

Kablosuz Duyarga Ağlarda RSSI, TOA ve TDOA Yardımıyla Gezgin Filo Lokalizasyon Modeli

Mobile Fleet Localization Model via RSSI, TOA and TDOA in Wireless Sensor Networks

Faruk Baturalp Günay
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
Atatürk Üniversitesi
Erzurum, Türkiye
baturalp@atauni.edu.tr

Tuğrul Çavdar
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
Karadeniz Teknik Üniversitesi
Trabzon, Türkiye
ulduz@ktu.edu.tr

Özetçe—Kablosuz duyarga ağlar çeşitli uygulamalarda kullanılan, belirli bir alandan bilgi toplayabilen düşük güçlü ve düşük maliyetli düğümlerin kullanıldığı ağlardır. Konum tahmini bu ağların kullanıldığı alanlardan biridir. Bu çalışmada, sadece en öndeki araçta sürücünün olduğu gezgin bir araç filosunda, gerideki insansız araçların kontrolünün kablosuz duyarga ağlarla sağlanması amaçlanmıştır. Filo içindeki bazı araçların konumu GPS ile belirlenirken diğer araçların konumları RSSI (Received Signal Strength Indication), TOA (Time of Arrival) ve TDOA (Time Difference of Arrival) lokalizasyon yöntemleriyle belirlenecektir. Simülasyonlarda MATLAB platformu kullanılmış olup, GPS ile konumlandırılan (çapa) düğüm sayısı, düğümler arası mesafe vb. faktörlerin etkileri analiz edilmiştir. Simülasyon sonuçları lokasyon tahmin hatalarının, doğru çapa düğüm sayısının sağlanması ve çapa düğümlerin uygun konumlandırılması ile önemli ölçüde azaltılabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler —Kablosuz Duyarga Ağlar, RSSI, TOA, TDOA, Lokalizasyon

Abstract—Wireless sensor networks are created using low cost, low power sensor nodes to collect useful information from a targeted environment in various applications. Location estimation is one of the areas where these networks can be exploited. Main aim of this study is to control a fleet via wireless sensor networks that only leader vehicle has human control. Instead, some of the vehicles can be equipped with GPS receivers and the rest of fleet can find their own position via RSSI (Received Signal Strength Indication), TOA (Time of Arrival) and TDOA (Time Difference of Arrival) methods. Based on our MATLAB based simulations, we analyze the relationship among various factors such as GPS (beacon) node number and distance etc. Simulation results show that location estimation errors can be significantly reduced with right beacon node number selection and correct positioning of nodes

Keywords —Wireless Sensor Networks, RSSI, TOA, TDOA, Localization

I. GİRİŞ

Duyarga ağlar ışık, sıcaklık, basınç vb. çeşitli çevresel değerleri düşük maliyetli duyurgalar sayesinde algılayabilen ve oluşturdıkları kablolu veya kablosuz ağlar vasıtasıyla bu çevresel değerleri merkezi birimlere ileten yapılardır. Uygulamaya bağlı olarak ağda bulunan düğümler ölçüm alanının içinde veya yakınında bulunmaktadır [1]. Duyarga ağlar hastaların durumunu görüntüleme, muharebe sahasından veri toplama vb. uygulamalarla çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Ayrıca, uçaklarda kanat kontrolü gibi karmaşık uygulamalarda yer bulmaktadır [2]. Enerji, uzaklık, işlemci, maliyet vb. fiziksel sınırlamalar duyarga düğümlerin sınırlarını belirler [3]. Bu tip kısıtlamalar genellikle gezgin duyarga ağları için geçerlidir. Lokalizasyon veya gezgin düğümün konum tespiti Kablosuz Duyarga Ağlarda (KDA) önemli konulardan biridir. Yukarıda bahsedilmiş olan kısıtlamalar konum tahmini ve verimli hesaplama süreçlerini olumsuz olarak etkiler. Bu çalışmada, sadece ilk aracında sürücünün bulunduğu gezgin bir araç filosunda, izleyen diğer insansız araçların kontrolünün kablosuz duyarga ağlarla sağlanması amaçlanmıştır. Burada, filoya entegre edilmiş KDA'da bulunan çoklu düğüm yapısına sırasıyla Received Signal Strength Indication method (RSSI), Time of Arrival (TOA), Time Difference of Arrival (TDOA) yöntemleri uygulanmış ve mukayeseli başarımlar analizleri yapılmıştır. Filonun dünya üzerindeki konumu ve daha doğru yer tahmini yapılması amacıyla bazı düğümlere GPS (çapa düğümler) entegre edilmiştir. Diğer düğümlerin çapa düğümlerle irtibatlı olarak konum tahminleri de yukarıda adı geçen lokalizasyon yöntemleriyle gerçekleştirilmektedir. Simülasyonlar, çapa düğüm sayısının ve yine bu düğümlerin gezgin düğümlere olan uzaklıklarının gezgin düğümlerin konum tahmin hatalarını önemli ölçüde etkilediğini ortaya koymaktadır. Gezgin kablosuz duyarga ağlar üzerine literatürde çok sayıda çalışmalar bulunmaktadır [4, 5]. Geçmişte yapılmış çalışmaların aksine, bu çalışmada filo araçları bir doğru üzerinde olsa bile, yani gezgin ve çapa düğümler aynı doğrultuda olması durumunda da gezgin düğümlerin konumu hesaplanabilmektedir. Çalışmamızın bölümleri ise aşağıdaki gibi özetlenebilir. İkinci bölümde kullanılan yöntemler anlatılmıştır. Sistemin genel yapısı ve algoritmalar üçüncü

bölümde incelenmiştir. Son bölümde simülasyon sonuçları sunulmuştur.

II. KULLANILAN YÖNTEMLER

Mevcut lokalizasyon algoritmaları esas olarak uzaklığa bağlı [6] ve uzaklıktan bağımsız [7] olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. TOA [8], TDOA [9], AOA [10] ve RSSI yöntemleri mesafe bulma için kullanılan tekniklerdir.

A. RSSI

RSSI metodu uygulamalar için daha az karmaşıktır [11]. İletişim için donanım ihtiyacının az olması diğer bir avantajdır. Çoğu düğümün alınan işaret gücünü tahmin edebilmesi bu yöntemi ekonomik hale getirir [11]. Düğümler arası uzaklık, alınan işaretin gücü ve gönderilen işaretin gücü arasındaki ilişki RSSI yöntemini tanımlamaktadır. Aşağıdaki (1) ve (2) denklemlerinde verilen bu ilişkide, d alıcı verici düğümler arasındaki uzaklık, P_t gönderilen işaretin gücünü, P_r alınan işaretin gücünü, n ortama bağlı olarak değişen iletim faktörünü ve A sabiti ise -42 değerini ifade etmektedir.

$$10 \lg P_r = 10 \lg P_t - 10n \lg d \quad (1)$$

$$P_r(\text{dBm}) = A - 10n \lg d \quad (2)$$

B. TOA

Bu yöntem iki düğüm arasında işaretlerin alış ve veriş zamanlarının hassas bir şekilde ölçülmesine dayanır. Bu uzaklık ölçümleri, işaretlerin propagasyon zamanlarına ve hıza dayalı olarak yapılır. Bu yöntem için zamanlama ve zamandaşlama çok önemlidir. Sistem donanımı, işaretlerin alınma zamanını doğru ölçme açısından önemli olduğundan dolayı bu yöntemin donanım bağımlılığı RSSI'ya göre daha fazladır.

$$d_{toa} = c * t_{toa} \quad (3)$$

Yukarıdaki denklemde d_{toa} işaretin varış uzaklığını, c ışık hızını ve t_{toa} işaretin varış zamanını ifade etmektedir. Yine bu yöntemde ölçülen ve tahmin edilen uzaklık arasındaki fark aşağıdaki ifadedeki gibi bulunabilmektedir. Burada v işaretin hızı, (x_i, y_i) ise i indeksli çapa düğümün konumu olmaktadır.

$$f_i(x, y, v) = vt_{i,x} - \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} \quad (4)$$

C. TDOA

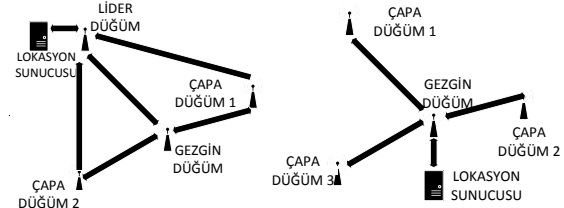
Tek işarete dayalı zaman ölçümü için yukarıda bahsedilen donanım gereksinimi ortadayken, TDOA yöntemi sayesinde iki işaretin alış zamanına dair fark yer tespitini daha kolay hale getirmektedir. İlgili yöntemde en az iki düğüm kullanılmalıdır. Ölçüm doğruluğunun artırılması adına daha fazla sayıda düğüm kullanılabilir. Aşağıda r_{em} referans düğümün konumunu, r_x ve r_y ise x ve y düğümlerinin konumlarını temsil etmektedir.

$$\Delta t_{xy} = t_x - t_y = \frac{\|r_x - r_{em}\|}{c} - \frac{\|r_y - r_{em}\|}{c}, \forall x \neq y \quad (5)$$

III. ÖNERİLEN ALGORİTMA

Bu bölümde, kullanılan yöntemlere ait bazı işlemsel detaylar ve simülasyonlarda kullanılan algoritmaya dair bilgiler verilmektedir. Çalışmada söz konusu çapa düğümlerinin sayısı iki ve beş arasında değişmektedir. Göz önüne alınan bir diğer parametre ise düğümler arası uzaklıktır. Bu iki durum, gezgin düğümün konum tahmin hatasını etkileyen faktörlerdir. Buna karşın ilgili sahanın boyutları çalışma sonuçlarını

etkilememektedir. Şekil 1'de sistemdeki çapa düğüm ve gezgin düğümlerin hangi haberleşme seçeneklerine sahip oldukları gösterilmektedir. Bahsedilen ölçüm yöntemleriyle gezgin düğümler ve çapa düğümler arasındaki uzaklıklar bulunmaktadır. Söz konusu uzaklıklar RSSI tekniğinde işaret gücü (dBm), TOA ve TDOA tekniklerinde zaman (sn) üzerinden hesaplanmaktadır. Söz konusu sistem, KDA vasıtasıyla yol boyunca filonun lider aracı takip etmesini sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Bu takip yapılırken esas olarak filonun iki çeşit hareket kabiliyeti olduğu varsayılmıştır. Bu hareketler düz yolda ilerleme ve virajlarda dönme hareketleridir.



Şekil 1. Gezgin ve çapa düğümler için temel iletişim durumları.

Algoritma bu iki farklı duruma göre filo kontrolünü sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Hangi durumun seçilecek olması aşağıdaki denkleme bağlıdır.

$$\frac{G_2(y_2) - G_1(y_1)}{G_2(x_2) - G_1(x_1)} = \frac{G_3(y_3) - G_2(y_2)}{G_2(y_2) - G_1(y_1)} \quad (6)$$

Burada G_n çapa düğümleri, x_n ve y_n ise bu düğümlerin bulunduğu koordinatları göstermektedir. Algoritmada ilk olarak GPS takılı olan düğümlerin periyodik olarak konum bilgisi almasından ötürü takip sistemindeki konum tespit ve tahmini, periyodik olarak güncellenmektedir. Tüm durumlar için aynı matematiksel yöntemler kullanılsa da, yine aynı durumlar için bu yöntemler farklı şekilde uygulanmaktadır. Filodaki GPS vasıtasıyla konumlandırılmış olan çapa düğümlerinin bir hizada olması durumunda önerilen Düz Yol Tekniği kullanılmaktadır, çapa düğümlerinin bir doğru üzerinde olmaması durumunda (yani viraj durumunda) trilaterasyon ve multilaterasyon teknikleri [12, 13, 14, 15] uygulanıp üç veya daha fazla çapa düğümü arasındaki gezgin düğümlerin konumu tespit edilmektedir.

A. Düz Yol Tekniği

Çapa düğümlerinin aynı hizada olma durumu işlem kolaylığı getirir. Konum hata tespitini bu durum için basit bir teknikle belirleyebiliriz. Sırasıyla $G_2 - G_1, G_3 - G_2, \dots, G_{n+1} - G_n$ olan çapa düğümler arası uzaklıklar, GPS yardımıyla en doğru şekilde bulunur. RSSI yönteminde başlangıç konumu itibarıyla aynı hizada olan gezgin düğümler M_1, M_2, \dots, M_n , aralarında bulundukları çapa düğümlere işaret göndererek, çapa düğümler işaret seviyesini ölçer. TOA ve TDOA yöntemlerinde ise işaretleşme trafiği tam ters yönde olur. Yani zamandaşlama işaretleri çapa düğümlerden, gezgin düğümlere gönderilip geri alınmaktadır. Çapa düğümlerde alınan işaretler, RSSI, TOA veya TDOA yöntemlerinden biri ile değerlendirilir. Yöntemler yardımıyla gezgin düğümlerin, aralarında bulunduğu çapa düğümlere olan uzaklıkları bulunur.

$$d_i = M_i - G_i, d_{i+1} = G_{i+1} - M_i \quad (7)$$

Gezgin düğümlere ait bulunan iki uzaklık değerinin toplamı çapa düğümler arasındaki uzaklığa eşit olması

gerekirken gürültü, bozulma, zamandaşlama hatası vb. sebeplerden dolayı, hesaplanan konum, daha önce ölçülen GPS konumundan farklı olursa, aradaki bu fark diğer bir ifadeyle konum tahmin hatası aşağıdaki gibidir.

$$Hata_i = (d_i + d_{i+1}) - (G_{i+1} - G_i) \quad (8)$$

B. Trilaterasyon ve Multilaterasyon Teknikleri

Bu yöntemlerin uygulanması için çapa düğümlerin aynı hizada olmaması yeterli olmaktadır. Bu teknikte en az üç çapa düğüm gerekli olup daha fazla çapa düğüm ile konum tahmin hatası azaltılabilmektedir. Her bir çapa düğümün gezgin düğüme olan uzaklığı, bir çemberin yarıçapı olarak tanımlanır. Ancak bu çemberler tek başına yeterli değildir ve tam olarak doğru konumu vermezler. İşte bu üç çapa düğüme ait doğrusal olmayan uzaklıklar ile oluşturulmuş çemberlerin kesişim noktası idealde gezgin düğümün konumu olarak tanımlanmaktadır. Ancak pratikte uzaklığa dair hatalar oluşabileceğinden üçten fazla çapa düğüme ihtiyaç duyulabilmektedir. Son aşamada konum hata ve tahmini en küçük kareler yöntemi ile aşağıdaki gibi sağlanmaktadır. Bu yöntemle aşağıda gösterildiği gibi i indeksli çapa düğümlerin konumları sayesinde (x_i, y_i) gezgin düğümün tahmini konumu bulunur. Önerilen algoritmanın akış diyagramı Şekil 2'de verilmiştir.

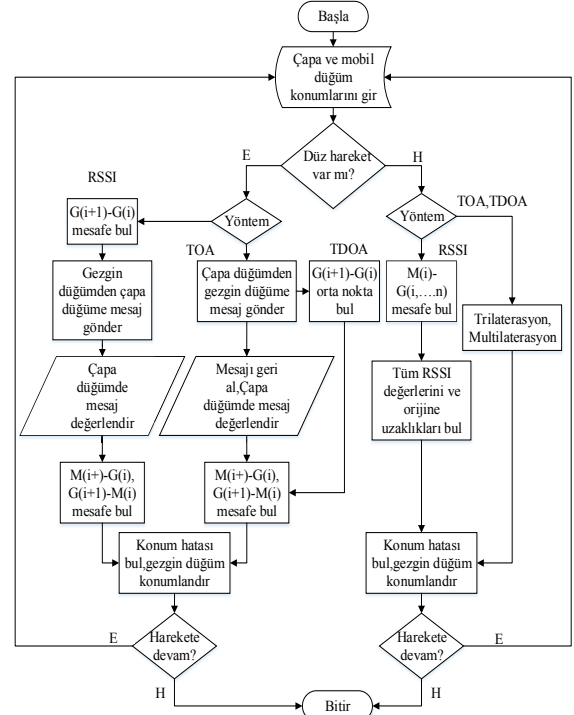
$$H_i = [2 * (x_i - x_1), 2 * (y_i - y_1)] \quad (9)$$

$$B_i = [Z_1^2 - Z_i^2 + x_i - x_1] \quad (10)$$

$$E = ((H' * H)^{-1} * H' * b) \quad (11)$$

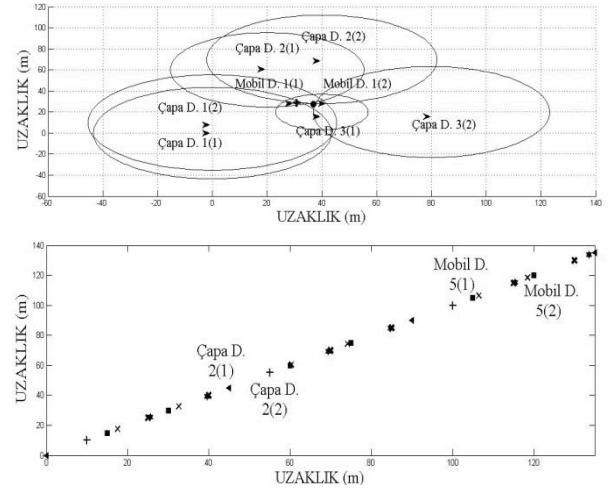
IV. SİMÜLASYON SONUÇLARININ İRDELENMESİ

Çalışmada geliştirilen algoritmanın MATLAB R2012a platformunda benzetimi yapılmıştır. Simülasyonlar merkeze uzaklığı değişen çapa düğümlerle gerçekleştirilmiştir. Her durumda daha kesin sonuçlara ulaşmak amacıyla 60 kez tekrarlanıp ve bu sonuçların ortalaması alınmıştır. Simülasyon ortamı aynı doğrultuda hareket eden filo yapısında çapa düğümlerin anlık konum bilgileri ve buradan hareketle elde edilen gezgin düğümlerin tahmini ve varsayılan gerçek konumları bulunabilmektedir. Sonuçlar, gezgin hareketin iki unsuru olan düz ve viraj halinde takibe göre değerlendirilmiştir. Düz yol takibi esnasında en yakın iki komşu çapa düğüm vasıtasıyla RSSI, TOA ve TDOA teknikleriyle konum hataları hesaplanmıştır. Çapa düğümlerin gezgin düğümlere olan uzaklıkları 15, 25 ve 35 metre olarak ayarlanmıştır. En düşük konum hataları yukarıdaki uzaklıklara göre sırasıyla 0.853, 1.5702 ve 1.9671 metre olarak TOA yöntemi yardımıyla belirlenmiştir. Tablo 1'de kullanılan yöntemler ile ortaya çıkan konum hataları gösterilmiştir. TDOA tekniği TOA tekniğine yaklaşık sonuçlar verirken, en yüksek konum tahmin hataları RSSI tekniği ile bulunmuştur. Fakat çalışmamızda virajlı yollarda takip esnasında anlık durumların ölçülmesi sırasında GDOP (Geometric Dilution of Precision) sayesinde yukarıdaki konum hatasında doğrusallığın sağlanmadığı durumlar olmuştur [18]. Takip sistemindeki virajlı yollarda ortaya çıkan diğer durumlar ise şöyle ifade edilebilir. Trilaterasyon yönteminde herhangi iki çapa düğüm yaklaşık olarak aynı konumdaysa gezgin düğümün konumunun tahmini imkansızlaşır. Diğer bir dikkat edilmesi gereken durum, yöntemler gereği orijin noktasına konan çapa düğümün hareket boyunca algoritmanın periyodik yenilenmelerinin hepsinde kendi değişen konumunu orijin olarak güncellemesi gerekliliğidir.



Şekil 2. Önerilen algoritmanın akış diyagramı.

Bağıl olarak diğer düğümlerin konumu bulunabilmektedir. Takip sisteminde dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta filonun bir kısmının dönüşlere girmiş olup kalan düğümlerin hala düz yolda seyre devam ediyor olmasıdır. Konumu bulunacak olan gezgin düğüm ve arasında bulundukları çapa düğümler bir çizgide bulunurken, lider ya da takipçi çapa düğüm farklı doğrultuda hareket ederse, Trilaterasyon tekniğiyle gezgin düğümün konum tahmininde hata olasılığı artmaktadır.



Şekil 3. Hareket halindeki filolarda dönüş esnasında TOA (üstte) ve düz seyir esnasında RSSI (altta) yöntemleriyle gezgin düğüm konum tahmin örnekleri

Multilaterasyon tekniğini veya en az dört çapa düğüm kullanımını öne çıkaran durumlardan birisi budur. Simülasyonlarda dönüş hareketinde olan fazladan en az bir çapa düğümün, gezgin düğümün tahmin edilen konumunun daha doğru olmasını sağlamıştır.

Tablo 1. Gezgin düğümün çeşitli yöntemlerle elde edilmiş ortalama konum hataları

TOA			
Gezgin-çapa düğüm mesafesi	15 m	25 m	35 m
2 çapa d. (Düz yol)	0.8530m	1.5702m	1.9671m
3 çapa d. (Dönüş)	2.2887m	1.8991m	2.2350m
4 çapa d. (Dönüş)	2.1115m	2.0512m	2.3470m
5 çapa d. (Dönüş)	2.2750m	1.9519m	1.6788m
TDOA			
2 çapa d. (Düz yol)	0.9309m	1.6374m	2.1641m
3 çapa d. (Dönüş)	5.1483m	5.2478m	6.3844m
4 çapa d. (Dönüş)	4.8435m	5.5900m	8.8330m
5 çapa d. (Dönüş)	4.5426m	6.1169m	7.3964m
RSSI			
2 çapa d. (Düz yol)	1.6380m	2.4821m	3.3550m
3 çapa d. (Dönüş)	7.6060m	13.707m	19.9263m
4 çapa d. (Dönüş)	6.7691m	7.1659m	9.9249m
5 çapa d. (Dönüş)	3.4274m	5.9698m	6.4846m

Ayrıca simülasyon sonuçlarına göre gezgin düğüm iki çapa düğüm arasındaki en kısa uzaklığa yakın olursa konum tahmin hatası azalmaktadır. Tablo 1, farklı gezgin-çapa mesafelerinde, farklı çapa sayıları için elde edilen konum hatalarını vermektedir. Sonuçlara göre çapa düğümlerinin kümeler halinde yakın mesafelere konumlanması konum tahmini hatasını artırmıştır. RSSI tekniğinde çapa düğümü sayısı arttıkça konum tahmin hatasının azaldığı gözlemlenmiştir. Diğer taraftan dört veya beş çapa düğümlü sistemlerde çapa düğümün bir tanesi gezgin düğüme uzak mesafede olsa bile diğer çapa düğümler sayesinde gezgin düğüm konum tahminine dair tatmin edici sonuçlar elde edilmiştir. Tablodan görüldüğü üzere, önerilen algoritmada TOA tekniğinin kullanılması daha başarılı sonuçlar vermiştir.

V. SONUÇ

Bu çalışmada filo yapısı içerisinde gezgin düğümlerin yine gezgin çapa düğümler vasıtasıyla periyodik olarak konumunun mukayeseli teknikler ile yaklaşık olarak bulunması ve sonuçların karşılaştırılması amaçlanmıştır. Düşük konum tahmin hatasını sağlayan faktörler çapa düğüm sayısı seçimi, uzaklık ve doğru strateji seçimi olarak öne çıkmıştır. Durum ve teknik farklılıklarına göre ortalama konum tahmin hataları 0.853 – 19.9263 metre arasında değişmiştir. Önerilen algoritmayla ulaşılabilen en küçük konum tahmin hatası ise 0.137 metre olmuştur. Gelecek çalışmalarda ise Grey vb. tahmin yöntemleri kullanarak daha iyi sonuçlara ulaşılabileceği planlanmaktadır.

KAYNAKÇA

- [1] Akyildiz, I.F.; Weilian Su; Sankarabramaniam, Y.; Cayirci, E., "A survey on sensor networks, " *Communications Magazine, IEEE*, vol.40, no.8, pp.102, 114, Aug 2002 doi: 10.1109/MCOM.2002.1024422
- [2] Vieira, M.A.M.; Coelho, C.N.; da Silva, D.C., Jr.; da Mata, J.M., "Survey on wireless sensor network devices," *Emerging Technologies and Factory Automation, 2003. Proceedings. ETFA '03. IEEE Conference*, vol.1, no., pp.537,544 vol.1, no., pp.537,544 vol.1, 16-19 Sept. 2003
- [3] Jang-Ping, S.; Pei-Chun, C.; Chih-Shun, H., "A Distributed Localization Scheme for Wireless Sensor Networks with Improved Grid-Scan and Vector-Based Refinement," *Mobile Computing, IEEE Transactions on*, vol.7, no.9, pp.1110,1123, Sept. 2008
- [4] Hai, D.; Zhang, H.; Xiao, J.; Zheng, Z., "Cooperate localization of a Wireless Sensor Network (WSN) aided by a mobile robot," *Safety Security and Rescue Robotics (SSRR), 2010 IEEE International Workshop on*, vol., no., pp.1,6, 26-30 July 2010
- [5] Chao, P.; Meng, M.Q.-H.; Huawei, L., "An experimental system of mobile robot's self-localization based on WSN," *Automation and Logistics, 2009. ICAL '09. IEEE International Conference on*, vol., no., pp.1029,1034, 5-7 Aug. 2009
- [6] Chia-Hung, C.; Wanjin, L., "Revisiting Relative Location Estimation in Wireless Sensor Networks," *Communications, 2009. ICC '09. IEEE International Conference on*, vol., no., pp.1,5, 14-18 June 2009
- [7] Perkins, M.; Correal, N.; O'Dea, B., "Emergent wireless sensor network limitations: a plea for advancement in core technologies," *Sensors, 2002. Proceedings of IEEE*, vol.2, no., pp.1505,1509 vol.2, 2002
- [8] Kegen, Y.; Guo, Y.J., "Non-line-of-sight detection based on TOA and signal strength," *Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2008. PIMRC 2008. IEEE 19th International Symposium on*, vol., no., pp.1,5, 15-18 Sept. 2008
- [9] Kim, J. I.; Lee, J. G. ; Park, C. G. , "A Mitigation of Line-of-Sight by TDOA Error Modeling in Wireless Communication System," *International Conference on Control, Automation and Systems*, Seoul, October 2008, pp. 1601-1605
- [10] Niculescu, D.; Nath, B., "Ad hoc positioning system (APS) using AOA," *INFOCOM 2003. Twenty-Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications. IEEE Societies*, vol.3, no., pp.1734,1743 vol.3, 30 March-3 April 2003
- [11] Akyıldız, I.F., Vuran,M.C.,Wireless Sensor Networks,Wiley 2012
- [12] Yunchun, Z.; Zhiyi, F.; Ruixue, L.; Wenpeng, H., "The Design and Implementation of a RSSI-Based Localization System," *Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2009. WiCom '09. 5th International Conference on*, vol., no.,pp.1,4,24-26 Sept. 2009
- [13] Jie, L.; Zhi, L.; Wantian, S., "A new three-dimensional localization method for WSN," *Cloud Computing and Intelligent Systems (CCIS), 2012 IEEE 2nd International Conference on*, vol.03, no., pp.1005,1008, Oct. 30 2012-Nov. 1 2012
- [14] Wang, L.; Yuntao L.; Xiaohui, X.; Xiaopeng Wang, "WSN Multilateration algorithm based on landweber iteration," *Electronic Measurement & Instruments, 2009. ICEMI '09. 9th International Conference on*, vol., no., pp.1-250,1-254, 16-19 Aug. 2009
- [15] Yifeng, Z.; Jun, L.; Lamont, L., "Multilateration localization in the presence of anchor location uncertainties," *Global Communications Conference (GLOBECOM), 2012 IEEE*, vol., no., pp.309,314, 3-7 Dec. 2012
- [16] Lee, C. H.; Yu, C. J., "An intelligent handoff algorithm for wireless communication systems using grey prediction and fuzzy decision system," In proceedings of IEEE Networking, Sensing and Control Conference, vol. 1, pp. 541 – 546, March 2004.
- [17] Luo, R.C.; Chen, O.; Pan, S.H., "Mobile user localization in wireless sensor network using grey prediction method," *Industrial Electronics Society, 2005. IECON 2005. 31st Annual Conference of IEEE*, vol., no., pp.6 pp., 6-10 Nov. 2005
- [18] Zoghi, M.; Kahaei, M.H., "Adaptive sensor selection in wireless sensor networks for target tracking," *Signal Processing, IET*, vol.4, no.5,pp.530,536,Oct.2010 doi: 10.1049/iet-spr.2008.0205