



KAPALI MEKAN KONUMLANDIRMA ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA

Sedat AKLEYLEK^{1*}, Erdal KILIÇ¹, Burcu SÖYLEMEZ², Tahir Ergun ARUK³, Aslıhan ÇAVUŞ YILDIRIM³

¹ Ondokuz Mayıs University, Department of Computer Engineering, Samsun, Türkiye

³ SDataM Bilişim Teknolojileri ve Güvenliği LTD. ŞTİ., Samsun, Türkiye

⁴ Rönesans Holding, Ankara, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Kapalı Mekan Konumlandırma, Sinyal, RSSI, Ölçüm</i>	Günümüzde konumlandırma teknolojisi birçok alanda önemli yere sahiptir. Uydulardan elde edilen verileri kullanan GPS (Global Positioning Systems) hayatımızın çoğu alanında bizimle birlikte. GPS Teknolojisi açık alanda gayet düzgün çalışabilmektedir. Ancak uydu sinyallerinin duvarlar ile etkileşime girdiği gerçeğini göz önüne aldığımızda kapalı alanlarda konum bulma konusunun açık alandakine göre daha karmaşık bir durum olduğunu gözlemlemiş oluruz. Gün geçtikçe farklı birçok alanda, kapalı mekan konumlandırma servislerine olan ihtiyaç artmaktadır. Uydu sinyallerinin uğradığı manipülasyon sonucu bozulması sebebiyle kapalı mekan konumlandırma servislerinin gerçekleştirilmesi adına günümüzde farklı yaklaşımlar geliştirilmiştir. Literatürde bu konu üzerine yapılan çalışmalar devam etmekle birlikte geliştirilen bu yaklaşımların iyileştirilmesi ve yeni algoritmaların geliştirilmesi de söz konusudur. Kapalı mekan konumlandırma sistemlerinde kullanılan yaklaşımların iyileştirilmesi hususunda, makine öğreniminden faydalanılması, farklı yaklaşımların hibrit entegrasyonu gibi farklı birçok yöneme başvurulmaktadır. Farklı algoritma ve yöntemlerin bir araya gelmesiyle pek çok farklı çalışma yapısına sahip literatür çalışmaları bulunmaktadır. Bu çalışmada, kapalı mekan konumlandırmada kullanılan sistemler derlenmiş ve bunlar ile ilgili yapılabilecek konular detaylandırılmıştır.

A RESEARCH ON INDOOR POSITIONING SYSTEMS

Key Words	Abstract
<i>Indoor Positioning, Signal, RSSI, Measurement</i>	Today, positioning technology takes an important place. Using the data received from satellites, GPS (Global Positioning Systems) is with us in most areas of our lives. GPS Technology works well in outdoor. However, when we consider the fact that satellite signals interact with walls, we observe that the issue of positioning in indoor areas is more complex than in outdoor or open areas. The need for indoor positioning services is increasing day by day. Today, different approaches have been developed in order to realize indoor positioning due to the distortion of satellite signals as a result of manipulation. In order to improve these approaches used in indoor positioning systems, many different methods such as the use of machine learning and hybrid integration of different approaches are used. There are many literature works with different working structures with the combination of different algorithms and methods. In this work, systems used in indoor positioning are reviewed.

Alıntı / Cite

Akleylek, S., Kılıç, E., Söylemez, B., Aruk, T.E., Çavuş Yıldırım, A., A Research On Indoor Positioning Systems, Journal of Engineering Sciences and Design, 8(5), 90-105

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

S. Akleylek, 0000-0001-7005-6489
E. Kılıç, 0000-0003-1585-0991
B. Söylemez, 0000-0001-7499-6689
T. E. Aruk, 0000-0002-5412-7731
A. Çavuş Yıldırım, 0000-0001-5012-1423

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	26.11.2020
Revizyon Tarihi / Revision Date	25.12.2020
Kabul Tarihi / Accepted Date	26.12.2020
Yayın Tarihi / Published Date	29.12.2020

* İlgili yazar / Corresponding author: ergun.aruk@ronesans.com,

1. Giriş (Introduction)

Günümüzde konumlandırma teknolojisi birçok alanda önemli yere sahiptir. Uydulardan elde edilen verileri kullanan GPS(Global Positioning Systems) hayatımızın çoğu alanında yer almaktadır. Bunlardan en sık duyduğumuz şüphesiz ki navigasyon teknolojisidir. Bunun dışında yüzey ölçümü, haritalandırma, izleme gibi konularda da kullanılmaktadır. GPS Teknolojisi açık alanda gayet düzgün çalışabilmektedir. Ancak uydu sinyallerinin duvarlar ile etkileşime girdiği gerçeğini göz önüne aldığımızda kapalı alanlarda konum bulma probleminin açık alandakine göre daha karmaşık bir durumdur.

Hastane, alışveriş merkezi, inşaat alanı gibi topluluk barındırma potansiyeli oldukça yüksek mekânlarda konumlandırma işlemi yapmak çoğu konuda insanlara avantaj sağlamaktadır. Örneğin devasa bir AVM'de alıp çıkmak istediğimiz tek parça ürünün bulunduğu mağazaya ulaşmaya çalışırken saatlerimizi aynı yerleri dönüp dolaşarak geçirmek istemeyiz. Bu gibi ek konforlardan ziyade daha kritik durumlarda da kapalı alanda konumlandırma konusu ilgilenmemiz gereken bir problemdir. Buna örnek olarak şu senaryoyu gösterebiliriz: Büyük bir alışveriş merkezinde çocukların kaybolması durumu. Bu durum hem çocuk hem de ebeveynler için travmatik bir deneyimdir. İşte bu ve daha birçok durum itibariyle kapalı mekânlarda konumlandırma günümüzde bir ihtiyaç haline gelmiştir. Dolayısıyla bu problem günümüzde aktif olarak üzerinde çalışılan konulardan biridir.

Ayrıca gün geçtikçe kapalı mekân konumlandırma servislerine olan ihtiyaç da artmaktadır. Ancak GNSS (Global Navigation Satellite System - Global Navigasyon Uydu Sistemi) sinyalleri duvarlardan geçerken çok zayıfladığından ya da hiç geçmemesi söz konusu olduğundan hala verimli bir çözüm ortaya konulamamaktadır (Xiao vd., 2018).

1.1. Kapalı Mekan Konumlandırma Hakkında (About Indoor Positioning)

1.1.1. Kapalı Mekan Konumlandırma Nedir? (What is the Indoor Positioning?)

Kapalı mekan konumlandırma, konumlandırma işleminin bir iç mekanda gerçekleştirildiği durumlardır. Kapalı mekan konumlandırma da diğer çözüm teknolojileri gibi içerisinde farklı problemler barındırmaktadır. Bu problemlere göre birçok kapalı mekan konumlandırma tekniğinden birini seçmek gerekmektedir.

Tekniklerin çözüm için uygunluğunun yanısıra farklı başarı kriterleri de mevcuttur. Bir mekan için hangi teknolojinin kullanılacağına karar verilirken bu kriterler dikkate alınmaktadır. Bu kriterler genel olarak şöyledir: Tutarlılık, ölçeklenebilirlik, güncellenebilirlik, uyumluluk ve maliyet. Her bir kriterin, farklı kapalı mekan konumlandırma teknolojisine göre avantaj ve dezavantajlı olduğu durumlar söz konusudur. Kapalı mekan konumlandırmada öne çıkan teknoloji çeşitleri şunlardır: Wifi, RFID (Radio Frequency Identification), Bluetooth Low Energy ve Ultra Wide Band.

1.1.2. Kapalı Mekan Konumlandırma Teknolojileri (Indoor Positioning Technologies)

IoT sistemleri birbirleri ile gerçek zamanlı olarak haberleşen cihazlardan oluşan sistemlerdir. İlk IoT örneği olarak kabul edilen olay bir kameralı sistem ve bilgisayarın haberleşmesiydi. 1991 yılında da Cambridge üniversitesindeki bir grup akademisyen, ortamda bulunan kahve makinesini görüntülemek isteyince ortama kahve makinesini göreceği şekilde bir kamera yerleştirdiler ve bu kameradan kahve makinesine dair elde ettikleri görüntüleri dakikada üç adet olmak üzere kendi bilgisayarlarına gönderdiler. Böylece ilk kez iki cihaz birbirleri ile gerçek zamanlı olarak haberleşmiş oldu.

1.1.2.1. Wifi Bazlı Kapalı Mekan Konumlandırma (Wifi Based Indoor Positioning)

Günümüzde artık hemen hemen her yerde wifi erişim noktası görmek mümkün. Bu sebeple wifi tabanlı kapalı mekân konumlandırma teknolojisinde alınan sinyal sayısı diğer teknolojilerdekine kıyasla çok fazladır. Bu sinyaller kullanılarak haritalar elde edilebilmektedir.

Düşünüldüğünde artık her binada bir wifi altyapısı mevcut. Dolayısıyla bir wifi tabanlı kapalı mekân konumlandırma sistemi oluşturulmak istendiğinde herhangi bir donanım altyapısı oluşturmak gerekmemektedir. Bu sebeple maliyet konusunda olumlu bir durum söz konusudur. Wifi sinyalleri uydu sinyallerinin aksine duvarlardan da geçebilmektedir.

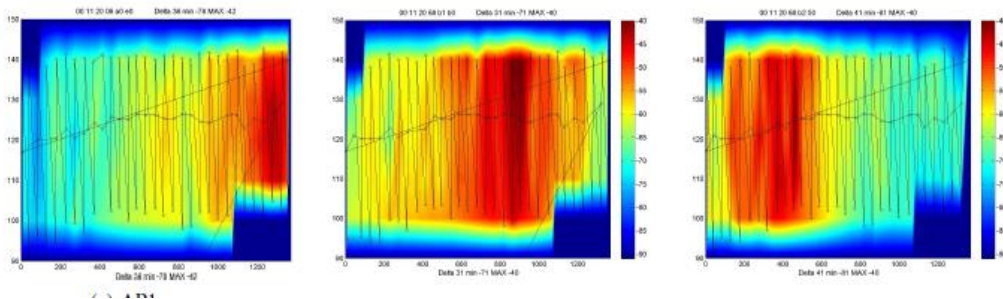
Wifi tabanlı kapalı mekân konumlandırmada sistemlerinde önemli olan sinyalin gücüdür. Bu tür konumlandırma sistemlerinin çalışma prensibi genel anlamıyla RSSI (Received Signal Strength Indicator) bir başka ifadeyle

alınan sinyal gücü göstergesine dayanmaktadır. Wifi tabanlı sistemlerde birçok noktada erişim noktası bulunması durumunu göz önüne aldığımızda bu erişim noktalarına gönderilen sinyallerin güç ölçümlerinde oldukça fazla örnek sayısı elde ederiz. Burada erişim noktalarına gönderilen sinyallerdeki güç kaybı erişim noktasının bağlamsal olarak aralarındaki uzaklık ile ters orantılıdır. Erişim noktası ve sinyal kaynağı cihaz arasındaki mesafe azaldıkça RSSI(sinyal gücü göstergesi) artmakta, mesafe arttıkça RSSI azalmaktadır. Wifi tabanlı sistemlerde genel anlamda güç kaybına dayalı bu mantıktan yola çıkarak algoritmalar oluşturulmaktadır. Örneğin: Google RSSI mantığının yanısıra IP adres konumlandırmayı da ilave ederek Google haritalar uygulamasını geliştirmiştir.

Wifi tabanlı sistemlerde erişim noktalarının sayılarının çok olması dışında bir diğer önemli avantajlı durum ise Wifi sinyallerinin duvarlardan geçebilmesi durumudur. Ancak duvarlar sinyalleri etkilediğinden her kapalı mekanın kendine özgü bir haritasının çıkarılması gerekmektedir. Bu kapalı mekân haritaları oluşturulurken "Wifi parmak izi"nden faydalanılmaktadır. Bu haritaların yapılarından çıkarım yapan bir sistem oluşturularak da konum bulma konusunda iyi çalışmalar gerçekleştirilebilmektedir (Tunca vd., 2014). Ayrıca bu çıkarımın yapılmasında makine öğrenmesi teknolojileri de kullanılabilir.

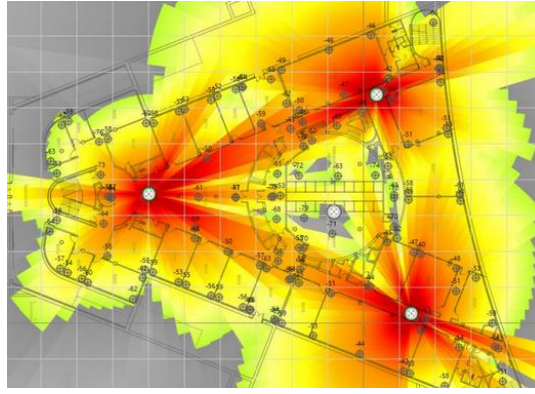
RSSI'e dayalı çözümlerde en çok kullanılan yaklaşım olan "parmak izi" yöntemi iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşama eğitim aşaması diğer aşama ise izleme aşamasıdır (Wen vd., 2011). Eğitim aşamasında elde edilen sinyal verileri üzerinde enterpolasyon gerçekleştirilerek veritabanında saklanır. Enterpolasyon, elde bulunan veriler ile yeni veriler üretilmesini sağlar. Enterpolasyon ile elde edilen verilerin aralığında yeni ve bilinmeyen bir değer tahmini olarak yaratılmaktadır. Hata payı da önemli bir etkidir. Bu yöntemle wifi tabanlı sistemlerde RSSI'e dayalı parmak izi çözümünün ilk aşamasında toplanan sinyal gücü bilgilerinden de yeni sinyal verileri elde edilmektedir. İzleme aşamasında konum veritabanında saklanan veriler bu örnek veriler ile karşılaştırılır. Sistemin doğruluk oranı örnekleme verilerinin sayısına da bağlıdır (Wen vd., 2011). Parmak izi yaklaşımı "iz eşleştirme" olarak da karşımıza çıkabilmektedir.

Yapılan çalışmalarda parmak izi, iz eşleştirme yaklaşımında enterpolasyon yöntemi kullanıldığı gibi regresyon da kullanılabilir. Regresyon, birden fazla değişkenin birbirleri ile olan ilişkisini ölçmek için kullanılan bir yöntemdir (Tunca vd., 2014). Wifi sinyallerinden elde edilen RSS (Receiver Signal Strength) başka bir deyişle alınan sinyal gücü değerleri kullanılarak radyo haritaları oluşturulmaktadır (Zegeye vd., 2016). Ortamın çevrimdışı sinyal gücü parmak izi, konum tahmini için çevrim içi sinyal gücü parmak izi ile karşılaştırılabilir.



Şekil 1. RSS Kullanılarak Elde Edilen Örnek Radyo Haritaları

Şekil 1'de alınan sinyal gücünden elde edilen verilerle oluşturulan bir kapalı mekan harita örneği gösterilmiştir. Wifi tabanlı konum belirleme sistemleri kısaca iki evreden oluşmaktadır. İlk evrede kullanıcıdan sinyaller toplanır ve bu sinyallerin RSS değerleri elde edilir. Daha sonra veritabanında kayıtlı bulunan değerler ile karşılaştırma yapılır. Bu karşılaştırmalardan konumla ilgili çıkarımlar yapılmaktadır.



Şekil 2. Wifi Parmak izi Örneği

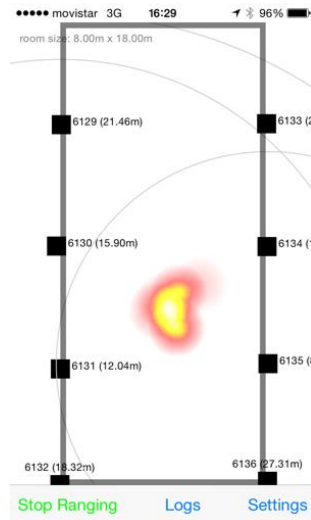
Wifi tabanlı konum belirleme sistemlerinde konumlandırma hassasiyeti santimetreden onlarca metreye çıkabilmektedir. Doğruluk oranı 5 – 15 metre arasından daha yüksektir. Kapsama alanı ise 150 metreye kadar çıkabilmektedir.

1.1.2.2. Bluetooth Bazlı Kapalı Mekan Konumlandırma (Bluetooth Based Indoor Positioning)

Kapalı mekan konumlandırmada kullanılan bir diğer teknoloji türü de Bluetooth teknolojisidir. Bluetooth teknolojisi aslında çok fazla enerji tüketen bir teknolojidir. Dolayısıyla kapalı mekan konumlandırma sistemlerinde “Bluetooth Low Energy” teknolojisi kullanılmaktadır. Bluetooth Low Energy teknolojisinin pil tüketim seviyesi çok düşüktür.

Bluetooth Low Energy, standart Bluetooth teknolojisine göre daha düşük bağlantı hızı sunsa da cihaz eşleştirmesi konusunda daha hızlıdır. Sistemlerin doğruluk oranı oluşturulan sistemin mimarisi ile ilişkilidir (Tsanga vd., 2015). BLE (Bluetooth Low Energy) teknolojisinin kapalı mekan konumlandırmada seçilmesinin en önemli sebeplerinden biri maliyet ve sinyal bozulmalarının az oluşudur (Tsanga vd., 2015).

BLE teknolojisi ile bir kapalı mekân konumlandırma sistemi oluşturulurken ilk aşama referans noktalarının kararlaştırılmasıdır. En doğru RSSI yayılım modelini bulmak adına bu aşama çok önemlidir (Jianyong vd., 2014). Diğer bir aşama ise gerçek zamanlı olarak RSSI, Türkçesiyle alınan sinyal güç göstergesindeki anormalliklerin tespit edilmesi ve düzeltilmesi işlemidir. BLE ile bir model oluşturulduktan sonra oluşturulan bu modelin gerçek mekân ile ilişkilendirilmesi gerekmektedir. Kapalı mekânda, model gerçekleştirildikten sonra BLE referans noktaları için aktif öğrenme süreci başlamaktadır. Aktif öğrenme sürecinde model üzerinde düzenlemeler gerçekleştirilmektedir. Wifi bazlı bu teknolojiye wifi sinyalleri kullanılırken BLE teknolojisinde beacon denen işaretler kullanılır. Bluetooth beaconlar, mesafeye bağlı olarak BLE teknolojisine sahip cihazların diğer cihazlara gönderdiği sinyallerdir. Bu sinyaller ile diğer cihazlara belirli bilgiler aktarılmaktadır. Cihazlar herhangi bir sinyal aldığı anda bu sinyalin gücünü ölçmektedirler (Jianyong vd., 2014). Wifi sinyalleri duvarlardan, nesnelere etkilenirken BLE beaconları başka bir ifadeyle sinyalleri de aynı şekilde bu etkenlerden etkilenmektedir. Aslında Bluetooth Low Energy teknolojisi konum algılamadan çok yakınlık algılama konusunda kullanılmaktadır.



Şekil 3. BLE Beaconları ile Oluşturulmuş Örnek Uygulama Isı Haritası

Şekil 3'te BLE beaconlarından elde edilen bilgiler ile oluşturulmuş bir ısı haritası ve bu beaconları yayan cihazın potansiyel olarak nerede bulunduğu bilgisi gösterilmiştir (Floreani, 2015). BLE teknolojisi için en belirgin örnek Apple'ın iBeacon ürünüdür. iBeacon konum tabanlı çalışan bir cihazdır. Belirli aralıklarla bluetooth sinyali yayarak bu sinyal aracılığıyla iBeacon ve alıcı cihaz arasındaki mesafeyi ölçülebilmektedir. Wifi bazlı kapalı mekan konumlandırma sistemleri santimetreden onlarca metreye kadar doğruluk oranına sahipken BLE teknolojisinde bu 1 ile 3 metre arasındadır. Kapasitesi ise 30 metreden daha düşüktür.

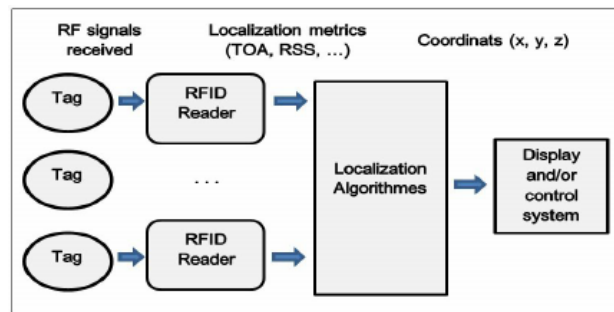
1.1.2.3. RFID Bazlı Kapalı Mekan Konumlandırma (RFID Based Indoor Positioning)

RFID teknolojisi radyo sinyalleri aracılığıyla veri taşıma amaçlı kullanılmaktadır. RFID sistemleri genellikle 2 parçadan oluşmaktadır. Bunlar RFID etiketi ve bu etiketin içerdiği bilgilerin alınmasını sağlayan okuyucu kısmıdır. BLE teknolojisine kıyasla daha maliyetli bir teknolojidir. RFID'lerde kendi içerisinde iki tür barındırmaktadır. Bunlardan biri aktif diğeri ise pasif RFID'dir. Pasif RFID'ler okuyucudan alınan radyo dalgalarını enerji olarak kullanılmaktadırlar. Aktif RFID'ler ise sinyal yayını yapmaktadırlar ve kendi güç kaynakları bulunmaktadır. Şöyle ki pasif RFID'ler, RFID etiketi okuyucunun kapsama alanına girdiğinde aktif hale geçerler ve okunan bilgiyi sinyalin vericisine aktarırlar. Aktif RFID'lerde ise işlemler ve haberleşme için ayrı bir enerji kaynağı mevcuttur. Pasif RFID'ler genelde küçük kapsama alanı bulunan çalışmalarda kullanılırken aktif RFID'ler büyük kapsama alanı olan çalışmalarda kullanılmaktadır. Pasif RFID'lerde kapsama alanı 4 metreye kadarken aktif RFID'lerde bu 100 metreye kadar çıkmaktadır.

Kapalı mekan konumlandırmada RFID teknolojisi şu şekildedir: Farklı bölgelere entegre edilen ve RFID etiketinden gelen sinyalleri okuyan okuyucular ve konumu belirten sinyalleri gönderecek etiketlerden oluşan bir sistemdir. Okunan sinyaller okuyucu tarafından, anlamlı çıkarımlar yapılmak üzere bir işlemciye gönderilmektedir. Aynı zamanda okunan bu bilgiler bir veritabanına kaydedilmektedir. Pasif RFID'ler aktif etiketlere göre daha az maliyette ve ağırlıktadır.

Kapalı mekan konumlandırma algoritmaları genel olarak iki yaklaşıma ayrılmaktadır. Bunlardan biri model tabanlı yaklaşım diğeri ise parmak izi tabanlı yaklaşımdır. Model tabanlı yaklaşımda geometrik modellere dayanarak bir konum bulma işlemi gerçekleştirilmektedir. Parmak izi yaklaşımında ise esas konu parmak izi eşleştirmesidir. İlk aşamada alınan sinyal gücünden elde edilen verilerden bir veritabanı oluşturulur. Kullanıcıdan bir sinyal alındığında ise bu veritabanındaki izlerle eşleştirme yapılır ve eşleşen konum bilgisi döndürülür (Zou vd., 2014).

RFID teknolojisi ile kapalı konumlandırma sistemi oluşturulurken farklı algoritmalar kullanılmaktadır. Bunlar üçgenleme ve referans etiketleri şeklindedir (Xu vd., 2017). Ancak kapalı mekân konumlandırma sistemlerinde bu algoritmaların yanısıra farklı algoritmalar da bulunmaktadır. RFID Teknolojisinin diğer teknolojilere göre avantajları parazit önleme durumunun olması, boyutunun küçük ve hafif olması, entegre edilebilirliğinin kolay olması şeklindedir. RFID teknolojisi ile sistem oluşturulurken RFID etiketi ve okuyucu olmak üzere iki parçaya sahip olduğunu belirtmiştik. Ayrıca bu parçaların haberleşmesini sağlayan bir de iletişim ağı vardır. Bu iletişim belirli RF protokolü ile gerçekleştirilmektedir. RFID teknolojisi kullanılarak oluşturulan sistemlerin doğruluğu 1 ile 2 metre arasında değişmektedir. Kapsama alanı ise 30 metreye kadar çıkmaktadır (Zou vd., 2014).



Şekil 4. RFID Blok Diyagram

Şekil 4'te RFID bileşenleri ile oluşturulmuş bir kapalı mekan konumlandırma sisteminin blok diyagramı görülmektedir. RFID etiketinden okunan veriler, RFID okuyucusu tarafından okunmaktadır. Daha sonra okuyucu aracılığı ile lokalizasyon algoritmasına gönderilmektedir. Bu algorithmandan elde edilen konum bilgisi ise gösterilmek üzere da kontrol edilmek üzere asıl sisteme verilmektedir (Belhadi vd., 2014).

RFID teknolojisinde alıcılar ve vericilerin doğrudan birbirlerini görmesi gerekmemektedir. ZigBee kısaca kısa mesafede veri aktarımında kullanılan bir kablosuz ağ standartıdır. ZigBee ile, küçük boyutlu verilerin

aktarımında gereksiz maliyetlerden, güç tüketiminden kaçınılmak amaçlanmıştır. Aynı zamanda karmaşık ağ tasarımı konusundan da kurtarmaktadır. RFID teknolojisinin diğer teknolojilere kıyasla avantajları olduğu gibi dezavantajları da mevcuttur. Örneğin günümüz cihazlarında RFID'ye dair sensörler bulunmaması bu dezavantajlardan biridir. Yine RFID teknolojisinde tek yönlü iletişim kanalları, kararsız sinyal gücü de dezavantajlardandır (Morais vd., 2017). RFID sistemler düşük ve yüksek frekansta çalışabilmektedir. Belirli bir sistemi oluşturmak için o sisteme en uygun frekans aralığı kullanılmaktadır. Örneğin anlık konum belirleme sistemleri için mikrodalga frekans aralığı kullanılmaktadır.

1.1.2.4. UWB (Ultra Wide Band) Bazlı Kapalı Mekan Konumlandırma (UWB Based Indoor Positioning)

UWB bir başka deyişle ultra geniş band teknolojisi, veri iletiminde yüksek bant genişlikli radyo frekansını kullanmaktadır. UWB teknolojisi ile az miktarda enerji tüketimi yaşanırken yüksek miktarda veri iletimi gerçekleştirilmektedir. Bu teknoloji ile kapalı mekan konumlandırma sistemi oluşturulmak istendiğinde referans ve hedef arasındaki mesafeyi bulabilmek için radyo frekans sinyallerinin varış zaman farkı (TDOA) üzerinden çıkarım yapılmaktadır (Alarifi vd., 2016). Varış zaman farkı kapalı mekân konumlandırmada kullanılan bir hesaplama algoritması biçimidir.

UWB sistemlerde doğruluk değeri diğer teknolojilere göre çok yüksektir. UWB teknolojisinde hata payının bu denli az olmasının en önemli sebebi parazitleri engelleyen bir mekanizmaya sahip olmasıdır. Parazitlenme, aynı frekans aralığının farklı uygulamalar tarafından paylaşılmasıyla ortaya çıkan bir durumdur. UWB sistemlerinde bu durumu önlemek adına frekanslar aynı olsa bile veri iletimi farklı güç seviyelerinde yapılmaktadır (Küçük, 2016).

Enerji tüketimi düşük ve kapsama alanı geniştir. Tüm bu avantajlı durumlar ise bu teknolojiyi diğer teknolojilere kıyasla çok daha maliyetli yapmaktadır. UWB bazlı kapalı konumlandırma sistemlerinde kapsama alanı 150 metreye kadar ulaşmaktadır. Hata oranı ise 0.1 – 0.3 metre arasında değişmektedir.

UWB sistemleri de RFID sistemler gibi etiketlere sahiptir. Bu etiketler, verici görevi görür ve UWB sinyalleri yayarlar. Ayrıca yayılan bu sinyalleri alan alıcılar da mevcuttur (Küçük, 2016). UWB sinyalleri duvarları aşabilecek durumdadırlar. Bu sebeple kapalı mekân konumlandırma sistemlerinde tercih edilebilir.

1.1.2.5. Ultrason Bazlı Kapalı Mekan Konumlandırma (Ultrason Based Indoor Positioning)

Ultrason tabanlı kapalı mekân konumlandırma sistemlerinde konum analizi yapmak için ses dalgaları kullanılmaktadır. Ultrason, insan kulağının duyamayacağı kadar yüksek frekansta yayılım yapan ses dalgalarıdır. Ultrason tabanlı sistemler otel, hastane gibi çok fazla odaya sahip binalarda BLE ya da Wifi teknolojisine göre çok daha verimli bilgiler sunar ve daha az altyapı gerektirir (Gifford, 2018). Ultrason sistemlerinde hesaplama algoritması olarak "Varış Zamanı" algoritması kullanılmaktadır. Ancak ultrasonik ses dalgalarının gücü duvarlardan geçmek için yeterli olmadığından kapalı mekândaki her bir odanın kendi sisteminin bulunması gerekmektedir (Ergen vd., 2017).

1.1.3. Kapalı Mekan Konumlandırma Sistemleri Başarı Kriterleri (Success Criterias of Indoor Positioning Systems)

Kapalı mekân konumlandırma sistemleri başarı kriterleri şu şekilde verilmiştir:

Hassasiyet: Hassasiyet, izlenen hareket halindeki birey için anlık konumun güncellenmesindeki hızı ifade etmektedir. İzlenen birey için konum da eş zamanlı olarak güncellenebiliyorsa sistem başarıya ulaşmış demektir.

Hız: Sadece kapalı mekân konumlandırma sistemleri için değil tüm bilişim sistemlerinde sonucun hızlı elde edilmesi gözle görülebilir başarı için çok büyük bir etkidir. Bir sistem ne kadar hızlı ise o kadar başarılı sayılmaktadır. Kapalı mekân konumlandırma sistemlerinde hız konusunda dengelenmesi gereken bir problem vardır. Başarılı bir konumlandırma sistemi için sistem hızının, izlenen bireyin kapsam aralığının dışına çıkma hızından daha büyük olması gerekmektedir. Aksi takdirde kapsama aralığının dışına çıkan birey için sistem bir daha çalışmayacak demektir. Aynı zamanda kapsama aralığındaki tespit darbesinin süresi ne kadar sık olursa bireyin algılanmaması ihtimali o kadar azalmaktadır. Ancak tespit işleminin sık sık, kısa aralıklarda gerçekleştirilmesi daha fazla işlem sıklığını ifade eder bu da daha fazla güç tüketimi demektir. Başarılı bir sistem için kapsama aralığına dahil bölgenin büyüklüğü, hız ve güç tüketimi durumlarının en optimal ve en dengeli şekilde konfigure edilmesi gerekmektedir.

Entegre Edilebilirlik: Kapalı mekân konumlandırma sistemlerinde, salt sisteme ek işlevler kazandırmak ya da mevcut işlevleri güçlendirmek amacıyla çeşitli entegrasyonlar gerçekleştirilebilmektedir. Verimli bir sistem, entegre edilmeye uyumlu olmalıdır.

Doğruluk: Sistemden elde edilen değerler ile gerçek konum değerleri arasındaki hata payı azaldıkça sistemin doğruluğu artmaktadır. Gerçek konum ve tahmini konum arasındaki mesafenin “Öklid mesafesi” kapalı mekan konumlandırma sistemlerinin doğrulunu ifade etmek için kullanılabilir (Alarifi vd., 2016). Öklid mesafesi, iki noktanın doğrusal uzaklığını ifade etmektedir.

Maliyet: Maliyet kavramı denince insan zihninde direkt olarak finansal durumlar çağrışım yapmaktadır. Ancak kapalı mekan konumlandırma sistemlerinde para önemli bir kriter olmakla birlikte zaman, enerji, kaplanan alan gibi durumlar da maliyet içerisindedir (Alarifi vd., 2016). Başarılı sistemler minimum maliyetlerde maksimum verim elde eden sistemlerdir.

Kapsama Alanı: Kapalı mekân konumlandırma sistemlerinde, sistemin erişebileceği alan ne kadar büyük olursa sistem o kadar verimli çalışıyor anlamı taşımaktadır.

Veri Boyutu: Veriler son kullanıcıya ulaştığında çok büyük boyutlu olmamalı ve olabildiğince süzülüş, anlamlı veri olarak kullanıcıya minimum ölçekte aktarılmalıdır.

Gizlilik: Kullanıcıların verilerinin toplanma, işleme ve saklanma işlemleri gerçekleştirilirken güçlü bir erişim kontrolünün olmasıdır.

Ölçeklenebilirlik: Sistemin büyüklüğünü etkileyen iki ana unsur vardır: Coğrafya ve kullanıcı sayısı. Bu iki unsurun boyutunda artış yaşandıkça sisteme müdahale ihtiyacının da aynı oranda artmaması başarılı bir sistemde olması gereken bir özelliktir (Alarifi vd., 2016).

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

2.1. Literatürdeki Örnek Çalışmalar (Case Studies of Indoor Positioning Systems)

2.1.1. Derin Öğrenme Kullanılarak Doğru ve Sağlam İç Mekan Konumlandırma (WiFi-based Accurate and Robust Indoor Localization System using Deep Learning)

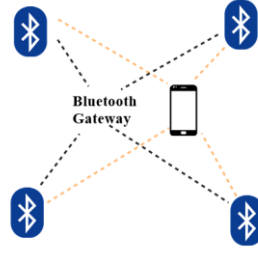
Yapılan bu çalışmada geliştirilen sistemin iki aşaması bulunmaktadır Bunlar: Çevrimdışı eğitim ve çevrimiçi konumlandırma aşamalarıdır. Çevrimdışı aşama sırasında sistem N parmak izi eğitim noktasına karşılık N adet derin sinir ağı oluşturulmaktadır. Bu her referans noktası için derin sinir ağı anlamına gelmektedir. Bu durum sistemin geniş mekanlarda ölçeklenmesi ve model boyutlarının küçük kalarak kolay eğitilmesi konusunda yardımcı olmaktadır (Abbas vd., 2016).

Eğitim verilerinin toplanması için imza toplayıcı modül konum, ilgili alanlardaki erişim noktaları (Access Point, AP) ve bu erişim noktalarına bağlı farklı parmak izi konumlarındaki sinyal güçlerini taramak için kullanılmaktadır. Yapılan ve toplanan bu ölçümler buluttaki WiDeep sunucusuna aktarılmaktadır. Ön işlemci modülü, wifi ölçümlerini derin sinir ağına kullanıma uygun şekilde formatlamak ve normalleştirmeler gerçekleştirmek için kullanılmaktadır. Ön işlemci tarafından işlenen veriler, wifi taramalarında yapay gürültüler aracılığıyla orijinal ölçümleri bozan “gürültü enjektör” modülüne gönderilmektedir. Gürültü enjektör modülü ile bozuk kablosuz kanallar simüle edilmektedir. Her parmak izi noktası için orijinal ve bozuk gürültülü veriler model eğitim modülüne girdi olarak verilmektedir. Model eğitim modülü, her parmak izi noktasına karşılık gelen yığılmış gürültü arındırıcı oto kodlayıcı derin modelin oluşturulması ve eğitilmesi işlemlerini gerçekleştirmektedir. Model eğitim modülü aşırı eğitimi engelleyerek modelin sağlamlığını da arttırmaktadır. Parmak izi konumları için eğitilen modeller çevrimiçi konumlandırma aşamasında saklanmak üzere depolanmaktadır (Abbas vd., 2016).

Online konumlandırma aşamasında konum tahmini için öğrenilmiş modeller kullanılmaktadır. Kullanıcının bilinmeyen konumundaki wifi taramaları, farklı derin modellere girdi olarak verilmektedir. En yüksek doğruluğa sahip konum tahmini için olasılıklar çerçevesinde yeniden yapılandırma benzerliği kullanılmaktadır. Yeniden yapılandırılan taramalarda, kullanıcının mevcut konumu yakınındaki parmak izi konumlarına ait girdi taramalarına daha yakın olacağı varsayılmaktadır. Uzak konumlar ise daha uzak olasılığa sahip olacaktır. Geliştirilen WiDeep sistemi iki farklı ortamda test edilmiştir. Testlerde Android cihazlar kullanılmıştır. Geniş ortam için en az %53, küçük ölçekli ortamda ise en az %29,8 oranında konum doğruluğu oranına sahip olduğu gözlemlenmiştir (Abbas vd., 2016).

2.1.2. Geliştirilmiş RSSI Mesafe Modeline Dayalı İç Mekan Konumlandırma Algoritması (Indoor Positioning Algorithm Based on the Improved RSSI Distance Model)

Geliştirilen sistemde Bluetooth teknolojisi kullanılmaktadır. RSSI kararsızlıklarının neden olduğu konumlandırma hatalarının azaltılması için Bluetooth ağ geçitleri üzerinden bu kararsızlıklar izlenerek kör düğümler tarafından elde edilen RSSI bilgileri üzerinde düzeltmeler gerçekleştirilmektedir (Li vd., 2018).



Şekil 5. RSSI düzeltmeleri ve Bluetooth düğümleri ile yapılan iç mekân konumlandırma diagramı

Şekil 5'te sistem modeli görülmektedir. Burada Bluetooth düğümleri Bluetooth ağ geçidi ve mobil terminal ile iletişim halindedir. Bluetooth ağ geçidinin konumu isteğe bağlı olacak şekilde en az bir adet Bluetooth ağ geçidi ile iletişim gerektirmektedir. Yapılan çalışmada öncelik olarak bağlantı düğümleri ve Bluetooth ağ geçitleri yerleştirilmektedir. Bluetooth ağ geçitleri tarafından sistemdeki düğümlerin gerçek zamanlı sinyal güçleri ölçülerek sunucuya aktarılmaktadır. Sunucuda her bir düğüm için ortalama sinyal gücü kaydedilmektedir. Kör düğümler için ise ölçülen sinyal güçleri sunucuda belirli bir formül üzerinden düzeltilmektedir. Düzeltileen RSSI değerleri Kalman filtresi ile yumuşatılmaktadır. Eldeki RSSI değerleri PSO-BPNN (Particle Swarm Optimization – Back Propagation Neural Network) modeli ile mesafe bilgisine dönüştürülmektedir. Kör düğüm konumlarının bulunması için de en küçük kareler algoritması kullanılmaktadır (Li vd., 2018).

Mobil cihazın konum tahmininde kullanılan en küçük kareler yönteminin yapılan gözlem ve testlere göre geliştirilebilecek ve iç mekân konumlandırma sistemlerinde gereksinimleri karşılayabilecek nitelikte olduğu çıkarımı yapılmıştır. Yapılan bu çalışmada Bluetooth konumlandırma teknolojisinin yüksek hassasiyetle sürekli konum tahmini üretme konusunda dezavantajlı olduğu görülmektedir. İleriki aşamalar için ise bu dezavantajlı durumun düzeltilebilmesi için birden fazla sensör kullanılarak geliştirme sağlanabilir (Li vd., 2018).

2.1.3. Mobil Cihazlar için Wifi RSS Parmak izi İç Mekan Konumlandırma (WiFi RSS Fingerprinting Indoor Localization for Mobile Devices)

Konum hesaplama, matematiksel modelleme yöntemleri ile gerçekleştirilebilen bir işlemdir. Birden fazla erişim noktası gibi referans noktalarından mesafeler ölçülerek gerçekleştirilebilmektedir. Sistem RSSI parmak izi tabanlı Wifi konumlandırma sistemidir. Çevrimdışı şekilde ölçülen RSSI değerleri kullanılarak radyo haritaları oluşturulmaktadır. Sonrasında bu radyo sinyalleri tersine kullanılarak konum tahmini gerçekleştirilmektedir. Sistem açık kaynaklı ve geniş kullanıcı kitlesine sahip olması sebebiyle Android üzerinden geliştirilmiştir. Radyo haritaları SD karta kaydedilmektedir. Android platformda geliştirilmiş uygulama ile SD karttaki bu radyo haritaları kullanılarak kullanıcının konum hesaplaması gerçekleştirilmektedir. Bu uygulama ile Wifi RSSI verileri taranmaktadır.

Zegeye ve ekip arkadaşları tarafından geliştirilen bu sistemde iki kategori bulunmaktadır. Bunlardan ilki çevrimdışı toplanan verilerin etiketlenerek eşlenmesi aşamasıdır. Bu aşamada Wifi RSS parmak izine göre ortamın radyo haritası oluşturulmaktadır. İkinci aşama ise konum tahmininin gerçekleştirilmesidir. Sistemde beaconlar ya da belirli özellikler kullanılmamaktadır. Çevrimdışı toplanan Wifi RSS değerlerinden oluşturulan radyo haritaları sonrasında çevrimiçi bir aşama olan ters fonksiyon tarafından çözümlenme gerçekleştirilir. Tahmini konum bu fonksiyon tarafından hesaplanmaktadır (Zegeye vd., 2016).



Şekil 6. Konum Tahmini Akış Özeti

Şekil 6'da konum tahmin prosedürü gösterilmektedir. İstemci-sunucu mimarisinde, radyo haritaları C++ ile geliştirilmiş ve hızlı hesaplama için GNU GSL matris kütüphanelerini kullanan sunucu bulunmaktadır. Konum tahmini için bir istek gönderilmek istendiğinde geliştirilen Android uygulama üzerinden socket aracılığıyla Sunucuya XML formatlı RSS ölçümü gönderilmektedir. Sunucu tarafında bu XML dosyası çözümlenmektedir. Sonrasında şekil 6'da görülen konumlandırma algoritması çalıştırılarak tahmini bir konum üretilmektedir (Zegeye vd., 2016).

2.1.4.LTE (Long Term Evolution) Ağında Parmak İzi Tabanlı Genetik Algoritmalarla Dayalı İç Mekan Konumlandırma (Indoor Positioning Based on RSS Fingerprinting in a LTE Network: Method Based on Genetic Algorithms)

Parmak izi yaklaşımı iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşama eğitim olarak adlandırılan bir eğitim aşamasıdır. Bu aşamada belirli pozisyonları temsilen parametreler toplanmaktadır. Toplanan bu parametreler konumlar ile birlikte veri tabanında tutulmaktadır. Bunlar eşleme tabloları ve radyo haritaları şeklindedir. İkinci aşama ise konumlandırma ya da test olarak adlandırılan çevrimiçi fazdır. Burada gerçek konumlandırma işlemleri gerçekleştirilmektedir.

Radyo haritalarının daha iyi tanımlanması için kapsama boşluklarının en aza indirilmesi gereklidir. Kapsama boşlukları, çevrimdışı fading ayrılık noktalarının koleksiyonu olan örneklendirilmiş pozisyonlar tarafından oluşturulmaktadır. Sembolik regresyon, genellikle genetik algoritmaların kullanıldığı genetik programlama ile uygulanmaktadır. Genetik algoritmalar en yakın RSS parmak izini bulmak için kullanılmakta ve WiFi erişim noktalarının konumlarının tahmin edilmesine ilişkin problemleri çözmektedir.

Yapılan çalışmada sinyal davranışlarından olan çok yönlü yayılma, solma ve diğer durumlar dezavantajlardandır. Bu etkilerden kaynaklanan hatalar, RSS miktarı arttıkça etki bakımından azaltılabilmektedir. Bu ise daha fazla baz istasyonuna ihtiyaç duyulması durumunu oluşturmaktadır (Lembo vd., 2014)

Sistemde çevrimdışı fazda örneklenmiş konumlar için RSS bilgileri toplanmaktadır. RSS bilgileri kullanıcı terminalleri tarafından algılanabilen baz istasyonlarından yayılan sinyallerdir. Veriler, ortalama değer olarak toplanmakta ve kümelenmektedir. Sonrasında seçilen yöntemlere göre koordinat eşlenmesi gerçekleştirilmektedir. Veritabanında saklanan radyo haritaları parmak izi eşleşmesine dayanan yöntem için kullanılmaktadır. Sinir ağı uygulama yöntemleri için bu veritabanındaki örnekler ile sinir ağı eğitilmektedir. Genetik algoritma tabanlı yöntemde örnekler algılanan baz istasyonu başına bir sinyal gücü yüzeyi oluşturmak için kullanılmaktadır. Her sinyal gücü yüzeyi, koordinatları RSS değerine eşleyen işleve sahiptir (Lembo vd., 2014)

Sinyal güç yüzeyleri oluşturulduktan sonra genetik tabanlı yöntemde RSS grubu ile birlikte kullanılmaktadır. Sonrasında ise konum için farklı yöntemler üzerinden çıktı sağlanmaktadır. Baz istasyonu arttıkça konum tanımlama çözünürlüğü artmaktadır. Konum tahmini için optimizasyon değişkenlerinin (x, y) ürettiği sonuçlardan minimum maliyetli olan aranmaktadır. Çalışmanın sonuçlarında genetik algoritma ve sinir ağı yöntemlerinin performansı gözlemlenmiştir. Genetik algoritma düşük yüzdeler için daha iyi iken %55'ten sonrası için NN daha iyi sonuçlar vermiştir. Bunun sebebi baz istasyonu sayısı azaldıkça genetik algoritmanın da performansının düşmesidir (Lembo vd., 2014). En küçük kareler yöntemi yardımıyla konu tespiti yapana çalışmalar mevcuttur (Cengiz, 2020).

2.1.5.Zigbee Standartlarına Dayalı RSSI Ölçümü ve Kablosuz Sensör Ağı Kullanarak İç Mekan Konumlandırma (Indoor Localization System Using Rssi Measurement of Wireless Sensor Network Based on Zigbee Standard)

Sensör taraflı uygulamada, sistemde sensörlerin gözlem açısında bulunan hedeflerin konum tahmini hedeflenmektedir. Kablosuz bir cihaz olan hedef düğüm, alınan sinyaldeki güç ölçümünü gerçekleştiren en az 3 sensör düğümüne paket göndermektedir. Sistemde birden çok hedef varsa her hedef gönderdiği paket içerisinde kendi kimliğini barındırmaktadır. Paket alımından sonra sensörler RSSI değerini ölçmektedir. Sonrasında ise verilerden hedef pozisyonu hesaplayan kısma bir başka ifadeyle tüm sensör düğümlerinden gelen veriyi işleyen kısım olan alıcı düğümüne aktarılmaktadır (Sugano vd., 2006)

Verinin toplanması aşamasında, sensörler düğümleri hedef düğümlerden paketleri toplayarak RSSI değerlerini mesafe bilgisine dönüştürmektedir. Her pakette hedef düğümün kimliği ve paket numarası bulunmaktadır. Paket okunarak hedef düğümün ID'si, paket numarası ve sensör ile hedef arasındaki mesafe bilgileri alınmaktadır. Sonrasında ise alıcı düğümüne bu bilgiler aktarılmaktadır. Bilgiyi aktarmadan önce ek olarak bu bilgileri gönderen sensörün kimliği de eklenmektedir. Alıcı düğümde konum hesaplanırken "maksimum olabilirlik"(ML) yaklaşımı kullanılmaktadır. ML yaklaşımı kullanılarak elde edilen konum tahmini minimum ortalama kare hatası (MMSE) yöntemi kullanılarak üretilir. Bu yöntem en az üç adet düğümüne ihtiyaç duymaktadır.

Toplanan veri miktarı sonucun doğruluğu açısından etkilidir. Belirli bir doğruluk payının elde edilmesi için gerekli veri miktarının belirlenmesi önemlidir (Sugano vd., 2006). Üretilen konum bilgisinin doğruluğu beklenenden düşük ise veri sayısında artırma gidilebilir.

Oluşturan sistem ağı ZigBee standartlarına göre iletişim kurmaktadır. Sistem belirli sayıdaki sabit sensör düğümlerinden gelen veriyi kullanarak konum tahmini yapmayı hedeflemektedir. Sistemde iki adet mesaj türü kullanılmaktadır. Bunlardan biri ölçüm talebi diğeri ise sinyal alım raporudur. Ölçüm talebi bir düğümden sensör düğümlerine gönderilen ve düğümdeki sinyalin ölçümünü talep etmek için kullanılan bir mesaj türüdür. Ölçüm talebi mesajının hangi düğümden gönderildiğini anlamak için bir sıra numarası eklenmektedir. Alınan sinyal raporu mesajı ise sensör düğümü tarafında ölçülen RSSI değerinin alıcı düğüme rapor edilmesi için kullanılmaktadır. Alınan sinyal raporu mesajında hedef kimliği ve sıra numarası bilgileri yer almaktadır. Sistemin konum tahmin doğruluğunun tespiti için deney ortamlarında testi gerçekleştirilmiştir. Sınırlı hedef ve sensör sayısı sebebi ile sistem doğruluğuna etki eden RSSI verilerinin sayısı yüksek olmamıştır. Bu sebeple pratikte alınacak sonuç konusunda net bir yargı bulunmamaktadır (Sugano vd., 2006).

2.1.6. Mobil Cihazlarla İç Mekan Konumlandırma (Indoor Positioning with Mobile Devices)

Oldenburg ve ekip arkadaşlarının yaptıkları bu çalışmada ön aşama olarak çeşitli iç mekan konumlandırma tekniklerini araştırılmıştır. Sonrasında ise geliştirilen sistem iki farklı bölümden oluşmaktadır. Bunlar istemci ve back-end taraflarıdır (Oldenburg vd., 2016). Back-end bir başka deyişle arka uç kısmı kendi içinde üç bölüme ayrılmaktadır. Geliştirilen sistemde back-end kısmında bir RESTful API oluşturulmuştur. Bu API istemciler arka taraf ile JSON formatlı olarak iletişime geçmelerini sağlamaktadır.

Sistem mimarisinde arka plan ile iletişim kuran iki farklı istemci uygulaması mevcuttur. Back-end kısmında veriler, mongoDB veritabanında tutulmaktadır. Projenin entegre edilebilirlik düzeyini uygun tutabilmek için back-end kısmı nodejs ile geliştirilmiştir. Dosya yapısı ise denetleyiciler, yönlendirmeler, modeller, ara katman ve testler olmak üzere beş bölümden oluşmaktadır. Denetleyiciler API uç nokta istekleri için kullanılmaktadır. Yönlendirmeler ile uç noktalar denetleyiciye bağlanmaktadır. Modeller ise mongoDB veritabanındaki verileri şematize etmektedirler. Arak atman yazılımı ile kimlik doğrulamalar gerçekleştirilmiş, testler ise önemli denetleyiciler üzerinde uygulanmak üzere kullanılmıştır (Oldenburg vd., 2016).

Kullanıcının konumu bir arka plan servisi üzerinden gerçekleşmektedir. Arka planda çalışan bu servis, her 15 saniyede bir olmak üzere "LocationSharingSingleton" adlı nesneyi back-end sunucusuna göndermektedir. En doğru konumun bulunması manuel olarak tespit edilen koordine ve kat bilgilerinin ardından beacon tanımlayıcı tarafından bölge tanımlanmasının yapılması şeklindedir.

LocationSharingSingleton'da tutulan beacon ve bilgiler "Estimote" beaconları ve çıkartmaları tarafından elde edilmektedir. Toplanan tüm beacon ve çıkartmalar dahili Beacon sınıfında tutulmaktadır. En yakın beacon en iyi sinyal gücüne (RSSI) sahip olarak seçilmektedir. Sonrasında bu beaconlar "LocationSharingSingleton" nesnesinde tutulmaktadır. Çalışmada konum işaretlenmesi için tanımlanan bağlantı noktaları ve sınırlarına kat planı uygulanmıştır. Kat planının uygulanması için Apple tarafından geliştirilmiş MKOverlay kullanılmaktadır.

2.1.7. RSSI Tabanlı Düşük Bluetooth Enerjili İç Mekan Konumlandırma (RSSI Based Bluetooth Low Energy Indoor Positioning)

Jianyong ve ekip arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada Android işletim sistemi kullanılmıştır. Bunun için Android platform üzerinde bir istemci ve sunucu yazılımı geliştirilmiştir. Geliştirilen istemci yazılımı Bluetooth cihazları ile iletişim kurmaktadır. Gelen sinyaller üzerinden RSSI değerinin hesaplanmasından ve verilerin sunucu yazılımı tarafında aktarılmasından sorumludur. Sunucu tarafı uygulama, mobil cihaz üzerinde çalışan istemci yazılımından verileri almaktadır. Meta veriler, veritabanına kaydedilmektedir. Sonrasında ise bu bilgiler üzerinden koordinat hesaplamaları gerçekleştirilmektedir.

Sunucu, RSSI listelerini almaktadır ve ara hesaplamalar gerçekleştirmektedir. RSSI değerleri kararsız yapıda olduğundan işlenmeden önce filtreleme işlemi gerçekleştirilmektedir. Çalışmada üç farklı filtreleme yöntemi gerçekleştirilmiştir. Bunlar: Mod, medyan ve tek yönlü aykırı değer çıkarmadır (SDOR). Mod yönteminde, her RSSI değeri sayılmakta ve maksimum tekrar eden RSSI kullanılmaktadır. Medyan yönteminde tüm RSSI değerleri sıralanmakta ve orta RSSI değeri kullanılmaktadır. Tek yönlü aykırı değer çıkarma yönteminde son gelen 10 RSSI değeri üzerinden bir eşik değeri hesaplanmaktadır. Bu eşik değerinin altındaki RSSI değerleri ise kaldırılmaktadır (Jianyong vd., 2014).

Kullanılan trilaterasyon ve koordinat hesaplama yaklaşımında beaconlar, bir iç mekana yerleştirilmiştir. İstemci uygulamasının yüklü olduğu akıllı cihaz oda etrafında dolaşmaktadır. Ölçülen RSSI değerlerinin bulunduğu liste

her saniye sunucu tarafa aktarılmaktadır. Beaconlar iç mekana altıgen şeklinde yerleştirilmiştir. Böylece 8 adet üçgen trilaterasyon yöntemi incelenmiştir. Teorik olarak akıllı telefonun her bir beaconsa olan mesafesi doğru şekilde tanımlandığında cihaz için doğru koordinatlar elde edilmiş anlamına gelmektedir. Beaconlar için 8 adet üçgen bulunduğundan 8 olası koordinattan birinin alınması gerekmektedir. Bunun için bu 8 noktanın ağırlık merkezinin bulunması amaçlanmaktadır. Bu ağırlık noktasının bulunması için ağırlık merkezi algoritması (COG) uygulanmaktadır. Elde edilen sonuçlarda COG algoritmasının çok kötü sonuçlar verdiği ve sonuç olarak gösterilen konumun genellikle odanın dışında bir nokta olduğu gözlemlenmiştir. Sistemde kullanılan geri bildirim filtrelemenin ise oldukça iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Geri bildirim filtreleme yönteminde RSSI değerleri belirli bir katsayıya tabi tutulmakta ve değeri yumuşatılmaktadır. Bir başka deyişle her bir RSSI değeri katsayı aracılığı ile belirli bir değere yakınsanmaktadır. Sonuç olarak sisteme oldukça etki eden RSSI filtreleme yöntemlerinden geri bildirim filtrelemenin en iyi filtre olduğu gözlemlenmiştir (Jianyong vd., 2014).

2.1.8. Bluetooth Kapalı Mekan Konumlandırma Sistemi (Bluetooth Indoor Localization System)

Konumlandırma genellikle üçgenleme olarak da adlandırılan trilaterasyon yöntemine dayanmaktadır. Bu yöntem ile bilinmeyen bir noktanın bilinen üç noktaya olan mesafeleri ölçülmektedir. G. Fischer ve arkadaşlarının gerçekleştirdikleri bu uygulamada elektromanyetik dalgaların yayılım süresi ölçülmektedir. İki durum arasındaki mesafe bu yayılım süresi ile ışık hızının çarpımından elde edilmektedir. Yayılım süresinin ölçülebilmesi için söz konusu vericinin başlangıç zamanı ve alıcı ile senkronize olmasını gerektiren TOA (Time of Arrival) bilgileri gereklidir.

Sistemde sinyallerin yayılım süresi ölçülmektedir. Bu sebeple G. Fischer ve arkadaşlarının yaptığı bu çalışmada iç mekân konumlandırma bazında sinyallerin davranışları sebebiyle önemli bir sorun bulunmaktadır. Projede radyo sinyallerinin çok yönlü yayılması önemli bir problem teşkil etmektedir. Sinyallerde gözlenen çok yönlü yayılma sinyallerin iletişimi konusunda önemli rol oynamaktadır. Bu etki sinyalin gücünü zayıflatmaktadır ve nanosaniyeler boyutunda gecikmelere sebep olmaktadır. Düşük görüş hattının (LOS) bulunduğu sistemlerde bu durum önemli bir etkiye sahiptir (Fischer vd., 2004).

Projedeki ana düşünce, sabit mobil baz istasyonlarına gönderilen sinyallerin varış zaman farklarından (TDOA) yararlanmaktır. Bu sistemde dört adet baz istasyonu bulunmaktadır. Varış zamanı farkı yönteminin (TOA) tersine ölçüm farkı kullanılmasında senkronizasyon gerekli değildir (Fischer vd., 2004).

Sistemde konum tahmininde doğruluğun sağlanması için nanosaniyeler boyutunda zaman ölçümü gereklidir. Bu ise yaklaşık 3 nanosaniyedir. Herbir sabit zaman ölçüm istasyonu, Bluetooth modülü, özel kolerasyon devresi ve tüm bileşenler arasındaki veri aktarım sürecinden sorumlu mikrodenetleyiciden oluşmaktadır. Tüm zaman ölçüm istasyonları, ana yazılım uygulamasının çalıştığı sunucu bilgisayara kablolu/kablosuz olacak şekilde bağlanmaktadır.

Sistem hassasiyetinin ± 1 metre olması amaçlanmıştır. Sistemde mobil cihazlar kullanılması sebebiyle ek donanıma ihtiyaç duyulmadan Bluetooth keşfinin yapılabilmesi bu çalışmanın en büyük avantajlarından biri olarak değerlendirilmektedir. Sistemde varış zaman farkından yararlanılması nedeniyle yapılan bu çalışmada sinyallerin iletiminde kullanılan radyo kanalı için görüş hattının bulunması gereklidir. Sistemde tam işlevsellik için Bluetooth taşıyıcılarının harici demülatör çıkışına sahip olması gereklidir. Fakat bu modern Bluetooth taşıyıcılarında genellikle bulunmamaktadır. Bu ise sistemin dezavantajlarından biridir (Fischer vd., 2004).

3. Materyal ve Metod (Material and Methods)

3.1. RSSI

RSSI (alınan sinyal güç göstergesi) ile oluşturulan algoritmanın mantığı çok basittir. Alıcıya gelen sinyaldeki güç kaybı ile sinyali yayan vericinin alıcıya olan uzaklığı arasında ilişkilendirilme yapılmaktadır. En temel mantık olarak şu çıkarımdan bahsedilmektedir: Sinyaldeki güç kaybı ne kadar çoksa verici ve alıcı arasındaki mesafe de o kadar çoktur. RSSI ölçümleri, sinyalin yayılma sürecindeki güç kaybını hesaplarken "sinyal yayılım modeli"ni kullanmaktadır. Bu yayılım modelleri logaritmik formüllerle ifade edilebilmektedir (Zheng vd., 2011).

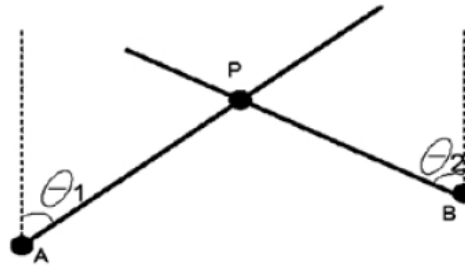
RSSI için logaritmik ifadelerden bağımsız, daha yalın bir formül incelenecek olursa şu formüle bakılabilir:

$$P_{rcvd} = c \frac{P_{tx}}{d^a} \leftrightarrow d = \sqrt[a]{\frac{cP_{tx}}{P_{rcvd}}} \quad (1)$$

Eşitlik 1’de; P_{rcvd} alınan sinyal gücünü, P_{tx} verilen sinyal gücünü, c yol kaybını, d alıcı ve verici arasındaki mesafeyi, a ise yol kaybı faktörünü göstermektedir (Doughangi, 2017). Formülde RSSI yaklaşımı ile mesafe üzerindeki çıkarım şöyle yapılmaktadır. Yol kaybı ve verilen sinyalin gücü çarpılır ve alınan sinyal gücüne oranlanır. Yol kaybı hesaba katılarak bulunan verilen sinyalin alınan sinyale oranının yol kaybı faktörünün kökü alınır. Bu değer ise alınan ve verilen sinyal kaynakları olan alıcı ve verici arasındaki mesafeyi belirtmektedir.

3.2. Üçgenleme (Triangulation)

Üçgenleme metodu, iki referans noktası arasındaki mesafe bilinirken her bir referans noktasından hedefe doğru olan açıları da hesaba katarak hedefin bu referans noktalarına olan uzaklığı ve konumu hakkında çıkarım yapıldığı yöntemdir. Üçgenleme metodunda konumun tespiti için 2 veya 3 referans noktası kullanılmaktadır. Konum tespitinde 2 ya da 3 nokta kullanılması üçgenleme teknolojisinin düşük maliyetli bir yöntem olduğunu göstermektedir. Ancak büyük ölçekli mekânlarda çok fazla referans noktasının olması bulunan konum bilgisinde kararsızlık yaratabilir. Aynı zamanda büyük ölçekli mekânlar için bu yöntemin alt donanımını kurmak karmaşık ve maliyetli olabilir (Sakpere vd., 2017). Bu sebeple büyük ölçekli mekânlar için bu teknik tercih edilmez. Üçgenleme teknolojisinde geliş açısı bilgisinden faydalanılmaktadır.

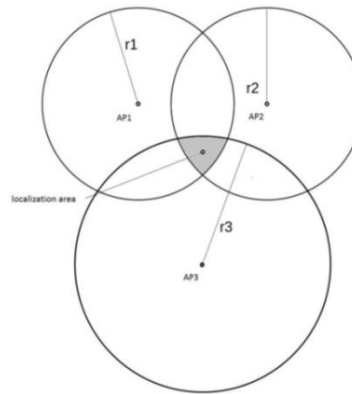


Şekil 7. Üçgenleme Algoritma Yapısı

Şekil 7’de de görüldüğü gibi A ve B referans noktası iken P hedefi temsil etmektedir. 1 ve 2 ise referans noktasından hedefe olan geliş açısıdır. Üçgenlemede alınan sinyallerin zaman farklılıklarından yararlanılmaktadır (Sakpere vd., 2017).

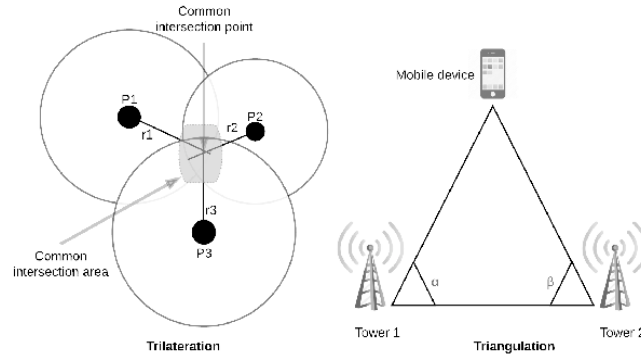
3.3. Üçgenleştirme (Trilateration)

Üçgenleştirme metodunda referans noktasının sayısı minimum 3 olmalıdır. Üçgenlemeden daha yaygın şekilde kullanılmaktadır. İki boyutlu bir dünyada referans noktası minimum 3 olmalı iken, 3 boyutlu dünyada bu değer 4’tür. Üçgenleştirme metodunun temel mantığı birçok dairenin kesişim noktasını bularak konum hakkında çıkarım yapmaktır.



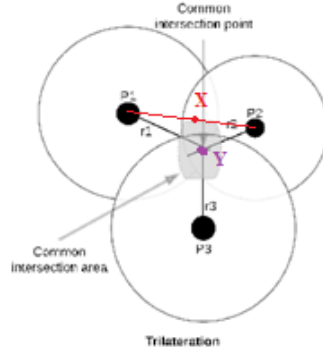
Şekil 8. Üçgenleştirme Algoritma Yapısı

Şekil 8’de üçgenleştirme metodunun mantığı ile ilgili bir görsel mevcuttur. 3 adet referans noktasının belirli bir yarıçapla oluşturulmuş dairelerinin kesişim noktası “tahmini konum” değerini vermektedir.



Şekil 9. Üçgenleştirme ve Üçgenleme Algoritmaları

Şekil 9'da üçgenleştirme ve üçgenleme metodları bir arada görülmektedir. Üçgenleme metodunda açılar ön plandadır ve bu açılar üzerinden hedef cihazın konumu tespit edilir. Üçgenleştirme teknolojisinde ise mesafeler üzerinde çalışılmaktadır. Şekil 8'deki P1 referans noktası ve P2 referans noktasının tam ortasından biraz aşağıda bulunan hedef için bu iki referans noktasının kesişimi aşağıdaki gibidir.



Şekil 10. Üçgenleştirme Yönteminde 2 Nokta Kesişimi

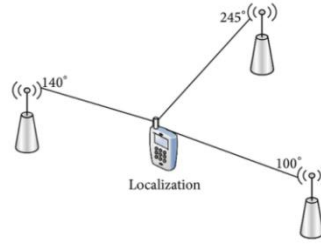
Şekil 10'da P1 ve P2'nin kesişimi X ile temsil edilmiştir. Ancak hedefimiz Y noktasındadır. Bu sebeple P3 noktasından da yararlanır. P3 ve P1, P2'nin kesişim noktasının da kesişim noktası alınarak asıl konum bulunmaktadır. Üçgenleme'de ise referans noktalarından gelen açıların kesiştiği nokta esas konum olarak kabul edilmektedir.

3.4. Varış Zamanı (Time of Arrival)

Kapalı mekan konumlandırma sistemlerinde alıcı ve verici arasındaki mesafenin hesaplanmasında vericiden alıcıya gelen sinyalin gelme süresi kullanılmaktadır. Vericiden alıcıya gelen sinyaldeki gecikme süresi ve sinyalin hızı çıkarım yapmak için kullanılan parametrelerdendir (Özdemir vd., 2014). Varış zamanı algoritmasının kapalı mekan konumlandırma için avantajlı olmasının sebebi herhangi bir görüş hattına ihtiyaç duymamasıdır. Bazı algoritmalar ve teknolojilerde alıcı ve vericinin birbirlerini doğrudan görmesi gerekmektedir. Bu sebeple birçok duvar içeren herhangi bir kapalı mekanda doğrudan görme hattı zorunluluğu içermeyen bu algoritma verimli şekilde kullanılabilir.

3.5. Varış Açısı (Angle of Arrival)

Varış açısı algoritmasında, bir vericiden alıcıya ulaşan sinyalin referans noktası (alıcı) ile yaptığı açı esas alınmaktadır. Ancak bunun için açı hassasiyeti bulunan cihazlar gerekmektedir bu sebeple de bu yöntemin maliyeti fazladır. Alıcılar ve verici cihaz arasında oluşan en az 3 adet açının kesişim noktası bulunduktan sonra konum tahmini yapılmaktadır.

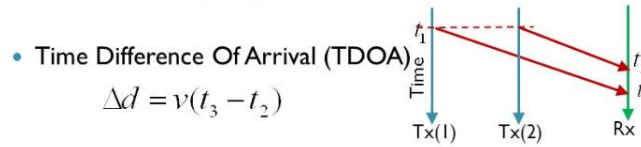


Şekil 11. Varış Açısı Örneği

Şekil 11’de görüldüğü üzere merkezdeki cihaz ile 3 adet referans noktası arasında sinyallerin oluşturduğu açı değerleri mevcuttur. Bu açıların kesişimleri ile üçgenel bir yapı elde edilir.

3.6. Varış Zamanı Farkı (Time Difference of Arrival)

Varış zamanı farkı aslında varış zamanı ile benzer metodolojiye sahiptir. Varış zamanında alınan sinyalin hızı ve gecikme süresi üzerinden bir çıkarım yapılmaktadır. Varış zamanı farkında ise vericiden gelen sinyallerin farklı referans noktalarına ulaşma sürelerindeki fark üzerinden konum hesabı yapılmaktadır (Özdemir vd., 2014).



Şekil 12. Varış Zamanı Farkı Hesabı

Şekil 12’de görüldüğü gibi varış zaman farkı algoritmasında, fizikteki en temel formüllerden olan yol = hız*zaman formülü işlenmektedir. Delta d başka bir deyişle iki referans noktası arasındaki uzaklık farkı, sinyal hızı*varış zamanı farkından hesaplanmaktadır. Sinyal iki farklı referans noktası tarafından alındığında varış zamanı farkı, hedef ve 2 farklı referans noktası arasındaki mesafelerin farkını verebilmektedir.

4. Araştırma Bulguları (Results)

Kapalı mekan konumlandırma sistemlerinde en yaygın teknolojiler şu şekildedir: Wifi tabanlı, Bluetooth tabanlı, RFID tabanlı, UWB tabanlı konumlandırma.

Tablo 1. Kapalı Mekan Konumlandırma Teknolojilerinin Karşılaştırılması

Metrik	WIFI	RFID	BLE	UWB
Hata Payı	5 - 15m	1 - 2m	1 - 3m	0.1 - 0.3m
Kapsama Alanı	150 metreye kadar	Pasif: 4 metreye kadar Aktif: 100 metreye kadar	30 metreye kadar	150 metreye kadar
Güç Tüketimi	Yüksek	Pasif İçin Batarya Ömrü Sınırlaması Yoktur	Düşük	Yüksek
Ölçek	Büyük/Küçük Mekanlarda Kullanılabilir	Küçük Ölçekli Mekanlarda Kullanılabilir	Büyük Ölçekli Mekanlarda Maliyet Artmaktadır	Büyük/Küçük Mekanlarda Kullanılabilir
Maliyet	Düşük	Yüksek	Küçük Ölçekli Alanlarda: Düşük Büyük Ölçekli Alanlarda: Yüksek	Yüksek
Algoritma	RSSI, Parmak İzi	RSSI, Çeşitli Algoritmalar (Nearest Neighbor vb.) Genellikle Landmarc Yaklaşımı	RSSI	Multilateration (Trilateration)
Tespit Türü	Alan İçinde Tespit	Hedef Odaklı Tespit	Alan İçinde Tespit	Alan İçinde Tespit
Konum Güncelleme Süresi	1 Saniye	-	1 Saniye	0.025 - 0.1 Saniye

Bu teknolojilerin her birinin kendine özgü avantajlı ve dezavantajlı oldukları durumlar mevcuttur. Tablo 1’de önemli kapalı mekan konumlandırma teknolojilerinin değerlendirilmesinde öne çıkan metriklerin karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir. Kapsama alanına bağlı olarak seçimler farklılaşabilmektedir. Ayrıca konumlandırmadaki hata mesafeleri için ihtiyaca yönelik seçimler yapılabilir. Çalışılacak alanın büyüklüğüne bağlı olarak maliyet gözönüne alındığında BLE teknolojisinin daha ölçeklenebilir olduğu görülmektedir.

5. Sonuçlar ve Tartışma (Conclusions and Discussion)

Kapalı mekân konumlandırma üzerine yapılan birçok çalışmada en sık rastlanan teknolojiler Wifi ve BLE teknolojileri olduğu gözlemlenmiştir. Bu teknolojiler ile birlikte ise genellikle RSSI ya da parmak izi yaklaşımları kombine edilmiştir. Bunun sebebi varış açısı, varış zamanı gibi yaklaşımlar için donanım yönünden yüksek hassasiyet gerektiren cihazların yüksek maliyete sahip olmasıdır. Bir arada kullanılan teknoloji ve yaklaşımların seçimi dikkatle yapılırsa dahi sinyaller üzerindeki çeşitli sebeplerden etkileşimi ve ortam davranışı sebebiyle oluşan manipülatif etkilerden tam olarak kaçınılamadığı görülmektedir. Bu etkilerden kurtulmak için çeşitli filtreleme yöntemleri, yapay zeka gibi destekleyici unsurlarla iyileştirilme gerçekleştirilebilmektedir.

Tesekkür

Bu çalışma 3180329 proje numarası ile TÜBİTAK TEYDEB tarafından desteklenmiştir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Abbas, M., Elhamshary M., Rizk, H., Torki, M., Youssef, M., 2019. WiDeep: WiFi-based Accurate and Robust Indoor Localization System using Deep Learning. 2019 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications. 1-10.
- Alarifi, A., Al-Salman, A., Alsaleh, M., Alnafessah, A., Al-Hadhrami, S., Al-Ammar, M. A., Al-Khalifa, H. S., 2016. Ultra Wideband Indoor Positioning Technologies: Analysis and Recent Advances. *Sensors*. 16, 1-36.
- Belhadi, Z., Fergani, L., Fergani, B., Laheurte, J., 2014. RFID Tag Indoor Localization by Fingerprinting Methods. *International Conference on Multimedia Computing and Systems (ICMCS)*, 10.1109/ICMCS.2014.6911192
- Cengiz, K., 2020, Analyzing The Performance of Pure Lateration in Indoor Environments with Various Performance Metrics, *Commun.Fac.Sci.Univ.Ank.Series A2-A3*, 62 (2), 123-133.
- Cengiz, K., 2020, Comprehensive Analysis on Least Squares Lateration for Indoor Positioning Systems, *IEEE Internet of Things Journal*, 10.1109/JIOT.2020.3020888
- Doughangi, H., 2017. Kapalı Alanda Konum Belirleme Sistemi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye.
- Ergen, E., Artan İlter, D., Tekçe, I. A., Kula, B., Dönmez, D., 2017. Utilizing Indoor Locali-zation Technologies For Occupant Feedback Collection. 7th International Congress on Construction Management-IMO, 245 – 255.
- Fischer, G., Dietrich, B., Winkler, F., 2004. Bluetooth Indoor Localization System, *WPNC’04*, 147-152.
- İnternet: Floreani, L., 2015. Indoor positioning with beacons and mobile devices. URL: <https://bits.theorem.co/indoor-positioning-with-beacons/>, Son Erişim Tarihi: 28.08.2019
- İnternet: Gifford, M., 2018, Indoor Positioning with Ultrasonic/Ultrasound , URL: <https://www.leverage.com/blogpost/ultrasonic-indoor-positioning>, Son Erişim Tarihi: 30.08.2019
- Jianyong, Z., Haiyong, L., Zili, C., Zhaohui, L., 2014. RSSI Based Bluetooth Low Energy Indoor Positioning. *IPIN*, 10.1109/IPIN.2014.7275525.
- Küçük, K., 2016. Geniş bant konum belirleme sistemi performans analizi ve iyileştirilmesi. *SAUFENBILDER*, 21, 1-33.
- Lembo, S., Horsmanheimo, S., Honkamaa, P., 2019. Indoor positioning based on RSS fingerprinting in a LTE network: method based on Genetic Algorithms. 2019 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops), 1-6.
- Li, G., Geng, E., Ye, Z., Xu, Y., Zhu, H., 2018. Indoor Positioning Algorithm Based on the Improved RSSI Distance Model. 14th IEEE International Conference on Signal Processing (ICSP), 129-133.
- Morais, K., Bosco, D., 2017. RFID based Indoor Positioning System. *IJSRD*, 4(11), 454-457.
- Oldenburg, L., Meznaric, J., Lukau, E., Hechenberger A., 2016. Indoor Navigation/Indoor Positioning with mobile Devices, 10.13140/RG.2.1.3100.4568.
- Özdemir, B. N., Ceylan, A., Alçay, S., Yiğit, C.Ö., 2014. Kapalı Mekanlarda Uygulanan Konum Belirleme Yöntemleri Ve Karşılaştırılması. Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu 7. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu 15-17 Ekim 2014, Hitit Üniversitesi, Çorum, 1-9.
- Sakpere, W., Oshin, M. A., Mlitwa, N. B. W., 2017. A state-of-the-art survey of indoor posi-tioning and navigation systems and technologies. *South African Computer Journal*, 29(3), 145.
- Sugano, M., Kawazoe, T., Ohta, Y., Murata, M., 2006. Indoor Localization System Using Rssi Measurement Of Wireless Sensor Network Based On Zigbee Standard. The 6th IASTED International Multi-Conference on Wireless and Optical Communications, 538.
- Tsanga, P.Y.P., Wua, C.H., Ipa, W.H., Hoa, G.T.S., Tseb, Y.K., 2015. A Bluetooth-based In-door Positioning System: a Simple and Rapid Approach. *Annual Journal IIE*, 35, 11-26.

- Tunca, C., Toplan, E., Işık, S., Ersoy, C., 2014. Yapay Sinir Ağları ile WiFi Tabanlı İç Mekan Konumlandırma. AB 2014, 10.13140/2.1.4021.2486.
- Wen, L. P., Nee, C. W., Chun, K. M., Shiang-yen, T., Idrus, R., 2011. Application of WiFi-based Indoor Positioning System in Handheld Directory System. 5th Proceedings of the European Computing Conference, 21-27.
- Xiao, A., Chen, R., Li, D., Chen, Y., Wu, D., 2018. An Indoor Positioning System Based on Static Objects in Large Indoor Scenes by Using Smartphone Cameras. Sensors, 18(7), 2229.
- Xu, H., Ding, Y., Li, P., Wang, R., 2017. An RFID Indoor Positioning Algorithm Based on Bayesian Probability and K-Nearest Neighbor. Sensors, 17(8), 1806.
- Zegeye, W. K., Amsalu, B., Astatke, Y., Moazzami, F., 2016. WiFi RSS Fingerprinting Indoor Localization for Mobile Devices. UEMCON, 1-6.
- Zheng, J., Wu, C., Chu, H., Xu, Y., 2011. An Improved RSSI Measurement In Wireless Sensor Networks. SciVerse Science Direct, 15, 876-880.
- Zou, H., Xie, L., Jia, Q., Wang, H., 2014. Platform and Algorithm Development for a RFID-Based Indoor Positioning System. Unmanned Systems, 2(3), 279-291.