



DEÜ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ DERGİSİ



Cilt: 15 No: 2 Sayı: 44 sh. 27-38 Mayıs 2013

SUALTI KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARI İÇİN ENERJİ ETKİN YÖNLENDİRME PROTOKOLÜ

(ENERGY EFFICIENT ROUTING PROTOCOL FOR UNDERWATER WIRELESS SENSOR NETWORKS)

Yonca BAYRAKDAR¹, Aylin KANTARCI²

ÖZET/ABSTRACT

Sualtı Kablosuz Algılayıcı Ağları'nın, yüksek yayılım gecikmeleri ve hata oranları, düşük bant genişliği ve kısıtlı enerji kaynakları gibi kendine has özellikleri, bu ortamlar için protokol geliştirme işini oldukça zorlaştırmaktadır. Tüm bu zorluklara ek olarak, düğümlerin tükenen enerji kaynaklarını değiştirebilmek veya yeniden doldurmak yüksek maliyet gerektirmektedir. Bu yüzden protokollerin enerji etkinliğini göz önünde bulundurmaları çok önemlidir. Bu çalışmada, Sualtı Kablosuz Algılayıcı Ağları için, düğümlerin enerji tüketimlerini dengeli bir hale getirerek ağın yaşam süresini uzatmayı ve ağdaki toplam enerji tüketimini azaltmayı hedefleyen, Enerji Etkin Yönlendirme Protokolü (EEYP) adında bir yönlendirme protokolü tanıtılmıştır. NS-2, Miracle benzetim ortamları ve Miracle sualtı eklentisi kullanılarak yapılan deneylerle EEYP, toplam enerji tüketimi, başarılı paket oranı ve uçtan uca gecikme gibi başarımlar ölçütleri dikkate alındığında, başarılı sonuçlar vermektedir.

The characteristic features of Underwater Wireless Sensor Networks, such as high propagation delays and error rates, low bandwidth and limited energy sources make the protocol design issue challenging for those environments. Besides all those difficulties, it is very expensive to change or recharge the drained energy sources of the sensor nodes. Thus it is very important to consider energy efficiency while developing protocols for those environments. In this study, with the aim of reducing the total energy consumption and extending the lifetime of the network by balancing the energy consumption of the nodes, a protocol named Energy Efficient Routing Protocol for Underwater Wireless Sensor Networks is proposed. Experiments with NS-2, Miracle and underwaterniracle extensions show that Energy Efficient Routing Protocol is successful in terms of the total energy consumption, success rate and end-to-end delay.

ANAHTAR KELİMELELER/KEYWORDS

Sualtı kablosuz algılayıcı ağları, Enerji etkin yönlendirme protokolleri
Underwater wireless sensor networks, Energy efficient routing protocols

¹ Çanakkale 18 Mart Ün., Müh. Fak., Bilgisayar Müh. Böl., ÇANAKKALE

² Ege Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Bornova, İZMİR

1. GİRİŞ

Yirminci yüzyılın sonlarına doğru, pille çalışan, basit ve küçük cihazlardan oluşan Karasal Kablosuz Algılayıcı Ağları araştırmacılar için popüler hale gelmiş ve bu ağlar kolaylıkla bir tasarsız ağ oluşturabilme özellikleri ile yangın tespitinden hedef izlemeye, askeri uygulamalardan deprem tahminine kadar geniş yelpazedeki uygulama alanlarında tercih edilmişlerdir. Tüm bu uygulama alanlarında temel hedef, çevresel verileri toplayarak bu verilerin en etkin şekilde bir merkeze iletilmesini sağlamaktır. Bu hedef doğrultusunda unutulmaması gereken, algılayıcı cihazların pille çalıştığı ve basit bir işlemciye sahip olduklarıdır. Bu nedenle, algılayıcı ağlar için geliştirilecek protokollerin tasarımında, enerji tüketimi ve düğümler arası mesajlaşmaların basitliği ilk önce dikkate alınmalıdır (Lanbo vd., 2008).

Her ne kadar Karasal Kablosuz Algılayıcı Ağları ile benzerlik gösteren yanları olsa da Sualtı Kablosuz Algılayıcı Ağları kendine has özellikleri ile ayrıca incelenmeyi gerektirmektedirler. Karasal Kablosuz Algılayıcı Ağları araştırmacılar tarafından yoğun olarak çalışılmış bir konudur ve bu ağlarda kullanılmak üzere geliştirilmiş çok sayıda protokol mevcuttur. Ancak bu protokolleri Sualtı Kablosuz Algılayıcı Ağları için aynen kullanmak etkin bir yaklaşım olmayabilir. Bunun başlıca sebebi iletişim ortamlarının tamamıyla farklı olmasıdır. Ayrıca her iki ağda kullanılan algılayıcı düğümlerin donanımsal özellikleri, maliyetleri ve konuşlandırılma prensipleri birbirinden ayrıdır (Heidemann vd., 2006).

Bu çalışmada, Sualtı Kablosuz Algılayıcı Ağları'nın kendine has özelliklerini dikkate alacak şekilde, algılayıcı düğümlerin enerjilerini dengeli ve etkin bir şekilde kullanacakları bir yönlendirme protokolü olan EEYP geliştirilmiştir. Bu protokolde düğümler, kendilerine komşu düğümlerin kalan enerjilerini ve kendine olan uzaklıklarını temel alarak yönlendirme kararı verirler. Bu şekilde veri akışının sadece belli başlı düğümler üzerinden yapılması engellenir ve sonuç olarak, enerji tüketimi düğümler tarafından dengeli bir şekilde paylaşılır. Deney sonuçları, düğümün enerjisi diğer düğümlerden önce bitmediği için ağın bağlılığı korunmakta ve bunun bir getirisi olarak, yüksek başarılı paket oranlarına ulaşıldığını göstermektedir.

Çalışmanın bundan sonraki bölümleri şu şekilde düzenlenmiştir: Bölüm 2'de Sualtı Kablosuz Algılayıcı Ağları ile ilgili altyapı bilgisi sunulmuştur. Bölüm 3'te mevcut çalışmalardan söz edilmektedir. Bölüm 4'te EEYP'nin çalışma mekanizması ayrıntıları ile anlatılmaktadır. Bölüm 5 ve 6'da sırasıyla, deneysel çalışma sonuçları anlatılmış ve yorumlanmıştır.

2. ALTYAPI

Bu bölümde, Sualtı Kablosuz Algılayıcı Ağları'nın genel mimarisi, uygulama alanları ve Karasal Kablosuz Algılayıcı Ağları'ndan farkları anlatılacaktır.

2.1. Sualtı Kablosuz Algılayıcı Ağları'na Genel Bakış

Okyanus ve denizler her dönemde araştırmacıların ilgisini çekmiş ancak fiziksel olarak zorlu olduklarından karasal ortamların gerisinde kalmışlardır. Yakın bir geçmişte insanoğlunun üzerinde yaşadığımız gezegenin bilinmeyenlerini araştırmak konusundaki engellenemez merakı ile algılayıcı ağlar yerkürenin % 70'ini oluşturan denizler ve okyanuslarda da kullanılmaya başlanmıştır. Bu kullanım, sualtı canlı popülasyonlarını gözlemlemek, sualtında maden-tarihi eser vb. araması yapmak, sualtı petrol boru hatlarını

gözlemlemek, su kirliliği analizi yapmak gibi gerek askeri, gerek ticari gerekse bilimsel araştırmalar için geniş uygulama alanları bulmuştur.

Sualtını gözlemlemek için kullanılan geleneksel yaklaşım, uygulama alanına algılayıcıları yerleştirmek ve gözlem tamamlanıncaya kadar onları kendi hallerine bırakmak; uygulama süresi sona erdikten sonra da algılayıcıları toplayıp kaydettikleri veriye ulaşmak yöntemiydi. Bu yöntemin dezavantajları şöyle sıralanabilir (Proakis vd., 2001):

- *Gerçek zamanlı gözlem olanaksızdır.* Sualtı gözleme cihazlarının topladıkları veriye ancak uygulama bittikten sonra düğümler su yüzüne çıkarıldıktan sonra erişilebilmektedir ve bu gözlem süreci belki de aylar sürebilir. Verilerin hızlı bir şekilde su yüzüne aktarımını gerektiren uygulamalar için bu tür bir yaklaşım uygun değildir.
- *Sistemin çevrimiçi yeniden yapılandırılması olanaksızdır.* Kıyıda bulunan kontrol sistemleri ile algılayıcıların etkileşimi ve iletişimi, geleneksel sistemlerde mümkün olmamaktadır.
- *Hata tespiti olanaksızdır.* Herhangi bir cihaz arızalandığında veya herhangi bir hata durumu ortaya çıktığında bunun anlaşılması ancak cihazların toplanması sonucu fark edilebilir.
- *Cihazların depolama yetenekleri kısıtlıdır.* Gözleme süresince algılayıcılar topladıkları veriyi depolamaktadırlar. Ancak bellek boyutları bu verinin büyüklüğünü kısıtlamaktadır.

Yukarıda sayılan tüm sebeplerden dolayı, sualtı ağlarının gerçek zamanlı gözlemlemeye uygun, uzaktan kontrol edilebilir ve kendi kendine organize olabilir şekilde tasarlanması gerekmektedir. Bu da algılayıcı düğümler arasında akustik iletişimi temel alan kablosuz bağlarla gerçekleştirilebilir. Bu noktada karşımıza Sualtı Kablosuz Algılayıcı Ağları çıkmaktadır.

Sualtı Kablosuz Algılayıcı Ağları, düğümlerin sualtında iki veya üç boyutlu şekilde yerleştirilmesi ile oluşan ve bu algılayıcıların topladıkları verileri su yüzeyinde bulunan bir veya daha fazla sayıdaki veri toplayıcısına ilettikleri ağlardır. Su yüzeyinde bulunan veri toplayıcısı ise radyo dalgalarını kullanarak kıyıda veya bir deniz aracındaki merkezle iletişim sağlayabilir.

Algılayıcıların iki boyutlu olarak yerleştirildiği ağlarda, deniz dibine demirlenmiş sabit durumdaki düğümler birbirleri ile ve su üstü veya sualtı veri toplayıcısı ile iletişim kurabilirler. Üç boyutlu ağlarda ise algılayıcı düğümler bir makara sistemiyle sualtında farklı derinliklerde hafifçe dalgalanma hareketi yaparak asılı durmaktadırlar (Çayırıcı vd., 2006).

2.2. Sualtı Kablosuz Algılayıcı Ağları'nın Karasal Kablosuz Algılayıcı Ağları'ndan Farkları

Sualtı Kablosuz Algılayıcı Ağları ile Karasal Kablosuz Algılayıcı Ağları, birçok yönden benzerlik gösterebilir de ayrıldıkları önemli noktalar vardır. Bu konuda ilk söz edilmesi gereken iletişim ortamıdır. Sualtı Kablosuz Algılayıcı Ağları'nda, su altında iyi bir şekilde yayılmayan radyo dalgaları yerine akustik iletişim kullanılmaktadır. Ancak ses dalgalarının yayılma hızı radyo dalgalarınınkinden 10^5 kat daha yavaştır.

İkincisi, sualtı düğümlerinin daha fazla hareketlilik göstermesidir. Bir diğer fark, sualtında enerji tüketiminin daha önemli bir konu olmasıdır. Bu durum sualtı düğümlerinin veri göndermek için harcadıkları enerjinin veri alma enerjisinden çok daha yüksek olmasıdır. Bu değerler karasal algılayıcılar için yaklaşık olarak aynı kabul edilir (Sözer vd., 2000; Partan vd., 2007). Ayrıca sualtı algılayıcıları uzun iletim menzillerine sahiptirler ve karasal ağlara göre seyrek bir şekilde konuşlandırılırlar. Tüm bu sebeplerden dolayı, sualtı iletişimi için

protokoller yoğun bir mesajlaşma trafiğinin önüne geçecek ve el sıkışma mekanizmalarının kullanılmayacağı, paketlerin çok tekrarlı şekilde gönderilmeyeceği stratejilerle geliştirilmelidir.

Son olarak, sualtında oldukça kısıtlı bant genişliği sebebiyle çok düşük veri aktarım hızları söz konusudur. Örneğin 1 km menzilde veri aktarım hızı 40 kb/s'yi genelde geçmemektedir (Ayaz vd., 2011).

3. BENZER ÇALIŞMALAR

Bu bölümde Sualtı Kablosuz Algılayıcı Ağları için geliştirilmiş çok bilinen yönlendirme protokolleri, genel özellikleriyle tanıtılmıştır. Daha ayrıntılı bilgi için incelenebilir (Bayraktar vd., 2011).

Vektör-Tabanlı İleriyön Protokolü (VTİP), sualtı sensör ağları için tasarlanmış, konum-tabanlı bir yönlendirme protokolüdür. VTİP'de, kaynak ve hedef arasında bir "sanal veri yolu" kurulur ve veri iletimi bu veri yolu üzerinden yapılır. Bu sanal veri yolunun dışında kalan düğümler yönlendirme sürecine katılmazlar. Sadece veri yolunun içinde bulunan düğümler yönlendirme sürecine katıldığı ve bu sayede sanal veri yolu fikri ağ trafiğini büyük ölçüde azalttığı için VTİP, yoğun ağlar için iyi sonuçlar vermektedir (Xie vd., 2005). Ancak bunun yanında VTİP'nin bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Örneğin, tüm ağ için eksiksiz konum bilgisinin var olduğu varsayılmaktadır. Bunun yanı sıra düğüm yoğunluğu sanal veri yolu oluşturma işleminin etkinliğini yüksek oranda etkilemektedir. Düğümlerin seyrek olarak konuşlandırıldığı bir ağda, sanal veri yolu içinde veri iletimini sağlayacak çok az düğüm olabilir veya hiç düğüm olmayabilir.

Sualtı Duyucu Ağları için Gürbüz Yer-Tabanlı İyileştirilmiş Yönlendirme, "sanal veri yolu" mekanizmasını kullanan ve VTİP'e benzeyen başka bir yönlendirme protokolüdür. Ancak, kaynak ve hedef arasında tüm ağ çapında tek bir sanal veri yolu yaratmaktan çok, sualtı duyucu ağları için gürbüz yer-tabanlı iyileştirilmiş yönlendirme'de her bir taşıyıcı düğüm için bir yönlendirme vektörü oluşturulur. Yazarlar bu yaklaşımla, seyrek konuşlandırılmış ağlardaki düşük veri iletimi ve yönlendirme yolu yarıçapına yüksek hassasiyet sorunlarına çözüm getirdiklerini belirtmektedirler (Nicolaou vd., 2007).

Sualtı Duyucu Ağları için Derinlik-Tabanlı Yönlendirme (DTY) her düğümün bireysel olarak, bir önceki göndericinin ve kendisinin derinlik bilgisine dayanarak paketi iletip iletmeme kararı aldığı açgözlü bir algoritmadır. Bir düğüm veri göndermek istediğinde bunu tümegönderim ile yapar. Komşu düğümler paketi aldıklarında, kendi derinliklerini hesaplayıp gönderici düğümün derinliğiyle kıyaslarlar. Daha küçük derinlik değerine sahip düğümler, paketleri kabul ederlerken, geri kalanlar paketleri işleme almazlar (Hai Yan ve Cui, 2008).

Hop-by-Hop Dinamik Adresleme Tabanlı, deniz dibine demirlenmiş ve farklı derinliklerde konuşlandırılmış düğümlerden gelen verileri toplayan, deniz yüzeyindeki birden fazla şamandıradan oluşmuş bir ağ yapısı olduğunu kabul eden bir yönlendirme algoritmasıdır. Ağ içindeki her bir yüzen düğüm için dinamik bir HopID atanmıştır. Gönderici düğümün komşuluğunda bulunan ve HopID'si göndericinininkinden küçük olan düğümler, iletilen paket için adaydırlar. Göndericiye en yakın olan düğüm iletilen paket için seçilir (Ayaz ve Abdullah, 2009a).

Sualtı Duyucu Ağları için Odaklı Işın Yönlendirme (OIY), konum bilgisine dayalı, ölçeklenebilir bir yönlendirme tekniğidir. OIY, hem sabit hem de hareketli sualtı akustik ağları için uygun ve saat eşzamanlamasına ihtiyaç duymayan bir yönlendirme protokolü olarak tanıtılmıştır. OIY'nin ana fikri, tümegönderimi iletim gücü ile sınırlandırarak, enerji tüketimini azaltmaktır (Jornet vd., 2008).

PULRP, düğümlerin yoğun şekilde konuşlandırıldığı ve iyi bağlanmış üç boyutlu sualtı ağları için geliştirilmiş bir yönlendirme protokolüdür. PULRP algoritması, iki fazdan oluşmaktadır. İlk faz, bir veri toplayıcı düğüm etrafında herbir küre bir katmana denk gelecek şekilde eş merkezli kürelerin oluşturulduğu katmanlama fazıdır. Eş merkezli kürelerin yarıçapları, başarılı paket iletme olasılığına ve paket iletme gecikmesine göre kararlaştırılır. Ara düğümlerin seçimi ve kaynaktan hedefe veri iletimi ikinci fazda gerçekleşir. Düğümlerin bulunduğu alan herbir düğüm bir kübe denk gelecek şekilde küçük sanal kübik alanlara bölünmüştür. Kaynaktan, veri toplayıcısına kadar bir patika oluşturabilmek için bir düğüm, kontrol paketi tümegönderimi yapar. Kontrol paketi gönderen düğümün aynı anda kontrol paketi gönderen başka bir komşusu yoksa çarpışmasız bir iletişim garantilenmiş olur. Göndericiden daha küçük bir derinlikte konuşlanmış bir ara düğüm adayı bir kontrol mesajı aldığı anda, buna bir geribildirim mesajı ile cevap verir. Daha sonra veri paketi kaynak düğüm tarafından ara düğüme iletilir. Ara düğüm veri paketini başarılı bir şekilde aldıktan sonra toplayıcı düğüme doğru tümegönderim yapar (Gopi vd., 2008).

Uyarlanabilir Yönlendirme, paket yönlendirmenin mesaj tipine ve uygulamanın gereksinimlerine bağlı olarak uyarlamalı bir şekilde yapıldığı bir yönlendirme protokolüdür. Farklı başarımlar gereksinimlerini karşılamak üzere protokol, mesaj tekrarını ve kaynak kullanımını azaltır. Protokolün temel amacı iletim oranı, ortalama gecikme ve enerji tüketimi arasında iyi bir denge kurmak ve farklı önceliğe sahip veri paketleri için farklı servisler sunmaktır (Guo vd., 2009).

Derin Su için GPS'siz Yönlendirme Protokolü, herhangi bir coğrafik yer belirleme mekanizmasına ihtiyaç duymayan ve rastgele hareketlilik içeren uygulamalar üzerine odaklanmıştır. Derin su için GPS'siz yönlendirme protokolü, düğümlerin sınıflara ayrıldığı ve her bir düğümün doğrudan küme liderine bağlı olduğu, kendi kendine örgütlenebilir bir yönlendirme algoritmasıdır. Küme liderleri küme üyelerinden gelen verileri alırlar ve bu toplanmış veriler üzerinde birleştirme işlemi uygularlar (Domingo ve Prior, 2009).

Düşük Yayılım Gecikmesi Çok-yollu Yönlendirme, yönlendirme rotası belirleme sürecinde kaynaktan hedefe doğru çok sayıda alt rotadan oluşan bir rota belirler. Çoklu alt rotalar, göndericiden bir ara düğüm ile iki hop uzaklıktaki komşularına uzanan alt yollar olarak tanımlanmıştır. Bu yaklaşım farklı ara düğümlerden veri aldığı için, alıcı düğümdeki veri çarpışmasını önlemek için kullanılmaktadır (Chen vd., 2010).

Sualtı Duyucu Ağları için Basınç Yönlendirme, su basıncını temel alan, düğümlerin basınç düzeylerini, başka bir deyişle derinlik bilgilerini kullanarak anycast yönlendirme yapan bir protokoldür. Çift kanalda sinyal karışmasını sınırlandıran ve düğümleri kümeleme yoluyla etkin bir şekilde sualtında çıkmaz yol problemini çözen yeni, fırsatçı bir yönlendirme yaklaşımı olarak tanıtılmıştır. Yazarlar, sualtı duyucu ağları için basınç yönlendirme'nin masraflı dağıtık konum belirleme algoritmalarına ihtiyaç duymadığını ve konum belirleme işleminin, su yüzeyine gönderildikten sonra veri üzerinde yapılabileceğini söylemektedirler. Yenilik olarak, iletici düğümlerin belirlenmesinde, saklı terminal problemine sebep olmaksızın kanal özelliklerini kullandıklarını belirtmektedirler. İletici düğüm kümesini seçme süreci, paket iletim olasılığı ve hedefe olan uzaklık parametrelerini kullanarak hesaplanan bir değere bağlıdır. Yönlendirme yapılırken dikey veri iletimi tercih edilse de, eğer uygun bir düğüm bulunamazsa devreye düzeltme algoritması girer (Lee vd., 2010).

Mevcut protokoller incelendiğinde, dengeli enerji tüketimi konusunu da dikkate alan, mesajlaşmanın yoğun olmadığı, çok enerji tüketimine sebep olan tümegönderim yönteminin kullanılmadığı, düğüm yoğunluğundan etkilenmeyen enerji etkin bir sualtı yönlendirme eksikliği farkedilmektedir. Bu çalışmada, yukarıdaki hedeflere uygun olarak yeni bir sualtı yönlendirme protokolü geliştirilmiştir.

4. ENERJİ ETKİN YÖNLENDİRME PROTOKOLÜ

Bu bölümde, Suallı Kablosuz Algılayıcı Ağları için geliştirilmiş bir protokol olan EEYP tanıtılacaktır. Mevcut protokollerde bir eksiklik olarak görülen, düğümlerin iletişim kurma yeteneklerinin uzun süre korunmasının sağlanması için, veri gönderiminde düğümlerin mevcut enerji düzeylerinin ve birbirlerine olan uzaklıklarının karar mekanizmasına alınmasına dayalı EEYP'nin çalışma mekanizması detaylandırılmıştır.

4.1. Enerji ve Uzaklık

EEYP ile hedeflenen, ağ genelinde enerjinin dengeli tüketimini sağlayarak ağın bağlılığının uzun süre korunmasıdır. EEYP yalnızca tek rota üzerinden veri göndermemekte, dolayısıyla verinin hedefe ulaşmasında da alternatif yollar kullanarak hedefe iletilen başarılı paket sayısında da iyi sonuçlar vermektedir.

EEYP'de enerjinin dengeli tüketimi hedefini gerçekleştirmek için her bir düğüm komşuluk listesindeki düğümlere, onların mevcut enerjisini ve kendinden uzaklığını dikkate alacak şekilde birer ağırlık değeri atar ve bu değer ile yönlendirmede hangi komşunun seçileceğini belirler.

Yaptığımız araştırmalara göre suallıta kullanılan algılayıcı düğümlerinde güç kontrolü özelliği henüz uygulanmamaktadır. Güç kontrolü kavramı, bir düğümün veri gönderirken harcadığı enerjiyi gönderim mesafesine göre artırıp azaltabileceği durumu anlatmaktadır. Güç kontrolü özelliği suallı düğümlerine eklenmesi düşünülen bir özellik olmasına rağmen mevcut gerçek sistemlerde kullanımına rastlanmamaktadır. Bu da, bir düğümün iletim menzili içinde bulunan düğümlerden her birine aynı enerjiyi harcayarak paket göndermesi anlamına gelmektedir. Oysa iletim gücünün ayarlanabildiği sistemlerde, veri göndermek için harcanan enerji miktarı ile verinin göndericiye uzaklığı arasında bir ilişki vardır. Yakın mesafeye veri göndermek daha az enerji tüketimine malolur. Bu çalışmada suallı algılayıcılarının güç kontrolü özelliklerinin olmadığı kabul edildiğinden veriyi mümkün olduğunca uzağa göndermek hem daha az düğüm kullanılması ile toplam enerji tüketiminin azalmasını hem de iletim gecikmelerinin azalmasını sağlayacağı için uzaklık kavramının önemi ortaya çıkmaktadır. Bu sebepten düğümlerin ağırlık değerleri atanırken, uzaklık kavramı da kullanılmıştır.

4.2. EEYP Algoritması

EEYP, oldukça sade, kolay anlaşılır ve kolay uygulanır bir protokoldür. EEYP'nin sözde kodu Şekil 1'de gösterilmektedir. Sözde kodda yer alan değişken ve altyordamları kısaca açıklamak gerekirse; NT_v , v düğümünün komşuluk tablosunu temsil etmektedir ve düğüm açıldığı zaman içi boştur. Düğümler, belli bir süre boyunca iletişim kuramadıkları komşularını komşuluk listelerinden çıkarmak durumundadırlar. Bu işlem ağın bağlılığını korumak ve iletişimin sürekliliğini sağlamak için gereklidir. Haber alınamayan komşu, enerjisinin tükenmesi veya başka bir sebeple görevini gerçekleştiremiyor demektir ve yönlendirme yaparken dikkate alınmaması gerekir.

İşlevini yitirdiği halde komşuluk listesinde bulunan bir düğüm iletim yeteneği olmadığından paket kayıplarına sebep olacaktır. Uzun süre haber alınamayan komşuları tespit etmek için algorithmada bir zamanlayıcı kullanılmaktadır.

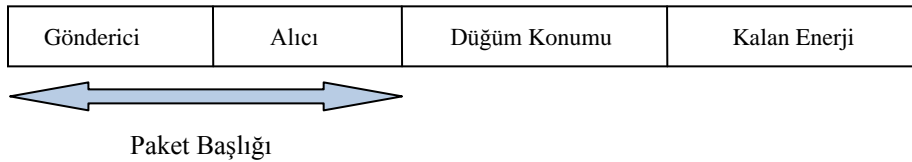
```

1: İkleme
2:  $\mathcal{NT}_v \leftarrow \emptyset$ 
3: komşu silme periyodik zamanlayıcısını  $P$  periyodu ile başlat
4:  $\langle HELLO, e_u, loc_u, isSink_u \rangle$  alındığında
5: eğer  $u \notin \mathcal{NT}_v$  ise
6:  $\mathcal{NT}_v \leftarrow \mathcal{NT}_v \cup \{u\}$ 
7:  $d_v^u \leftarrow uzaklıkHesapla(loc_u)$ 
8:  $s_v^u \leftarrow isSink_u$ 
9: soneğer
10:  $w_v^u \leftarrow ağırlıkHesapla(e_u, d_v^u)$ 
11:  $t_v^u \leftarrow time_v$ 
12: Herhangi bir  $u \in \mathcal{NT}_v$  den  $\langle DATA, loc_s, t_s \rangle$  alındığında
13: eğer  $isSink \in \mathcal{NT}_v$  ise
14:  $forwarder \leftarrow isSink$ 
15: değilse
16:  $forwarder \leftarrow \max_{f \in \mathcal{NT}_v} \{w_v^f\}$ 
17: soneğer
18:  $mesajGönder(forwarder)$ 
19:
20: Zamanlayıcı zaman aşımında
21:  $\forall k \in \{u \in \mathcal{N}_v | t_u < t - P\} : \mathcal{NT}_v \leftarrow \mathcal{NT}_v - \{u\}$ 

```

Şekil 1. EEYP'nin, v düğümü için sözde kodu

Yeni bir komşu eklerken veya komşuluk bilgilerini güncellerken v düğümü komşu bilgilerinin içine, sözde kodun 11. satırında görüleceği gibi zaman bilgisi ekleyerek, komşusu ile en son ne zaman iletişim kurduğunu kaydeder. Komşu silme zamanlayıcısı zamanaşımına uğradığında bu zaman bilgilerini kullanarak komşunun silinip silinmeyeceğine karar verilir ve bu işlem adımı sözde kodun 21. satırında gösterilmiştir. Protokolde, HELLO ve DATA olmak üzere iki temel paket tipi kullanılmaktadır. HELLO paketleri düğümlerin kendi bilgilerini periyodik olarak ağa yaydıkları paketlerdir. Bu paketlerle birlikte düğümler, kimlik numaraları, konum bilgileri ve kalan enerji miktarlarını komşularına iletmiş olurlar. HELLO Paket biçemi Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. HELLO paket biçemi

Bir düğümün HELLO Paketi aldığı anda gerçekleştirdiği işlemler sözde kodun 4-11. satırları arasında gösterilmiştir. HELLO paketi alan bir düğüm, eğer gönderici düğümü daha önce komşuluk listesine eklediyse sadece bilgilerini günceller aksi durumda yeni bir komşu olarak komşuluk listesine ekler. Yeni komşu ekleme işleminde mesajın içinde gelen koordinat bilgisi kullanılarak sözde kodun 7. satırında görüldüğü gibi HELLO gönderen düğüme olan uzaklık Eşitlik 1'deki Öklid uzaklığı eşitliği kullanılarak hesaplanır:

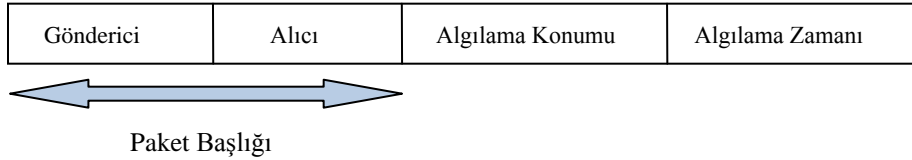
$P = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ ve $Q = (q_1, q_2, \dots, q_n)$ noktaları arasındaki Öklid uzaklığı:

$$d_P^Q = \sqrt{(p_1 - q_1)^2 + (p_2 - q_2)^2 + \dots + (p_n - q_n)^2} \quad (1)$$

Düğümler ağa HELLO paketi yayarken, veri toplayıcısı olup olmadıklarını belirten isSink sahasını doldururlar (sözde kod satır 8). Böylece HELLO'yu alan düğüm, bir veri toplayıcısının komşusu olup olmadığı bilgisine de sahip olmaktadır.

Komşuluk listesine ilk kez ekleme veya komşu bilgilerini güncelleme adımlarında komşuların ağırlık değerleri hesaplanır. Ağırlık hesaplama işlemi sözde kodun 10. satırında *ağırlıkHesapla()* altyordamı ile gerçekleştirilir. Bu altyordamda şu işlemler yapılır:

- HELLO mesajı gönderen düğüm o anki mevcut enerji değerine göre üç sınıftan birine dahil edilir. Bu sınıf değerleri, enerji düzeyi en yüksek olan sınıfa karşılık olarak 3, orta enerji düzeyindeki düğümlere 2, en düşük enerji sınıfındakilere de 1 değeri atanacak şekilde belirlenir. Her bir sınıf bir değer aralığına denk gelmektedir.
- Bir düğüm diğer düğümleri komşuluk listesine eklerken, kendine olan uzaklığına göre komşu düğümü üç sınıftan birine dahil eder. Kendinden en uzakta bulunan düğümler 3, daha yakın düğümler 2, en yakınındaki düğümler de 1 değerini alırlar. Bu uzaklık sınıfları, belirli değer aralıklarına karşılık gelmektedir.
- Bu iki sınıf değeri birleştirilir ve böylece her düğüm için bir ağırlık değeri belirlenmiş olur. Paket gönderecek düğüm için, bir sonraki iletilen düğümün seçiminde komşuları içinde en uygun olan en yüksek ağırlığa sahip olanıdır. Benzetim başladığında tüm düğümler eşit enerji düzeyine sahipken, en uygun iletilen düğüm, veri toplayıcısı yönünde, göndericiye en uzak olan düğüm olacaktır. Bu en uygun düğümün enerji düzeyi belli bir enerji düzeyinin altına indiğinde, yani düğüm enerji düzeyi bakımından 2. sınıfa dahil olduğunda düğüm seçimi değişim gösterecektir.



Şekil 3. DATA paket biçemi

EEYP'nin kullandığı ikinci paket türü olan DATA, bir düğüm herhangi bir olağandışı veri algıladığında üretilir ve veri toplayıcısına kadar iletilmesi gereklidir. DATA paketi, üretildiği zaman ve konum bilgisini içermektedir. Bu sahalarda sözde kodda locs-kaynak düğümün konumu ve ts-kaynak düğümde anormal verinin algılandığı zaman sahalalarıyla gösterilmektedir. Bu paketi veri toplayıcısına kadar iletmekte yükümlü düğümler, paket üzerindeki bu sahalarda değişiklik yapmadan iletimi gerçekleştirirler. Böylece (sistemde düğümlerin saatlerinin eşzamanlanmış olduğu varsayılarak) veri toplayıcısına anormal durumun nerede ve ne zaman tespit edildiği bilgisi ulaşmış olur.

DATA paketinin biçemi Şekil 3'de gösterilmiştir. Bir DATA paketi alan v düğümü, paketi göndereceği düğümü sözde kodun 13-16. satırları arasında seçmektedir. Eğer v düğümünün komşularından biri veri toplayıcısı ise mesajı doğrudan ona gönderir, aksi durumda en yüksek ağırlık değerine sahip komşu paketin gönderileceği bir sonraki düğüm olarak seçilir ve DATA paketi seçilen düğüme iletilmek üzere ağa yayılır.

5. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada geliştirilen protokolün başarımlarını değerlendirmelerini yapmak üzere Ns-2³ benzetim aracı kullanılmıştır. Ns-2, bilgisayar ağlarının benzetimini yapmak üzere tasarlanmış, açık kaynak kodlu bir araçtır. Sualtı ortamının benzetimini yapabilmek için Ns-2'nin yanısıra *Miracle* ve *underwatermiracle*⁴ eklentileri kullanılmıştır (Baldo vd., 2007).

Deneyler 3000 mx3000 mx7000 m'lik üç boyutlu Sualtı Kablosuz Algılayıcı Ağı'nda gerçekleştirilmiştir. Sırasıyla 25, 30 ve 40 düğüm deney alanına rastgele yerleştirilmiştir ve su yüzeyinde tek bir veri toplayıcısı bulunmaktadır. Düğümlerin başlangıç enerjileri 300J olarak atanmıştır. Paketler en kötü durum senaryosuna uygun olarak, deniz dibindeki düğümlerden ağa yayılmaktadır.

EEYP'nin genel başarımlarını kıyaslamak üzere, yine bir sualtı yönlendirme protokolü olan ve Bölüm 3'te kısaca sözü edilen DTY kullanılmıştır. Karşılaştırma için bu protokolün seçilmesinin nedeni, sualtında en uygulanabilir, ayrıntıları iyi açıklanmış, diğer protokollere nazaran kolay anlaşılır ve uygulanır bir protokol olması ve çoğu protokolün başarımlarını kıyasladığı VTİP ile hali hazırda karşılaştırılmış olmasıdır.

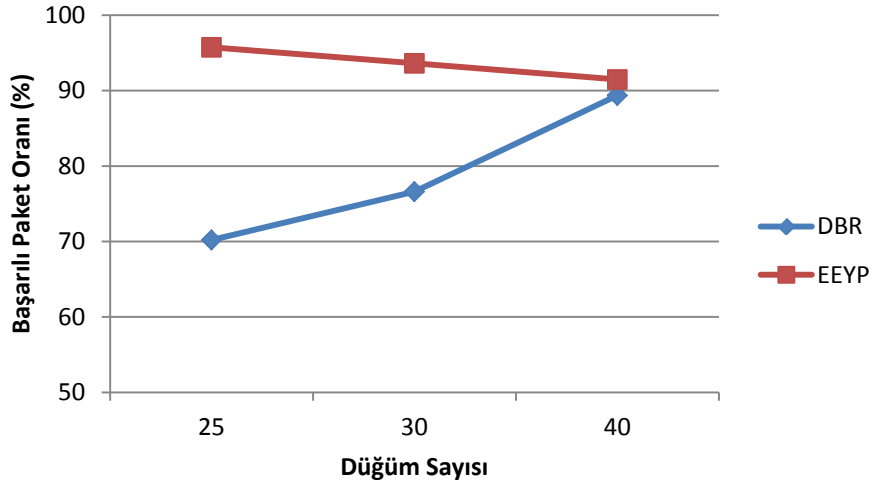
Deney sonuçlarını değerlendirmeden önce DTY hakkında daha fazla ayrıntı vermek ve bazı eksik yönlerini belirtmek yararlı olacaktır. DTY, verinin kaynak düğümden su yüzeyinde bulunan veri toplayıcılarına kadar iletilmesini hedefleyen açgözlü bir protokoldür. Veri paketlerinin iletimi için gerekli olan derinlik bilgisi, bir derinlik algılayıcısı ile kolayca elde edilebilir. Elindeki veriyi iletmek isteyen düğüm kendi derinlik bilgisini pakete ekleyerek tümegönderim yöntemiyle paketi ağa gönderir. Paketi alan düğümler, paketteki derinlik bilgisini kendi derinlik değerleri ile kıyaslayarak paketi iletip iletmeme kararı alır. Daha derinden gelen paketler iletilir. Bu şekilde paketler su üstünde bulunan veri toplayıcılarına iletilirler. Tümegönderim yöntemi kullanıldığı için aynı paketin birden fazla kopyası veri toplayıcılarına iletebilir. Bu durum, yönlendirme için aday olan düğümlerin tümünün paketi iletilmesi ile gerçekleşir. Ancak çok sayıda çarpışma ve yüksek enerji tüketimi oluşmaması için aday düğüm sayısı kısıtlanmalıdır. DTY her düğümden iki tane liste yapısı kullanarak bu sorunlara çözüm getirmeye çalışmaktadır ancak yine de tümegönderim kaynaklı sorunlar devam etmektedir. Örneğin düğüm sayısının artışı ile yönlendirmeye aday düğümlerin sayısı da artacaktır. Bu durum, daha çok paketin ağa yayılması ve çarpışmaların artması anlamına geldiği gibi toplam enerji tüketiminin de artışına sebep olacaktır. DTY'nin göze çarpan bir başka eksikliği ise yönlendirmenin derinlik bilgisine dayalı olması sebebiyle yüzeye yakın düğümlerin daha yoğun bir şekilde yönlendirme sürecine katılmaları ve enerjilerinin diğerlerine oranla daha çabuk tükenmesidir. Son olarak DTY'nin dengeli enerji dağılımını sağlayabilmek için, farklı mekanizmalar kullanmaya ihtiyacı vardır.

Deney sonucu olarak başarımlar ölçütlerinin, ağdaki düğüm sayısına göre değişimleri Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6'da gösterilmiştir. Şekil 4'te her iki protokol için başarılı paket oranları incelendiğinde, EEYP'nin düğümlerin çok seyrek konuşlandırıldığı ağlarda bile % 90'ların üzerinde bir başarımla paketleri hedefe iletebildiği görülmektedir. Ağdaki düğüm sayısı arttığında EEYP'nin başarılı paket oranında az miktardaki azalma, düğüm sayısının artması ile birlikte, paket çarpışmalarından oluşan kayıplarla açıklanabilir. DTY'de ise düğüm sayısının artışı paket başarımlarını çok belirgin şekilde etkilemiştir. Daha önce de belirtildiği gibi, düğüm sayısı arttıkça yönlendirmeye aday düğüm sayısı ve tekrarlı paket sayısı artacak ve paketlerin veri toplayıcısına iletilme şansları da yükselecektir. Düşük düğüm yoğunluğunda DTY'nin sahip olduğu düşük paket iletim başarımlarını, seyrek konuşlanmadan

³ http://nsmam.isi.edu/nsmam/index.php/Main_Page

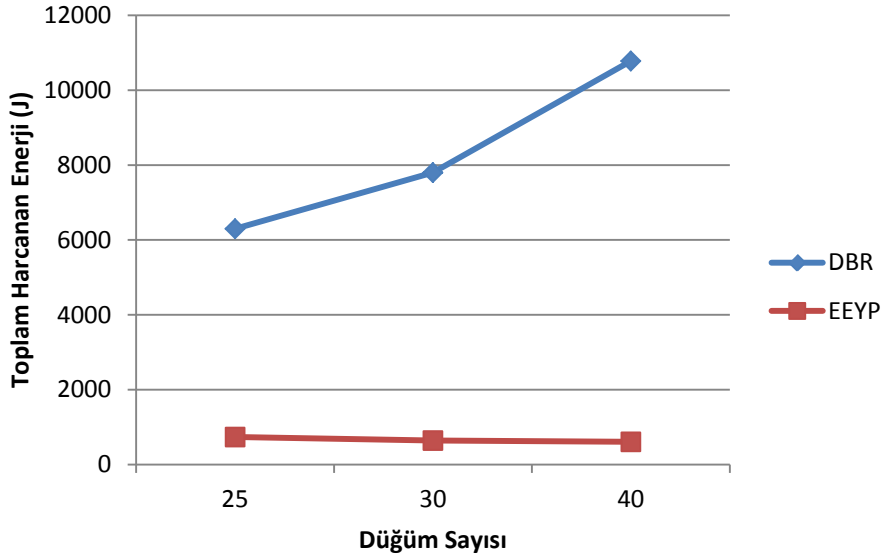
⁴ Università degli Studi di Padova, Underwater Communications, <http://www.dei.unipadova.it/wdyn/?IDsezione=5216>

dolayı yönlendirmeye aday olacak düğüm bulunamaması ve düğümlerin enerjilerinin çabuk tükenmesi sebebiyle veri iletiminin belli bir zamandan sonra durması ile açıklanabilir.



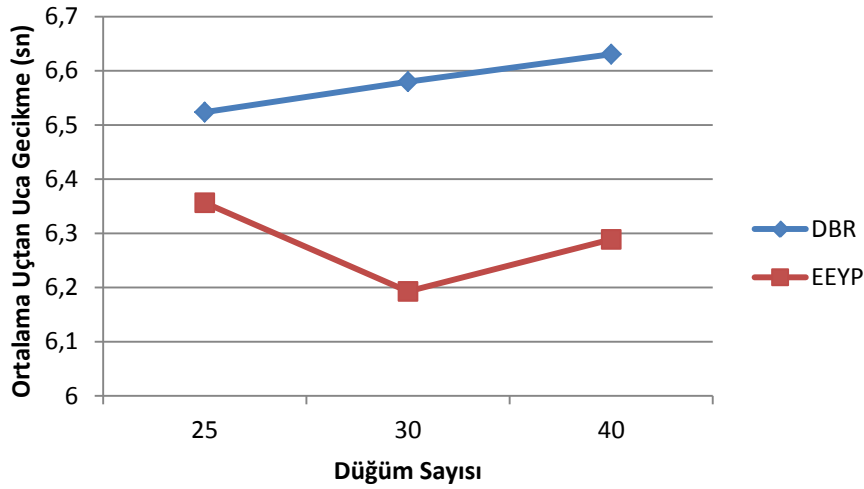
Şekil 4. Başarılı paket oranı

Şekil 5'te protokollerin toplam enerji tüketiminin düğüm sayısı ile değişimi gösterilmiştir. Düğüm sayısındaki artışa rağmen, EEYP'de toplam enerji tüketimi neredeyse sabit kalmıştır. Ancak yine tümegönderim yönteminin bir eksiği olarak düğüm sayısındaki artış daha çok mesajlaşma anlamına gelmektedir. Böylece DTY'deki enerji tüketimi dikkat çekici ölçüde yüksektir.



Şekil 5. Toplam enerji tüketimi

Son olarak Şekil 6'da ortalama uçtan-uca gecikme değerleri gösterilmiştir. Her iki protokolün de neredeyse aynı sürede paketleri ilettiği görülmektedir. Ortalama uçtan-uca gecikme değerlerinde düğüm yoğunluğu iki protokol için de çok önemli bir farklılık oluşturmamıştır.



Şekil 6. Ortalama uçtan uca gecikme

6. SONUÇ

Bu çalışmada, Sualtı Kablosuz Algılayıcı Ağları için, kısıtlı enerji kaynaklarını en uzun süre, etkin ve dengeli kullanabilmek hedefi ile EEYP adlı bir yönlendirme protokolu geliştirilmiştir.

Bölüm 5'te anlatılan deney sonuçları değerlendirildiğinde, alıcı tabanlı tümegönderim yönteminin sualtı için kullanımın enerji tüketimi açısından iyi bir yöntem olmadığı ortaya çıkmaktadır. Tek yöne yayım yapan EEYP protokolu, düğüm sayısındaki değişimlerden etkilenmeyen başarımlar sonuçları ile hem genişletilebilir olduğunu hem de düşük enerji tüketimi ile sualtı için kullanılabilir olduğunu göstermiştir.

Gelecek çalışma olarak, EEYP'nin başka sualtı protokolleri ile de karşılaştırılması, HELLO paketleri yerine komşuların enerji düzeylerinin tahminleme yöntemleri ile belirlenmeye çalışılması ve son dönemde geliştirilmiş, sualtının benzetimini daha da gerçekçi olarak yapabilen benzetim araçları araştırılarak, protokol başarımlarının yeniden değerlendirilmesi düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Ayaz M., Abdullah A. (2009): "Hop-by-hop Dynamic Addressing Based (h2-dab) Routing Protocol for Underwater Wireless Sensor Networks", Proceedings of the 2009 International Conference on Information and Multimedia Technology, Washington, DC, USA, IEEE Computer Society, s.436-441.
- Ayaz M., Baig I., Abdullah A., Faye I. (2011): "A Survey on Routing Techniques in Underwater Wireless Sensor Networks", Journal of Network and Computer Applications, s.34-39.
- Baldo N., Maguolo F., Miozzo M., Rossi M., Zorzi M. (2007): "ns2-Miracle: A Modular Framework for Multi-Technology and Cross-Layer Support in Network Simulator 2", Proceedings of the 2nd International Conference on Performance Evaluation Methodologies and Tools, ICST, Brüksel, Belçika, ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering), s.1-8.
- Bayrakdar Y., Meratnia N., Kantarcı A. (2011): "A Comparative View of Routing Protocols for Underwater Wireless Sensor Networks", OCEANS, 2011 IEEE, İspanya, s.1-5.

- Çayırıcı E., Tezcan H., Doğan Y., Coşkun V. (2006): “Wireless Sensor Networks for Underwater Surveillance Systems”, Ad Hoc Networks, Sayı 4, s.431.
- Chen Y. S., Juang T. Y., Lin Y. W., Tsai I. C. (2010): “A Low Propagation Delay Multi-Path Routing Protocol for Underwater Sensor Networks”, Journal of Internet Technology, Sayı 11, s.153-165.
- Domingo M. C., Prior R. (2007): “Design and Analysis of a GPS-Free Routing Protocol for Underwater Wireless Sensor Networks in Deep Water”, Proceedings of the 2007 International Conference on Sensor Technologies and Applications, Washington, DC, Amerika, IEEE Computer Society, s.215-220.
- Gopi S., Kannan K., Chander D., Desai U. B., Merchant S. N. (2008): “Pulrp: Path Unaware Layered Routing Protocol for Underwater Sensor Networks”, ICC, s.3141-3145.
- Guo Z., Colombi G., Wang B., Hong Cui J., Maggiorini D., Rossi G. P. (2009): “Adaptive Routing in Underwater Delay/Disruption Tolerant Sensor Networks”.
- Hai Yan, Z. J. S., Cui, J. H. (2008): “DBR: Depth-Based Routing for Underwater Sensor Networks”, Sayı 4982/2009, Lecture Notes in Computer Science, Springer, Berlin/Heidelberg, s.72-86.
- Heidemann J., Ye W., Wills J., Syed A., Li Y. (2006): “Research Challenges and Applications for Underwater Sensor Networking”, Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference, s.228-235.
- Jornet J. M., Stojanovic M., Zorzi M. (2008): “Focused Beam Routing Protocol for Underwater Acoustic Networks”, Proceedings of the Third ACM international Workshop on Underwater Networks, New York, Amerika, ACM, s.75-82.
- Lanbo L., Shengli Z., Jun-Hong C. (2008): “Prospects and Problems of Wireless Communication for Underwater Sensor Networks”, Wireless Communications and Mobile Computing, Sayı 8, No. 8, s.977.
- Lee U., Wang P., Noh Y., Vieira L., Gerla M., Cui J. H. (2010): “Pressure Routing for Underwater Sensor Networks”, INFOCOM, 2010 Proceedings IEEE, s.1.-9
- Nicolaou N., See A., Xie P., Cui J. H., Maggiorini D. (2007): “Improving the Robustness of Location-Based Routing for Underwater Sensor Networks”, OCEANS 2007, s.1-6.
- Partan J., Kurose J., Levine B. N. (2007): “A Survey of Practical Issues in Underwater Networks”, Proceedings of the 1st ACM International Workshop on Underwater Networks, ACM, New York, Amerika, s.17-24.
- Proakis J., Sozer E., Rice J., Stojanovic M. (2001): “Shallow Water Acoustic Networks”, IEEE Communications Magazine, Sayı 39, s.114.
- Sözer E., Stojanovic M., Proakis J. (2000): “Underwater Acoustic Networks”, Oceanic Engineering, IEEE Journal, Sayı 25, s.72.
- Xie P., Hong Cui J., Lao L. (2005): “Vbf: Vector-Based Forwarding Protocol for Underwater Sensor Networks”, Proc. of IFIP Networking, s.1216-1221.