

## Bina İçi Yer Belirlemede Sinyal Çıkış Güçlerinin Etkisinin Karşılaştırılması

Osman Kerem PERENTE, Kemal ÇELİKEL, Tacha SERİF

Yeditepe Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul

kperente@cse.yeditepe.edu.tr, kemal.celikel@persyslab.org, tserif@cse.yeditepe.edu.tr

### Özet

Mobil teknolojinin ilerlemesiyle uygulamaların sunduğu servisleri zenginleştirmek için konum temelli bilgiye duyulan ihtiyaç giderek artmaktadır. Dış mekânda GPS gibi kendine yer edinmiş ve yüksek kesinlikli teknolojiler hali hazırda kullanılmaktadır. Fakat iç mekânda konum belirleme için halen bir standart yöntem ortaya çıkamamıştır. Bu çalışmada kablosuz ağdan (WLAN) yararlanılarak Alınan Sinyal Gücü Göstergesi (RSSI) verileriyle yer işaretleme yöntemi kullanılmış ve geniş iç mekânda konum belirleme sistemi gerçekleştirilmiştir. Bunun için iç mekâna özel kablosuz erişim noktaları (AP) yerleştirilmiştir ve mekândaki daha önceden belirli noktalarda bu erişim noktaları sinyal seviyesi kaydedilmiştir. Konum belirleme sırasında önceden kaydedilmiş sinyal seviyeleriyle kablosuz bağlantı özelliği bulunan bir tabletin anlık sinyal seviyesi karşılaştırılarak konumu tespit edilmeye çalışılmıştır. Bunun yanı sıra kablosuz erişim noktalarının sinyal çıkış güçleri düşük ve yüksek olarak iki farklı şekilde yer işaretleme yapılarak konumlandırma hata paylarına olan etkisi karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Konum Belirleme, Bina İçi Konumlandırma, Sinyal Gücü, Yer İşaretleme, Saha Çalışması, Kablosuz Ağlar.

### Abstract

With the recent advancements in the mobile technology, the need to provide tailored services based on location information is increasing every day. GPS with its high accuracy and reputation is already being used in outdoor environments. However, no positioning system has emerged so far as a standard method of location determination indoors. In this study, fingerprinting method is used on Received Signal Strength Indicator (RSSI) of wireless network (WLAN), and location detection system is realized in large indoor environment. For this purpose, wireless access points (AP) are placed in the test bed, and signal strengths of these APs are measured and saved at pre-determined locations beforehand. During the location estimation, a tablet with wireless capabilities is used to measure and compare the real-time signal strength readings with the signal map created earlier. This study concentrates on the effects of signal strength of wireless APs in location detection. Hence, the fingerprinting and location detection algorithms were utilized with both low and high AP transmission power in order to compare their impact on location detection precision.

### 1. Giriş

Mobil ağların ve iletişim hizmetlerinin gelişmesiyle birlikte akıllı cihazların hayatımızda yer alması kaçınılmaz olmuştur. Bu bağlamda bu tür cihaz kullanıcılarına daha gelişmiş servisler sunmak için konum bilgisinin kullanılması öncelik haline gelmiştir.

Bu çalışmada RSSI kullanarak yer işaretleme yöntemiyle geniş iç mekânda yer belirleme gerçekleştiren bir sistem tasarlanmıştır. Geliştirilen Android tabanlı yer belirleme sistemindeki kablosuz erişim noktalarının sinyal çıkış gücü değiştirilerek yer belirleme hata payı

üzerindeki etkisi karşılaştırılmıştır. Yer belirleme sisteminin testleri geniş alana sahip yerel bir market zincirinin şubesinde mesai saatleri içerisinde gerçekleştirilmiş böylelikle ortamdaki fiziksel engelleri ve insan hareketlerini tolere edecek şekilde tasarlanmıştır. Bu konuda yapmış olduğumuz alan araştırmasına göre bu çalışmaya benzer geniş alanda yoğun insan hareketlerinin olduğu saha ortamında

konumlandırma gerçekleştiren bir başka çalışmaya rastlanmamıştır.

Buna bağlı olarak bu bildiri şu şekilde yapılmıştır; İkinci bölümde ilgili konum belirleme sistemleri hakkındaki çalışmalardan ve genel bilgilerden bahsedilmektedir. Üçüncü bölümde yer belirleme için kullanılan yöntemler açıklanmıştır. Dördüncü bölümde konumlandırma için tasarlanan sistemin tasarımı ve uygulamasından söz edilmektedir. Beşinci bölümde konumlandırma sisteminin test ortamındaki sonuçları ve performansı değerlendirilmiştir. Konumlandırma sisteminin genel değerlendirilmesi ve iyileştirilmesi hakkındaki görüşler ise son bölümde belirtilmiştir.

### 2. Konumlandırma Teknolojileri

Uydu konumlandırma teknolojisi halen en yaygın olarak kullanılan konum belirleme yöntemidir. Farklı ülkeler tarafından geliştirilen birden fazla uydu konumlandırma sistemi mevcuttur. Bu sistemler arasında ABD tarafından geliştirilen GPS, Rusya tarafından geliştirilen GLONASS, Avrupa Birliği tarafından geliştirilmekte olan Galileo, ve Çin

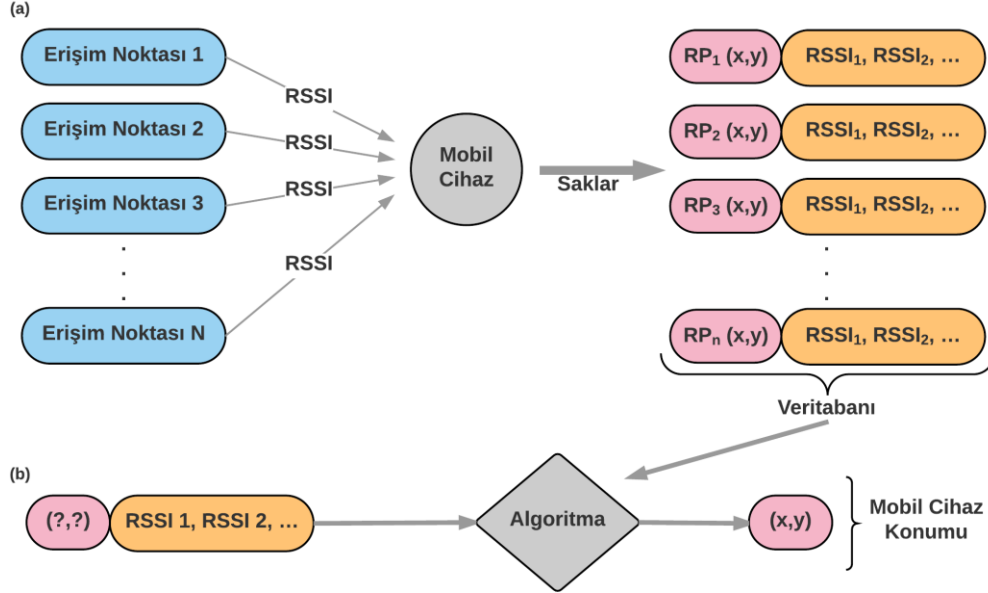
tarafından geliştirilmekte olan BeiDou sayılabilir. En yaygın olarak kullanılan uydu konumlandırma sistemi ise GPS'tir. GPS alıcıları uyduların devamlı olarak yaydıkları sinyalleri yakalayıp uydularla aralarındaki mesafeyi hesaplayarak gerçekleştirirler [1]. Bu sinyallerde gönderen uydunun pozisyonu ile sinyalin uydudan ayrılış zamanı içeren bilgiler mevcuttur. Alıcılar ise en az dört uydudan alınan sinyalleri işleyerek iki boyutlu üçgenleme (trilateration) yöntemi ile konumları hesaplayabilmektedirler [1].

Uydu konumlandırma sistemleri yüksek derecede doğruluk sağlamaları ve böylece yaygın olarak kullanılmalarına rağmen uydular ile direkt görüş hattı gerektirirler [1]. Bu sebeple uydu konumlandırma sistemlerinin iç mekânlarda kullanılması neredeyse imkânsız hale gelmektedir. Bu problemin üstesinden gelmek için, kızılötesi [2], Bluetooth [3], RFID [4], Ultrason [5], ve IEEE 802.11 WLAN [6] gibi farklı teknik ve teknolojiler kullanan sistemler geliştirilmiştir. Bunların içinde WLAN, hem geçerliliği hem de nüfuzu bakımından en tercih edilen yöntem olmaktadır.

WLAN teknolojisini kullanarak farklı yöntemler içeren konumlandırma teknikleri geliştirilmiştir. Bunlardan en önemlileri arasında Varış Zamanı (ToA) [7], Varış Zaman Farkı (TDoA) [8], Varış Açısı

(AoA) [9] ve RSSI [6] tekniklerini kullanan yöntemler sayılabilir. ToA, TDoA ve AoA konumlandırma teknikleri erişim noktaları ve mobil cihazlar üzerinde donanımsal veya yazılımsal değişiklikler gerektirdiğinden hem külfetli hem de fazla masraflı yöntemlerdir [10]. Öte yandan, RSSI tabanlı konumlandırma yönteminin donanımsal bir değişikliğe ihtiyacı olmamaktadır. Ayrıca RSSI değerleri, mobil cihazlar tarafından var olan yazılım üzerinden kolay bir şekilde okunabilmektedir. Bunun sonucu olarak, RSSI tabanlı yer işaretleme yöntemi [11,12,13], üzerinde farklı tekniklerin de denendiği en yaygın olarak kullanılan konumlandırma yöntemi olarak literatürde yerini almıştır.

Geniş mekânda bina içi konumlandırma sistemlerinden biri Li v.d. [14] tarafından gerçekleştirilmiştir. Oda seviyesinde yer tahminini amaçlayan sistem için Londra Queen Mary Üniversitesi'ndeki bir fakültenin ikinci ve üçüncü katları değerlendirme ortamı olarak kullanılmıştır. WLAN sinyalleri üzerinden RSSI tabanlı konumlandırma gerçekleştiren sistemde ayrıca GSM sinyalleri de doğruluk payını arttırmak amacıyla kullanılmıştır. WLAN ve GSM sinyallerini kullanan hibrit yöntemlerinde %72 doğruluk payı ile oda tahminini gerçekleştirmişlerdir.



Şekil 1. (a) Haritalama Aşaması (b) Konum Tahmini Aşaması

### 3. Yöntem Bilim

Bir cihazı konumlandırmak için ilk önce belirli noktalara olan uzaklığının ölçülmesi gerekmektedir. Dolayısıyla mesafeyle değişecek bir değişken üzerinden mesafe bilgisine ulaşılması gerekmektedir. WLAN (IEEE 802.11) 2.4 GHz frekans bandında radyo sinyalleri yaymaktadır. Bu sinyallerin gücü mesafenin karesiyle ters orantılıdır [15]. WLAN destekleyen herhangi bir cihaz üzerinden RSSI

değerini okuyarak sinyalin hangi güç oranında alıcıya ulaştığı anlaşılabilir. Yüksek RSSI değerleri alıcı ve verici arasındaki mesafenin az, düşük RSSI değerleri ise çok olduğu belirtir. Bu verileri kullanarak alıcı ve verici arasındaki mesafe göreceli olarak hesaplanabilir.

### Yer İşaretleme Yöntemi

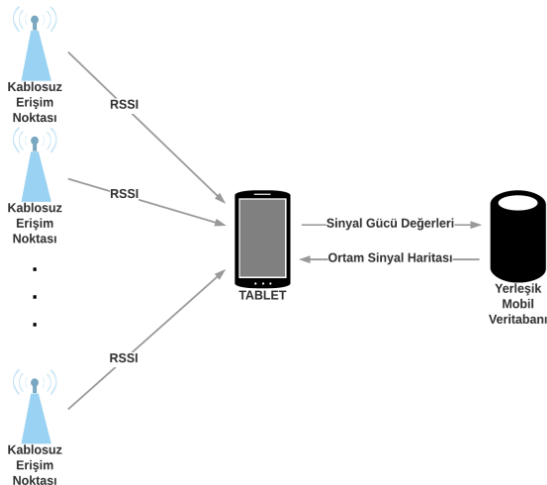
RSSI ile sinyal gücü üzerinden mesafe tahmini engellerin ve dolayısı ile sinyal yansımalarının olmadığı ideal ortamlarda gereğince güvenilirdir. Fakat gerçek dünyada radyo dalgaları her türlü engel ve objeden geçip zayıflayabilir, yansiyabilir ve sinyal gücünü yitirebilirler. Dolayısı ile RSSI üzerinden konumlandırmayı güvenilir ve tutarlı olarak yapabilmek için bu tür sorunları en aza indirmek gereklidir.

Bu sorunların üstesinden gelmek için yer işaretleme yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntem haritalama ve konum tahmini olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır (Şekil 1).

Haritalama aşamasından önce ortamın boyutu göz önünde bulundurularak referans noktası yoğunluğu ve olası yerleri değerlendirilmiştir. Referans noktalarının yerleri ortamın haritası üzerinde belirlenip kesin koordinatları kayıt edilmiştir. Bu sayede konumlandırma yapılırken bu koordinatlardan yararlanılmıştır.

### Haritalama Aşaması

Bu aşamada (Şekil 1a) önceden belirlenen her referans noktasında her AP'den gelen sinyal için belirli sayıda RSSI örnekleri alınmıştır. Alınan bu ölçümlerin ortalaması hesaplanmış ve o nokta için her AP'nin beklenen RSSI değerleri tespit edilmiştir. Bu değerler her referans noktası için {ID, S1, S2, S3, ... Sn} şeklinde veritabanına eklenmiştir. Burada ID referans noktasını, Sn değerleri ise ölçülen RSSI ortalamalarını temsil etmektedir. Tüm referans noktaları oluşturulup veritabanına aktarıldıktan sonra ortamın sinyal haritası oluşturulmuş olmaktadır.



Şekil 2. Sistem Mimarisi

### Konum Tahmini Aşaması

Bu aşamada ise (Şekil 1b) cihazın anlık konumu hesaplanmıştır. Bunun için her konum sorgusu sırasında mobil cihazın o an yakalayabildiği tüm AP'lerden gelen sinyaller, sinyal haritasındaki referans noktalarının içerdiği ortalama AP sinyalleriyle karşılaştırılmıştır. Böylece cihaza en yakın referans noktalarının bir listesi belirlenmiştir. Bu işlemin adımları aşağıdaki gibidir.

- 10 tane okuma gerçekleştir ve bunları gözlem kümesine (GK) yerleştir.  $GK = \{O1, O2, \dots, O10\}$
- Her AP için gözlemlerdeki RSSI değerlerinin ortalamasını hesapla ve ortalama sinyal seviyesi vektörünü (SS) oluştur.  $SS = \{s1, s2, \dots, sn\}$ . (Burada n ortamda yakalanan AP sayısını temsil etmektedir.)
- Oluşturulan SS vektörüyle ortamın veritabanındaki sinyal haritasını karşılaştır.

Bu aşamadan sonra elde edilen en yakın referans noktalarını kullanarak türlü algoritmalarla cihazın konumu hesaplanabilmektedir. Bu çalışmada k-En Yakın Komşu algoritması seçilmiştir. Böylece en yakın dört tane referans noktası ele alınmıştır. Bu noktaların koordinatlarının ağırlıklı ortalaması cihazın tahmini konumu olarak belirlenmiştir.

### 4. Tasarım

Tasarlanan konumlandırma sistem yapısı Şekil 2'de görülmektedir. Sistem genel hatlarıyla kablosuz erişim noktaları ve ölçümlerin yapıldığı tableten oluşmaktadır. Sinyal gücü ölçümlerinin saklandığı veritabanı yerleşik olarak tablet üzerinde bulunmaktadır.

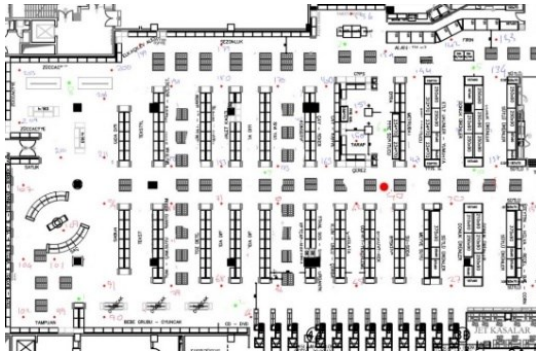


Şekil 3. (a) TP-Link WA901ND, (b) Asus Eee Pad Transformer

Ortam testlerinde kablosuz erişim noktası olarak on adet TP-Link WA901ND cihazı kullanılmıştır. Alana eşit aralıklar ile en iyi kapsama alanını sunması ve ortamdaki engeller sebebiyle sinyallerin zayıflamasını engellemek amacıyla binanın tavanına yerleştirilmişlerdir. Test ortamında kullanılan tüm erişim noktaları IEEE 802.11n standardını desteklemektedirler. (Şekil 3a)

Yapılan çalışmada cihaz üzerinden kablosuz ağ adaptör kaynaklarına ve bunun üzerinden her kablosuz ağın anlık RSSI değerine erişmek gerekeceğinden çalışmada kullanılacak işletim sisteminin bu bilgilere ulaşım imkânını kısıtlamamış olması gerekmektedir. Bu sebeple anlık ağ kablosuzuz ağ kaynaklarına direk erişimin sağlayabildiğinden ötürü çalışmamızda Android işletim sistemi barındıran bir tablet olan Asus Eee Pad Transformer tercih edilmiştir. Android 4.0 işletim sistemi kullanan cihazda bulunan kablosuz ağ adaptörü de erişim noktaları ile aynı şekilde IEEE 802.11n standardını desteklemektedir. (Şekil 3b)

Geliştirilen sistemi değerlendirme ortamı olarak 2300 m2 büyüklüğünde geniş alana sahip yerel bir market zincirinin şubesi seçilmiştir. Söz konusu şubenin tavanına bütün market alanını kapsayacak şekilde, eşit aralıklarla, on adet erişim noktası monte edilmiştir. Ortamda yaklaşık altı metrede bir 61 adet referans noktası seçilmiş ve yerleri daha önceden belirlenmiştir.

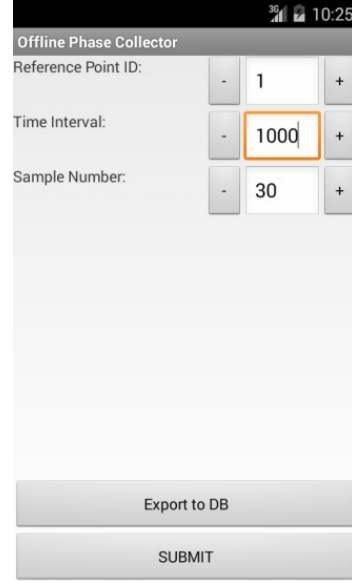


Şekil 4. Test Ortamı

Şekil 4’de görülen kırmızı ile belirtilmiş noktalar 61 tane referans noktasını, yeşil ile belirtilmiş noktalar ise rasgele seçilmiş 10 tane test noktasını temsil etmektedir. Test noktalarının koordinatlarını daha önceden hesaplayarak anlık konumlandırma sırasında belirlenen konum ile gerçek konum arasındaki hata mesafesi kolaylıkla ölçümlendirilebilmesi ve değerlendirilebilmesi amaçlanmıştır.

#### Haritalama Uygulaması

Haritalama aşamasını Android tablet üzerinde gerçekleştirmek için bir mobil uygulama hazırlanmıştır (Şekil 5). Bu uygulamada cihaz üzerinde referans noktası numarasını ve örnekleme sayısı seçilebilmektedir. Kullanıcı onayladıktan sonra 10 tane okuma gerçekleştirilerek o referans noktasının bilgileri cihaz üzerindeki veri tabanına yazılmaktadır. Bütün referans noktaları gezilip haritalama işlemi bittikten sonra veri tabanı konum tahmini aşamasında kullanılmak üzere başka cihazlara da aktarabilmektedir.



Şekil 5. Haritalama Uygulaması

#### Konum Tahmini Uygulaması

Konum tahminin yapılabilmesi için Android üzerinde çalışan başka bir uygulama daha geliştirilmiştir. Bu uygulamaya haritalama aşamasında oluşturulan sinyal haritası veritabanı aktarılabilir. Bu uygulamaya testlerin gerçekleştirileceği noktaların gerçek koordinatları daha önceden girilmiştir. Bu sayede belirlenen bir test noktasında anlık konum tahmini yapıldığında uygulamanın hesaplanan konum koordinatları ile söz konusu test noktasının gerçek koordinatları karşılaştırılarak hata payına ulaşmak mümkün olmuştur. (Şekil 6)



Şekil 6. Konum Tahmini Uygulaması

#### 5. Deneysel Sonuçlar

Çalışmamız kapsamında 2300 m2 boyutlarındaki deneme ortamında 61 referans noktasıyla gerçekleştirilen konumlandırma sisteminin test sonuçları iki sinyal gücü arasında farklılıklar tespit etmiştir. İki fazlı gerçekleşen çalışmamızın sonuçları Şekil 7’de karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Market alanında önceden belirlenen on noktada gerçekleştirilen yer belirleme testlerinin yüksek sinyal gücü yayım sırasında yapılan fazında alınan sonuçların sapması en düşük 348,6 cm ve en yüksek 1224,9 cm olmuştur.

Diğer yandan kablosuz erişim noktasının sinyal gücünün düşük olarak düzenlenerek gerçekleştirilmiş olan fazında ise en yüksek sapma 1023,7 cm ve en düşük sapma da 257,5 cm olarak kaydedilmiştir.

Saha ortamında yapılan çalışma sonucunda düşük çıkış sinyali ile yapılan konumlandırmanın sapma oranları göz önünde bulundurulduğunda daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Fakat elde edilen veriler incelendiğinde nispeten yakın olmayan erişim noktalarının RSSI değerlerinin anlık olarak yüksek değişim göstermiş olduğu görülmüştür. Bu doğal olarak market alanının yapısı gereği radyo sinyallerinin yansımalarının ve etkileşiminin sonucu olduğunu düşünülmüştür. Bunun sonucu olarak yüksek derecede değişken sinyal okumaları gerçekleştirilmiştir.

## 6. Sonuç ve İleri Çalışma Önerileri

Geniş mekânda gerçekleştirilen saha çalışmasında, insan yoğunluğunun ve engel çeşitliliğinin bulunduğu bir alanda konumlandırma amaçlanmıştır. Bunun için hem sinyal haritalama hem de konum tahmini aşamaları gündüz mesai saatleri içinde gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleştirilen çalışmada alınan sonuçlar her ne kadar benzer örneklerinde olduğu şekilde mobil cihaz kullanıcısının bulunduğu odayı ve alanı rahatlıkla tespit edebilse de son kullanıcıların kapalı alanda yönlendirme yapılması için gerekli olan hassasiyet performansını gösterememiştir.

Bu sebepledir ki bir sonraki çalışmamızda aynı ortam içinde referans noktası sayısını artırarak hem sapma oranını düşürmeyi hem de düşük ve yüksek çıkış sinyalleri arasındaki farkı daha net görmeyi amaçlamaktayız.

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırmalar Kurumu (TÜBİTAK) 1505 Üniversite Sanayi İşbirliği Destek Programı tarafından 5120011 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

## 7. Kaynaklar

- [1] El-Rabbany, "A., Introduction to GPS: The Global Positioning System", Artech House Publishers, ISBN: 978-1596930162, 2006
- [2] Roy, W., Hopper, A., Falcao, W., Gibbons, J., "The active badge location system", ACM Transactions on Information Systems Vol. 10 Issue 1, 1992, pp 91-102.
- [3] Perez Iglesias, H.J., Barral, V, Escudero, C.J., "Indoor person localization system through RSSI

Bluetooth fingerprinting", 19th International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP), 2012, pp 40-43

[4] Jin, G., Lu, X., Park, M., "An indoor localization mechanism using active RFID tag", IEEE International Conference on Sensor Networks, Ubiquitous, and Trustworthy Computing Vol. 1, 2006, pp 40-43

[5] Holm, S., "Ultrasound positioning based on time-of-flight and signal strength", International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), 2012, pp 1-6

[6] Bahl, P., Padmanabhan, V.N., "RADAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System," 19th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies Vol. 2, 2000, pp 775-784

[7] Reddy, H., Girish Chandra, M., Balamuralidhar, P., Harihara, S.G., Bhattacharya, K., Joseph, E., "An Improved Time-of-Arrival Estimation for WLAN-Based Local Positioning", 2nd International Conference on Communication Systems Software and Middleware, 2007, pp 1-5

[8] Yamasaki, R., Ogino, A., Tamaki, T., Uta, T., Matsuzawa, N., Kato, T., "TDOA location system for IEEE 802.11b WLAN", IEEE Wireless Communications and Networking Conference Vol. 4, 2005, pp 2338-2343

[9] Tay, B., Liu, W., Zang, D.H., "Indoor Angle of Arrival positioning using biased estimation", 7th IEEE International Conference on Industrial Informatics, 2009, pp 458-463

[10] Golden, S.A., Bateman, S.S., "Sensor Measurements for Wi-Fi Location with Emphasis on Time-of-Arrival Ranging", IEEE Transactions on Mobile Computing Vol.6 Issue 10, 2007, pp 1185-1198

[11] Taheri, A., Singh, A., Emmanuel, A., "Location Fingerprinting on Infrastructure 802.11 Wireless Local Area Networks (WLANs) using Locus", 29th Annual IEEE International Conference on Local Computer Networks, 2004, pp 676-683

[12] Martin, E., Vinyals, O., Freidland, G., Bajcsy, R., "Precise Indoor Localization Using Smart Phones", Proceedings of the International Conference on Multimedia, 2010, pp 787-790

[13] Altinbas, B., Serif, T., "Indoor Location Detection with a RSS-based Short Term Memory Technique (KNN-STM)", IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops, 2012, pp 794-798

[14] Li, K., Bigham, J., Bodanese, E.L., Tokarchuk, L., "Location Estimation in Large Indoor Multi-floor Buildings using Hybrid Networks", IEEE Wireless Communications and Networking Conference, 2013, pp 2137-2142

[15] Salous, S., "Radio Propagation Measurement and Channel Modelling", Wiley Publishers, ISBN: 978-0470751848, 2013