

Telsiz Duyurga Ağlarında Sinyal Gücü Belirteci ile 2-Boyutlu İç Ortam Konum Tahmini Üzerine Deneysel Bir Çalışma

İ. Hacıoğlu

O. Aslan

Ş. Baydere

{ihacioglu, oaslan, sbaydere}@cse.yeditepe.edu.tr

Yeditepe Üniversitesi
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

Özetçe

Bu çalışmada telsiz duyurga ağlarında sinyal gücü belirteci ile konum tahmini başarımları incelenmiş ve Crossbow MicaII duyurgaları ile iç ortam deneylerinden elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Öncelikle, çeşitli uzaklıklarda sinyal gücü değerleri toplanmış ve kanal modeli belirlenmiştir. İkinci aşamada anten yönünün mesafe kestirimi başarısına etkisini belirlemek amacıyla çeşitli pozisyonlarda sinyal gücü ölçümleri alınmış ve parıldak (beacon) duyurgalara mesafe kestirimleri yapılmıştır. Son olarak, belirlenen en iyi anten pozisyonu için 2-boyutlu üçgenleme (trilateration) yöntemi ile kör (blindfolded) duyurga pozisyonu tahmin edilmiştir. İki farklı senaryo üzerinde yapılan ölçüm sonuçları 90% üzerinde başarımları elde edildiğini göstermektedir.

Abstract

In this paper, we investigate the accuracy of the received signal strength indicator (RSS) based 2D localization in indoor environments. A large volume of measurements are obtained from our MicaII testbed and the analysis results are presented. The tests are carried out in three steps; First, RSS measurements are obtained for various distances and a proper channel model is determined. Second, distances to beacon nodes are estimated for various antenna orientations and the optimum antenna position for the experimental setup is determined. In the last step, best antenna orientation is used to estimate the position of the blindfolded node by Trilateration method. Our results in two different scenarios

have shown that we attain more than 90% accuracy at the optimum antenna position.

1. Giriş

Son yıllarda elektronik devre tasarımında yaşanan gelişmeler düşük güçlü, çok küçük hacimli duyurgaların ortaya çıkmasını sağladı. Bu cihazlar radyo, mikroişlemci, hafıza birimi ve ışık, sıcaklık gibi duyurgalardan oluşur ve bir araya geldiklerinde birbirleriyle telsiz haberleşebildikleri telsiz duyurga ağlarını oluştururlar.

Konulandırma telsiz duyurga ağlarının hayata geçirilmesinde karşılaşılan en önemli problemlerden biridir. Uygulama alanlarının çoğunda iletilen bilginin kaynağı çok önemlidir. Örneğin orman yangınlarının erken tesbitinin yapılabilmesi için telsiz duyurga ağlarını kullanıyorsak bir yangın anında yangının çıktığı yerin neresi olduğunu bildirmek çok önemlidir. Günümüzde konumlandırma için yaygın olarak kullanılan bazı sistemler vardır. Bunlardan biri de GPS (Global Positioning System–Küresel Konumlandırma Sistemi). Fakat her bir duyurga cihazına GPS alıcısı koymak telsiz duyurga ağlarının tasarım prensiplerine (küçük hacim, düşük maliyet, düşük enerji harcama v. b.) aykırıdır.

Telsiz haberleşmede konumlandırma sistemleri genel olarak mesafe-bağımlı ve mesafe-bağımsız olmak üzere iki gruba ayrılır. Birinci gruptaki yöntemlerde iletilen mesajın içeriğinden faydalanılırken ikinci grupta sinyalin varış süresi, varış gücü ve varış açısı gibi parametreleri

kullanılır. Burada amaç alıcı ile verici arasındaki mesafenin sözkonusu sinyal parametrelerini kullanılarak hesaplanmasıdır. Bir cihazın konumunu belirleyebilmek için konumu bilinen en az üç cihaz ile arasındaki mesafenin hesaplanması gerekir.

Mesafe bağımsız sistemlerle konumlandırma yapmak için duyurğa cihazlarına donanım eklemeye gerek yoktur ama doğrulukları mesafe-bağımlı sistemlere göre daha düşüktür[2]. Öte yandan mesafe-bağımlı yöntemlerin bazılarında ilave donanım ihtiyacı vardır. Örneğin sinyalin varış açısına göre konumlandırma yapmak için anten dizilerine ihtiyacı vardır. Sinyalin varış süresi (TOA) ile varış gücü (RSS) yöntemlerini kıyaslamak gerekirse her iki yöntemin birbirine göre artı ve eksilerinin olduğu görülür. Örneğin TOA belirteci RSS belirtecine göre daha doğru sonuç verir ama ilave donanım gerektirir. Günümüzdeki mevcut duyurğa cihazlarının çoğunluğunda (Crossbow MicaII, Tmote Sky, v.b.) ise RSS parametresini ölçmek mümkündür. Ancak RSS tabanlı konumlandırma yöntemleri ortam koşullarından TOA tabanlı yöntemlere göre daha fazla etkilenmektedir.

Genel konumlandırma senaryolarında ortamda toplam N adet duyurğa cihazı olduğu ve bunlardan P adetsinin konumunun bilindiği, ($N-P$) adetsinin de konumunun bilinmediği varsayılır. Hedef bu cihazların konumlarını kestirmektir. Pozisyonunu bilen duyurğalar “parıldak”, pozisyonunu bilmeyen duyurğa ise “kör” olarak adlandırılır[1].

Bu çalışmada 2-boyutlu RSS-tabanlı duyurğa konumlandırması ve anten yönünün kestirim sonuçları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Öncelikle RSS ölçümlerinin dağılımı histogramlar yoluyla incelenmiş ve mesafe ile sinyal gücü arasındaki ilişkiyi veren en uygun kanal modeli seçilmiştir.

Makalenin organizasyonu şu şekildedir: Bölüm 2’de literatürdeki RSS tabanlı konumlandırma çalışmaları verilmiştir. Bölüm 3’de problem tanımı ve ölçümler üzerine uygulanan konumlandırma yönteminin verdiği sonuçlar açıklanmıştır. Bölüm 4 sonuçlar ile ilgili

yorumları ve gelecekte yapılacak çalışmalar ile ilgili bilgileri içermektedir.

2. Mevcut Çalışmalar

Son yıllarda telsiz duyurğa ağlarında en çok ilgi çeken problemleren biri konumlandırmadır. Mesafe bağımlı ve mesafe bağımsız çok sayıda çalışma mevcuttur. [1]’ de, ağ içerisindeki duyurğalardan bir kısmının konumlarını bildiği varsayılmaktadır ve diğer duyurğaların konumları RSS ve TOA ölçümlerinden elde edilmektedir. Bu çalışmada TOA ve RSS ölçümlerinin sırasıyla Gauss ve log-normal dağılımı oldukları gösterilmiş hem iç hem de dış ortamlar için konumlandırma yapılmıştır. Elde edilen kestirim sonuçlarının Cramer-Rao Sınırına uyduğu gösterilmiş ve TOA ile elde edilen sonuçların RSS’e göre daha iyi olduğu gösterilmiştir.

Telsiz duyurğa ağları için, sıralanmış RSS nicemleme tabanlı konumlandırma algoritması [2]’ de önerilmiştir. Yapılan çalışmada uzaklık mesafesinin bilinmediği durumlarda söz konusu yöntemle kestirim hatasının düşürülebileceği ve algoritmanın dağıtılmış olarak çalıştırılabileceği gösterilmiştir. Benzetimler yardımıyla geleneksel RSS-tabanlı algoritmalara göre daha doğru sonuçlar elde edildiği iddia edilmiştir.

[3]’ te mesafe kestiriminin hata modelini veren RSS-tabanlı konumlandırma yöntemi tanımlanmış ve eldeki veri sayısı ile kestirim doğruluğu arasındaki ilişki sunulmuştur. Ayrıca daha az enerji harcayarak yeterli doğrulukta kestirim sonuçları elde edebilmeyi sağlayan etkin veri toplama yöntemi tanımlanmıştır. Benzetimler yardımıyla önerilen yöntemin doğruluğu sınanmıştır.

Crossbow MicaII duyurğa cihazlarının RSS-tabanlı konumlandırma algoritmalarında sağladığı doğruluk [4]’ te incelenmiştir.

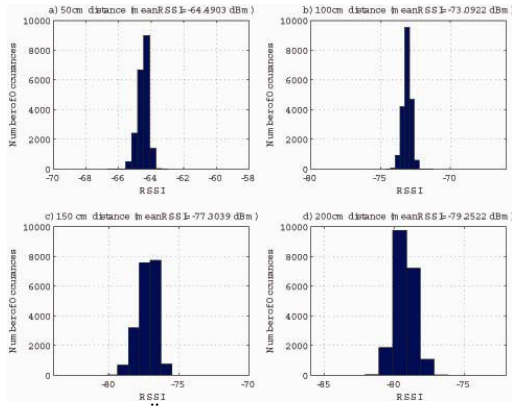
3. Deney Ortamı

Bu bölümde telsiz duyurğa ağlarında RSS-tabanlı konum kestirimi laboratuvarında kurulan test ortamında toplanan ölçümler yoluyla farklı yönlerden incelenmiştir.

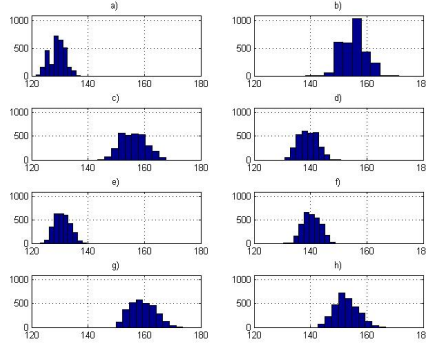
Testlerin ilk bölümünde farklı uzaklıklarda (herbir uzaklık değerinde 10000 adet) RSS ölçümü yapılmış ve RSS' in gösterdiği istatistiksel dağılım histogramlar yoluyla tanımlanmıştır. İkinci bölümde iki duyurga cihazına ait antenlerin birbirlerine bakış açılarının değiştiği durumda mesafe kestiriminin nasıl değiştiği incelenmiş ve en doğru mesafeyi veren anten konumu tesbit edilmiştir. Bu testlerde alıcı ile verici arasındaki mesafe 150 cm' dir ve sabit tutulmuştur. Son bölümde de toplam beş duyurga cihazından oluşan (üçünün konumu biliniyor, bir adetsinin konumu kestirilecek ve bir cihaz toplanan RSS ölçümlerinin merkez bilgisayara iletilmesini sağlıyor) deney ortamı üzerinde 2-boyutlu RSS-tabanlı üçgenleme yöntemi kullanılarak konumlandırma yapılmıştır. Deneylerde 900 MHz frekansında çalışan ve bünyesinde Chipcon CC1000 radyosu bulunduran Crossbow MicaII duyurgaları kullanılmıştır.

3.1 Farklı Mesafelerde RSS Ölçümleri

Bu bölümde farklı uzaklık değerleri için 10000'er RSS ölçümü yapılmış ve bu ölçümlerin histogramları incelenmiştir. Şekil-1' de görüldüğü gibi ve [1]' de de söylendiği gibi RSS ölçümleri Gauss dağılımına sahiptir dolayısıyla mesafe ile sinyal gücü arasındaki ilişkiyi verecek olan kanal modeli olarak log-normal kullanılabilir.



Şekil 1: RSS Ölçüm Histogramları (50, 100, 150 ve 200 cm)



Şekil 2: Farklı anten yönleri için Ölçüm Histogramları (a:0° ,b:45, c:90, d:135, e:180, f:225, g:270, h:315)

Duyurga j ' nin duyurga i ' ye sinyal gönderdiğini varsayalım. Log-normal kanal modelinde alınan güç ile alıcı – verici mesafesi arasındaki ilişki şöyle verilir:

$$P(i, j) = \bar{P}_0 - 10n_p \log(d(i, j)/d_0) \quad (1)$$

Burada $P(i, j)$ duyurga i ' nin aldığı güç, \bar{P}_0 referans olarak kabul edilen 1 m uzaklığında ölçülen ortalama güç, d_0 referans mesafesi (1 metre), ve $d(i, j)$ haberleşen iki duyurga arasındaki mesafeyi temsil etmektedir. n_p , yayılım üsteli olarak adlandırılır, ortamdan ortama değişir ve genelde ölçümler yoluyla kaç olduğu belirlenir. Bu çalışmada kullanılan iç ortam için yayılım üsteli 2.3 olarak seçilmiştir [1].

3.2 Anten Yönünün Mesafe Tahmini Başarımına Etkisi

Telsiz haberleşmede alıcı ile verici antenlerinin birbirine göre konumları haberleşme kalitesini etkilemektedir. Aynı etki telsiz duyurga ağlarında RSS-tabanlı konumlandırmada da karşımıza çıkar. Bu bölümde alıcı ile vericinin antenlerinin birbirlerine göre konumlarını değiştirerek her konumda alıcı-verici mesafesi 3000 defa kestirilmiş ve en doğru mesafeyi veren anten oryantasyonu tesbit edilmeye çalışılmıştır. Anten

bakış açıları 0° ile 360° arasında 45° lik aralıklarla değiştirilmiştir. Gerçek uzaklık 150 cm' dir. Şekil-2'de herbir anten açısı için elde edilen mesafe kestirimlerinin histogramları verilmiştir ve anten açısının konumlandırma üzerindeki etkisi çok açıktır. Tablo-1' de herbir anten açısından elde edilen mesafe kestirimlerinin ortalama mutlak hatası verilmiştir. Sekiz ayrı anten konumu içerisinde antenlerin birbirine 315° lik açı ile baktıkları konum mesafenin en doğru kestirildiği konumdur. En küçük hata h' de verilen senaryoda elde edilmiştir.

Tablo-1: Ortalama Mutlak Kestirim Hatası (MKH) Tablosu

Test	MKH (cm)
a (0°)	20.9966
b (45°)	5.3624
c (90°)	6.0516
d (135°)	10.5074
e (180°)	19.2992
f (225°)	9.4596
g (270°)	9.6405
h (315°)	3.6865

3.3 RSS Ölçümlerinden Üçgenleme Yöntemi ile Konum Tahmini

Teorik olarak 2-boyutlu konum kestiriminde konumu bilinmeyen noktanın en az üç adet konumu bilinen nokta ile haberleşebilmesi gerekmektedir. Bu durumda üçgenleme yöntemi ile konumu tesbit edilir.

$u(x,y)$ konumu bilinmeyen noktayı temsil etsin. Bu nokta 2-boyutlu düzlemde üç çemberin kesişim noktası olarak kabul edilir ve bu üç çemberin merkezleri konumu bilinen üç noktadır ve $b_i(x,y)$ ile gösterilir ($i=1,2,3$). Çemberlerin yarıçapı konumu bilinen noktalar ile $u(x,y)$ arasındaki uzaklıklardır. Çember denklemi aşağıdaki gibi verilir.

$$(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 = r_i^2 \quad (2)$$

Burada r_i i . çemberin yarıçapıdır. Doğrusal olmayan eşitliklerden kurtulmak için eşitlik setini doğrusallaştırma işlemi gerçekleştirilebilir. Üçgenleme uygulamasının doğrusal eşitlik seti aşağıdaki gibi verilir

$$Ax = b \quad (3)$$

Burada

$$A = \begin{pmatrix} x_2 - x_1 & y_2 - y_1 \\ x_3 - x_1 & y_3 - y_1 \end{pmatrix}$$

$$x = \begin{pmatrix} x - x_1 \\ x - x_2 \end{pmatrix}$$

$$b = \begin{pmatrix} b_{21} \\ b_{31} \end{pmatrix} \quad (4)$$

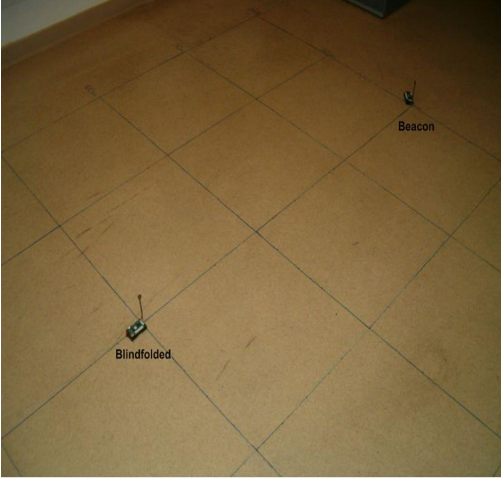
$$b_{21} = \frac{1}{2} [r_1^2 - r_2^2 + d_{21}^2]$$

$$b_{31} = \frac{1}{2} [r_1^2 - r_3^2 + d_{31}^2]$$

ve d_{jk} konumları bilinen i . duyurga ile j . duyurga arasındaki uzaklıktır.

Laboratuvarında kurulan test ortamında konumları bilinen duyurgalar 200cm x 200cm' lik grid üzerinde farklı noktalara konulmuş ve yerleştirildikleri herbir nokta için $u(x,y)$ duyurgasının konumu 5000 defa kestirilmiştir. Söz konusu duyurga diğer üç duyurgadan gelen RSS seviyelerini toplayıp geçit duyurgası yoluyla ana bilgisayara gönderir ve orada kendisinin konumu 2-boyutlu üçgenleme yöntemiyle kestirilir.

Şekil-4 ve 5'de iki farklı senaryo için kurulan test ortamı ve kullanılan duyurgaların konumları verilmiştir. Burada u konumu bilinmeyen noktayı, b_i ($i=1,2,3$) konumları bilinen noktaları temsil etmektedir. Koordinat sisteminde x ve y eksenleri üzerindeki iki ardışık nokta arasındaki uzaklık 1cm' dir. 5000 defa u duyurgasının konumu hesaplanmıştır.



Şekil 3: Mesafe tahmini için elde edilen optimum anten pozisyonu

Koordinatları hesaplanmaya çalışılan noktanın gerçek konumu (100,100) noktasındadır. Sonuç olarak hesaplanan x ve y koordinatlarının ortalama değeri (110.8141 100.7512) cm' dir ve ortalama mutlak kestirim hatası da (10.8364, 1.2593) cm' dir. X ve Y koordinatları arasındaki kestirim hatası farkının ana kaynağı antenlerin birbirlerine göre açısıdır.

İkinci senaryo Şekil-5' de verilmiştir. Konumu bilinmeyen noktanın gerçek koordinatları (100,100) cm' dir. Bu senaryoda da 5000 test sonucunda ortalamaya mutlak kestirim hatası (17.6223, 4.5381) cm olarak bulunmuştur. Şekil-4' de gerçek noktalar ve kestirilen noktalar 2-boyutlu koordinat sisteminde verilmiştir.

Şekil-6' da bu defa en uygun anten açısının uygulandığı senaryodan elde edilen konum kestirimleri gösterilmiştir. Şekil-5 ve Şekil-6'yı kıyasladığımızda anten açısının kestirim doğruluğu üzerindeki etkisi çok açık görülmektedir. Optimum anten açısında ortalama mutlak kestirim hatası (3.0112, 8.7698) cm olarak elde edilmiştir.

5.Sonuçlar ve Gelecek Çalışmalar

Bu makalede RSS-tabanlı 2-boyutlu konumlandırmanın telsiz duyurga ağlarındaki davranışı araştırılmış ve söz konusu yöntem laboratuvarında kurulan test ortamında Crossbow MicaII duyurgaları üzerinde denenmiştir. Çok sayıda RSS ölçümleri yapılarak konum kestiriminin hata seviyeleri incelenmiş ve hatanın kaynağı hakkında yorum yapılmıştır. Birinci deneyde iki MicaII duyurgasının antenlerinin birbirine göre açılarının mesafe kestirimi üzerinde yaptığı etki gözlemlenmiştir. RSS ölçümlerinin istatistiksel dağılımının ikinci bölümde yapılan testlerle Gauss dağılımına uyduğu gösterilmiştir. Son olarak da farklı anten açıları kullanılarak 2-boyutlu duyurga konumlandırması yapılmış ve %90' lara varan kestirim doğruluğu elde edilmiştir. Ayrıca en uygun anten açısının kullanıldığı durumda daha doğru konumlandırma gerçekleştirildiği gösterilmiştir.

Bu çalışmanın devamı olarak ileride RSS verisine iyileştirme yöntemleri uygulayarak daha doğru konumlandırma yapabilmeyen yolları aranacak ve test ortamındaki duyurga sayısı artırılarak çoklu atlamalı haberleşme ile RSS-tabanlı konumlandırma birleştirilecektir. Öncelikle ölçüm verilerine doğrusal ve doğrusal olmayan en küçük kareler yöntemleri uygulanacak ve iki yöntemden elde edilen sonuçlar birbirleriyle kıyaslanarak hangisinin daha doğru kestirim verdiği tesbid edilece sonraki aşamada da en doğru konumu veren yöntem kullanılarak çoklu atlamalı haberleşme için RSS-tabanlı konumlandırma yapılacaktır.

Kaynakça

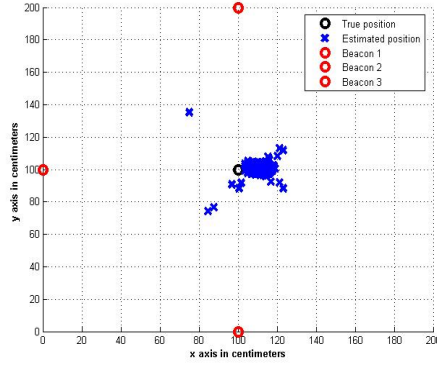
[1] N. Patwari, A. O. Hero, M. Perkins, N. S. Correal and R. J. O'Dea, "Relative location estimation in wireless sensor networks," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 51, no.8, pp. 2137-2148, August 2003.

[2] X. Li, H. Shi and Y. Shang, "A Sorted RSS quantization based algorithm for sensor network localization," in *The Proceedings of 11th International Conference on Parallel and Distributed Systems*, vol. 1, pp. 557-563, July 2005.

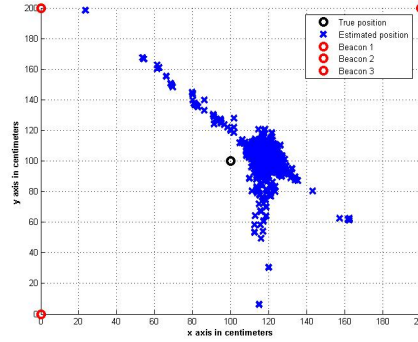
[3] Y. Ohta, M. Sugano and M. Murata, "Autonomous localization method in wireless sensor networks," in *The Third IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops*, pp. 379-384, March 2005.

[4] C. Alippi and G. Vanini, "Wireless sensor networks and radio localization: a metrological analysis of the MICA2 received signal strength indicator", in *The Proceedings of the first IEEE Workshop on Embedded Networked Sensors (EmNetS-I)*, Nov. 2004.

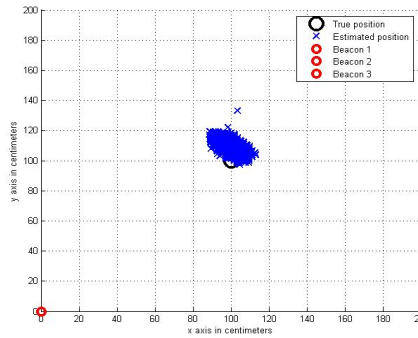
[5] I. F. Akyildiz, S. Weilian, Y. Sankarasubramaniam and E. Cayirci, "A Survey on sensor networks," *IEEE Communications Magazine*. vol. 40, issue 8, pp. 102-114, August 2002.



Şekil 4: Senaryo-1 için elde edilen pozisyon tahminleri



Şekil 5: Senaryo-2 için elde edilen pozisyon tahminleri



Şekil 6: Senaryo-2 için optimum anten pozisyonunda elde edilen duyarga pozisyonu tahminleri