılayıcılarla bile haberleşme imkanı sağlamaktadır. Birden fazla yolun kullanılabilmesi için farklı protokoller denenmektedir. En kısa yol seçimi, rasgele yol seçimi gibi uygulamaya özgün seçenekleri bulunmaktadır. Şekil 5(a) ve 5(b)'de sinama ortamlarında en kısa yol seçimi [11] ile oluşturulan değişik ağ ilingeleri görülmektedir.

Tüm bilgilerin toplanabilmesi, algılayıcıların gerekli ölçümü alıp ağ üzerinden bir paket olarak gönderebilmesi esasına dayanmaktadır. Yaptığımız uygulamalarda algılayıcıların belli ortam parametrelerindeki değişime göre paket yollaması, bu paketin içeriğinin isteğe göre yapılandırılması sağlanmıştır.



Şekil 5 (a)



Şekil 5 (b)

Şekil 5. En kısa yol seçimi yoluyla oluşturulan ağ ilingeleri.

5. SORGU TABANLI ALGILAYICI UYGULAMASI

Şimdi, daha önce de bahsettiğimiz sorgu tabanlı çalışan uygulamanın MICA2 algılayıcı cihazları üzerinde nasıl uygulandığını anlatacağız.

5.1 Amaç

Amacımız ana algılayıcıdan aldığı komut paketlerini yorumlayabilecek ve sonuçta komut paketinin içeriği çerçevesinde ölçüm yapacak algılayıcılardan oluşan bir telsiz algılayıcı ağ kurmaktır.

Verilebilecek sorgular üç çeşittir: Birinci tip sorgu sadece güç yönetimi ile ilgiliyken, diğer iki çeşit sorgu ise hem güç yönetimi hem de çevre algılamaları ile ilgilidir. Örneğin birinci tip sorgular dinleme ve iletme ayarlarını altıncı seviyeye getirerek tüm ağı yüz birimlik zaman içerisinde sadece bir birim çalışmasını sağlamak mümkün olmaktadır. İkinci tip sorgularla ise algılayıcıların sadece belli bir durum sağlandığında algı değerlerini göndermeleri sağlanabilmektedir. Bahsi geçen özel durum (f,v,d) şeklinde gösterilmektedir. Burada 'f' değişkeni algılama türünü gösterirken (ışık, manyetik alan, vb.), 'v' değişkeni 'f' ölçümünün alabileceği herhangi bir sayısal değeri göstermektedir. Son değişken olan 'd' ise 'v' değeri ile belirtilen eşik değerinin aşılması ve aşılması durumunda 1, aşılmama durumunda ise 0 değerini almaktadır. Örnek olarak algılamaların yalnızca sıcaklık değeri 23'ün üstündeyse ana algılayıcıya gönderilmesini isteyelim. Bu durumda vermemiz gereken komut (sıcaklık, 23, 1) şeklinde olacaktır. Son olarak üçüncü tip sorgular ise algılayıcılara algıladıkları değerleri periyodik olarak t saniyede bir göndermelerine imkan tanımaktadır.

5.2 Teknik Gereksinimler

- 1) Ana algılayıcıdan tüm ağa paket enjekte edebilmek
- 2) Sorgu içeren bilgiyi yollamak için paket yapısını değiştirmek
- 3) Gelen paketteki bilgi kısmını diğer kısımlardan ayırıp sorgu bilgisine erişmek
- 4) Algılayıcı içindeki ilgili parametreleri değiştirip paketin gerçekleşmesini sağlamak.

5.3 Plan ve İşleme

5.3.1 Paket Enjekte Etme

Ağa paket enjekte etmek için TinyOS'un "contrib\xbow\tools\ java\ net\ tinyos\ surge" dizininde bulunan "SurgeController.java" uygulamasını kullandık. Programın istediğimiz şekilde çalışması için bazı düzenlemeler yaptık. Daha sonra "Surge" uygulamasını ana algılayıcıya yükledik. Yapılan tüm bu değişikliklerden sonra "SurgeController.java" uygulamasını kullanarak paketlerimizi ağa yollamayı başardık.

5.3.2 Paket Yapısını Değiştirme

Uygulamamızda tek çeşit paket yapısı kullanmayı tercih ettik. Bu nedenle, tüm komut çeşitlerine ait parametreler tek pakete sığdırıldı.

Dört komut çeşidi için gerekli parametreler:

uint8_t mod	(çalışırlık oranını ayarlamak)
uint8_t f	(algılama türünü ayarlamak)
uint32_t v	(eşik değeri belirtmek)
bool d	(eşiğin aşılma durumunu belirtmek)
uint8_t t	(periyodik gönderim aralığını ayarlamak)
bool dur	(algılayıcıları durdurma komutu vermek)

Bu parametrelerin hepsini tek pakete, aşağıdaki gibi yerleştirdik.

```
typedef struct SurgeCmdMsg {
    uint8_t mod
    uint8_t f
    uint16_t v //ilk bit d
    uint16_t t //ilk bit 'dur'
} __attribute__((packed)) SurgeCmdMsg;
```

Şekil 6. Komut paket içeriği

İki tane tek bitlik değişken 't' ve 'v' değişkenlerinin ilk biti olarak gönderilmektedir.

5.3.3 Komut Alımı

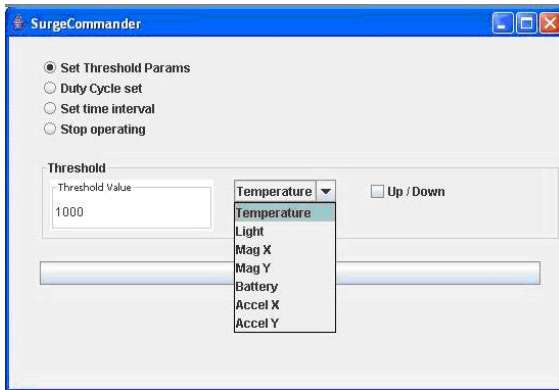
Komut mesajları varsayılan olarak yayınlama suretiyle gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle algılayıcıların, "SurgeM.nc" dosyası içerisindeki yayın almakla görevli fonksiyondan gerekli bilgiyi almasını sağladık:

```
event TOS_MsgPtr Bcast.receive(TOS_MsgPtr  
pMsg, void* payload, uint16_t payloadLen)
```

5.3.4 Parametreleri Değiştirme

Parametrelerin komut türüne göre değiştirilmelerini aşağıdaki gösterilen kullanımlarla sağladık:

- Birinci tür için
(çalışırlık oranını ayarlamak):
SetListeningMode(mod);
SetTransmitMode(mod);
- İkinci tür için
((f,v,d) üçlü bilgisini yorumlamak)
switch(f){
 case 1: reading=light;
 case 2: reading=temperature;
 ... }
if(d is 1 and 'reading' > v OR d is 0 and
'reading' < v)
call
Send.send(&gMsgBuffer, sizeof(SurgeMsg))
- Üçüncü Tür için
(zaman aralığı ayarlamak)
timer_rate = t;



ekil 7. Uygulama arayüzü

6. SONUÇ

Bu çalışmada sorgu tabanlı telsiz algılayıcı ağların genel özelliklerini, kurulum ve ayarlanmaları ile ilgili genel bilgiler sunduk. Bunun yanı sıra telsiz algılayıcıların çok geniş olan uygulama alanlarını, tarımsal bir uygulama bağlamında anlatmaya çalıştık. Sorgu tabanlı bir sistem kullandığımız bu uygulamada, daha çok paket trafiği üzerindeki kullanıcı kontrolünü arttırmaya yönelik

çalışmalarda bulunarak telsiz algılayıcı ağların genel gereksinimi olan az enerji tüketimini sağlamaya çalıştık. Bu amaçla, öncelikle algılayıcılar arası iletişimin gerçekleşme şekli üzerinde durduk. Bu aşamadan sonra toplayıcı algılayıcıdan herhangi bir algılayıcıya komut paketinin nasıl gönderileceği konusunda çalıştık. Varsayılan paket formatıyla bu aktarımı sağladıktan sonra bizim asıl amacımız olan sorgu tabanlı iletişimi gerçekleştirerek telsiz ağ içindeki herhangi bir algılayıcının ölçtüğü değerleri ana algılayıcıya sadece komut paketinde çizilen çerçeve içerisinde aktarmasını sağladık.

İleriki çalışmalarımızda bu bildiriye anlatılan ve incelenen sistemi geliştirmeyi düşünüyoruz. Şu anda ana algılayıcı (dolayısıyla kullanıcı) tarafından belirlenen paket aktarım modu kararının algılayıcılar tarafından otomatik verilmesinin sistemi daha da geliştireceği düşüncesindeyiz. Bu yeni sistem kullanıcıya daha az bağlı olacak ve değişik ilingelelere daha çabuk adapte olabilecektir. Bunun için algılayıcıların çevresel ölçümlerini daha detaylı olarak yorumlamalarını sağlayacak ve paket aktarım modlarıyla ilgili karar vermelerine yardımcı olacak algoritmaların geliştirilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Zhuohui Zhang, Investigation of Wireless Sensor Networks for Precision Agriculture, ASAE Annual Meeting, Paper number 041154, 2004.

[2] MicroStrain Inc., Damage Tracking for Helicopters Navy SBIR FY2005.1, Proposal No: N051-011-0599

[3] WINS (Condition Based Monitoring), <http://wins.rockwellscientific.com/>

[4] S.W. Arms, J.H. Galbreath, A.T. Newhard, C.P. Townsend, Remotely Reprogrammable Sensors for Structural Health Monitoring, Buffalo, NY, 2004.

[5] Crossbow Technology Inc., <http://www.xbow.com>

[6] Tiny-OS, <http://www.tinyos.net/>

[7] Joseph Polastre, David Culler CS Dept. Berkeley, Jason Hill, JLH Labs, B-MAC - Versatile Low Power Media Access for Wireless Sensor Networks, Proceedings of the ENSS, Baltimore, USA, 2004

[8] J. Suh, MICA2 AA Battery Pack Service Life Test, Crossbow Technology, Inc., 2004.

[9] Matthew J. Miller and Nitin H. Vaidya, Minimizing Energy Consumption in Sensor Networks Using a WakeUp Radio, IEEE WCNC March 25, 2004

[10] MICA2 Radio Stack for TinyOS

[11] Minimum Transmission Routing, www.tinyos.net/tinyos-1.x/tos/lib/MintRoute/