



KAPALI ALANDA BEACON TABANLI NAVİGASYON UYGULAMASI

Recep ÇAKIR^{1*}, Murat Tanrıverdi², Behlül Sarıkaya², Fatmana Şentürk², Serkan Doğanalp³

¹ Pamukkale Üniversitesi, Çameli Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Denizli, Türkiye

² Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Denizli, Türkiye

³ Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Beacon,
Bluetooth,
Kapalı Alan Konumlandırma
Sistemi,
Üçgenleme Algoritması,
Yakınlık Algoritması.*

Öz

Günlük yaşamda bir adrese ilerlerken veya insanları bir adrese yönlendirirken konum bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır. Bundan dolayı Küresel Konum Belirleme Sistemleri (GNSS-Global Navigation Satellite Systems) gündelik yaşamda oldukça önemlidir. Genel anlamda GNSS alıcısının yeteri kadar uydu görmesi halinde konum belirlenebilmektedir. Ancak GNSS teknolojisinin sinyal yapısından kaynaklı olarak GNSS alıcıları kapalı alanlarda uydu sinyallerini alamamakta ve iyi performans verememektedir. Bu nedenle kapalı alanlarda alternatif konum belirleme teknolojileri kullanılmaktadır. Bu teknolojilerden biri de Bluetooth tabanlı Beacon teknolojisidir. Bu çalışmada Beacon cihazları kullanılarak kapalı alanlarda navigasyona izin veren React Native platformunda Android ve iOS tabanlı bir mobil uygulama geliştirilmiştir. Geliştirilen bu uygulama Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi giriş katında test edilmiştir. Çalışma kapsamında öncelikli olarak test edilecek olan kapalı alanın haritası çıkarılmış ve Beacon cihazları bu test alanı üzerinde algılama mesafelerine göre konumlandırılmıştır. Sonrasında ise; daha önceden çıkarılan harita üzerinde, Beacon cihazlarının gerçek konumları işaretlenmiştir. Bir sonraki aşamada ise; bina girişinden itibaren hedef odaya kadar olan rotanın belirlenmesi ve gerekli yönlendirmelerin yapılmasıdır. Bu amaç doğrultusunda gidilecek yola en hızlı şekilde ulaşmak için dijkstra algoritması kullanılmıştır. Mobil uygulamada kullanıcılara rota ve anlık olarak katedilen yol Leaflet kütüphanesi ile gösterilmiştir. Yapılan testler sonucunda bina içi navigasyon uygulaması hedeflenen konumların tespitini %90 doğruluğunda elde etmiştir.

BEACON-BASED NAVIGATION APPLICATION IN INDOOR

Keywords

*Beacon,
Bluetooth,
Indoor Positioning System,
Trilateration Algorithm,
Proximity Algorithm.*

Abstract

In daily life, location information is needed when going to an address or directing people to an address. Therefore, Global Positioning Systems (GNSS-Global Navigation Satellite Systems) are very important in daily life. In general, the location can be determined if the GNSS receiver sees enough satellites. However, due to the signal structure of GNSS technology, GNSS receivers cannot receive satellite signals in indoor and therefore cannot give good performance. For this reason, alternative positioning technologies are used in indoor. One of these technologies is Bluetooth-based Beacon technology. The study involved the development of a mobile application for Android and iOS platforms using React Native. The application enables navigation in indoor through the use of Beacon devices. This developed application has been tested on the ground floor of Pamukkale University Engineering Faculty. Within the scope of the study, the map of the indoor area to be tested was drawn and the Beacon devices were positioned on this test area according to their detection distances. Afterwards; On the previously obtained map, the actual locations of the Beacon devices are marked. In the next stage; determining the route from the building entrance to the target room and making the necessary directions. For this purpose, the dijkstra algorithm was used to reach the road to be traveled in the fastest way. In the mobile application developed with React Native, the route and the instantaneous path to the users are shown with the Leaflet library. As a result of the tests, the indoor navigation application achieved 90% accuracy in detecting the targeted locations.

* İlgili yazar / Corresponding author: rcakir@pau.edu.tr, +90-258-571-6161

Alıntı / Cite

Çakır, R., Tanrıverdi, M., Sarıkaya, B., Şentürk, F., Doğanalp, S., (2024). Kapalı Alanda Navigasyon Uygulaması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 12(1), 118-131.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

R. Çakır, 0000-0002-2395-4769
M.Tanrıverdi, 0009-0005-1760-3873
B. Sarıkaya, 0000-0002-5549-8155
F. Şentürk, 0000-0002-5548-6015
S. Doğanalp, 0000-0001-7229-6355

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	27.03.2023
Revizyon Tarihi / Revision Date	02.02.2024
Kabul Tarihi / Accepted Date	05.03.2024
Yayın Tarihi / Published Date	25.03.2024

BEACON-BASED NAVIGATION APPLICATION IN INDOOR

Recep ÇAKIR^{1†}, Murat TANRIVERDİ², Behlül SARIKAYA², Fatmana ŞENTÜRK², Serkan DOĞANALP³

¹ Pamukkale Üniversitesi, Çameli Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Denizli, Türkiye

² Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Denizli, Türkiye

³ Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

Highlights

- A mobile application was developed for indoor navigation using Beacon technology.
- Preliminary tests were carried out by using trilateration and proximity algorithm for the selection of the positioning algorithm.
- The location accuracy of the mobile application was tested by using the Dijkstra algorithm to find the shortest path algorithm.
- A 90% success rate was achieved in the tests of the mobile application and its weaknesses were determined.

Purpose and Scope

The most important technology that meets people's navigation needs is global navigation satellite systems (GNSS). This technology, which is very useful and popular, does not perform well in indoor. This article aims to use Bluetooth-based Beacon technology for navigation purposes in indoor where GNSS technology is insufficient.

Design/methodology/approach

An indoor suitable for the purpose of the article was determined and the map of the indoor was made in a certain datum and projection. GNSS receiver and total station were used for this process. A preliminary test was carried out for trilateration and proximity algorithms, which are among the positioning algorithms planned to be used in the study. A mobile application was developed for the use of the navigation application. Tests of the mobile application were carried out using the Dijkstra algorithm.

Findings

10 target points were determined for the testing phase of the mobile application. The Dijkstra algorithm was used to find the shortest path to these points. As a result of the tests, 9 target points were reached without any problems. At 1 target point, the designed mobile navigation application failed. Examination of the failed test reveals that the beacon at the target point was 1.5 m higher than the beacons at the other 9 points, and there were numerous reflective surfaces around the beacon's location. It is believed that these factors contributed to the failure of the test. The mobile application has been tested with 90% accuracy.

Originality

This study aims to contribute to the literature by providing preliminary tests for selecting positioning algorithms in Beacon-based indoor navigation studies, procedures for obtaining indoor maps, and procedures for accurately placing Beacon devices in the field.

[†] Corresponding author: rcakir@pau.edu.tr, +90-258-571-6161

1. Giriş (Introduction)

Dünyada insan popülasyonu, kentleşme, teknolojik imkanlar artmaktadır ve bu durumlara bağlı olarak gündelik yaşam farklı boyutlara evrilmektedir. İnsanlar gündelik yaşamda kısıtlı zaman dilimlerinde birçok işi aynı anda yapabilme imkanına sahip olabilmektedir. Bu imkanların oluşmasında Küresel Konum Belirleme Sistemleri (GNSS-Global Navigation Satellite Systems) önemli katkılar sunmaktadır. GNSS teknolojisi 3 boyutlu, yüksek doğrulukla, gerçek zamanlı konum bilgisi sağlayan önemli bir teknolojidir (Kahveci vd., 2019). GNSS teknolojisi navigasyon başta olmak üzere, jeodezik ve jeodinamik çalışmalar, askeri faaliyetler, arama-kurtarma faaliyetleri, mühendislik hizmetleri ve daha birçok alanda küresel anlamda kullanılmaktadır. GNSS teknolojisinin konum belirlemede çok iyi bir teknoloji olmasına rağmen bazı zayıf tarafları da vardır. Bunlardan bir tanesi, kullanıcıların GNSS sinyallerini kapalı alanlarda ulaşamaması veya zayıf almasından dolayı GNSS teknolojisinin kapalı alanlarda iyi performans verememesidir (Marathe vd., 2018; Park vd., 2021). Bu durumdan dolayı kapalı alanlarda konum belirleme amaçlı alternatif çözümler geliştirilmektedir. Bluetooth tabanlı Beacon teknolojisi, Wi-Fi teknolojisi, RFID tabanlı (Radio Frequency Identification Device) uygulamalar, karekod uygulamaları, hibrit uygulamalar (pusula, adımsayar vb.) bu alternatif çözümlere örnek olarak verilebilir (Eroğlu ve Doğan, 2019).

Bluetooth tabanlı Beacon teknolojisi temelinde Bluetooth kavramı yatmaktadır. Günlük yaşamın bir parçası olan Bluetooth teknolojisini insanlar aktif olarak kullanmaktadır. Özellikle nesnelerin bu teknoloji ile birbirine bağlanarak iletişim kurmasından dolayı bu yolla elde edilen veriler günlük yaşamı kolaylaştırmaktadır. Bu teknoloji 1998'de ilk olarak Erickson, Nokia, Intel, IBM ve Toshiba gibi şirketler tarafından oluşturulan SIG (Special Interest Group) isimli grup tarafından geliştirilmiştir (Bisdikian, 2001). Günümüzde Bluetooth ile ilgili olarak Bluetooth Low Energy (BLE) bu alandaki en son gelişmelerden biridir. Nesnelerin interneti; internetin kapsamını, geleneksel ağ bağlantılı cihazların türünden olmayan fiziksel nesnelere de kapsayacak şekilde genişletmekle ilgilidir. BLE teknolojisi de bu amaçla tasarlanan, sensörlerin küçük miktarlardaki verileri uzun süreler boyunca verimli bir şekilde internet gücünü beslemesini sağlayan çok çeşitli iletişim çözümlerinden biridir. Sensörlerin, madeni para büyüklüğündeki bir pili kullanarak uzun yıllar iletişim kurabilmesini vaat eden düşük enerji tüketen, nispeten kısa menzilli bir teknolojidir (Siekkinen vd., 2012). Beacon'lar düşük maliyetli, hafif, küçük ve kurulumu basit cihazlardır (Şekil 1). Beacon'lar BLE altyapısına kullanan kablosuz iletişimi sağlayan cihazlar olmakla birlikte düşük enerji tüketimi sayesinde, küçük piller ile uzunca bir zaman çalışabilmektedir (Kajioka vd., 2014).



Şekil 1. Beacon cihazı (Beacon device)

Beacon teknolojisi tek yönlü bir veri iletişimi sunmaktadır. Beacon protokolü verici temelli olduğundan veri kullanıcıya geldiğinde kullanıcı tarafından veri aktarımı yapılmamaktadır. Kısaca Beacon kullanıcıya veri paketlerini ileten bir yayıncıdır. Veri kullanıcıya ne kadar sık aralıklarla iletilirse kullanıcının veriye ulaşması o kadar kolay olacaktır. Ancak bu durum enerji tüketimini artırdığından pil ömrünü azaltacaktır (Allurwar vd., 2016). Birçok üretici firma tarafından çeşitli boyut ve özelliklerde Beacon cihazları üretilmektedir. Beacon'ları tanımlamak ve iletişim kurmak için beş farklı bileşen vardır. Bu bileşenler UUID (Universally Unique Identifier), Major ve Minor, RSSI ve MPower (Measured power) olarak sıralanır (Allurwar vd., 2016; Gülağız vd., 2016). Bu değerler şu şekilde açıklanabilir;

- UUID (Universally Unique Identifier): 128 bit uzunluğunda bir veri parçası olup Beacon ağını tanımlamak için kullanılır. Her bir Beacon'ın kendine özgü UUID değeri vardır.
- Major: 16 bit uzunluğunda işaretli bir tamsayı değeridir ve Beacon ağına yer alan küçük bir grubu tanımlamak için kullanılır.
- Minor: 16 bit uzunluğunda işaretli bir tamsayıdır ve Beacon cihazlarını ayırt etmek için kullanılır ve her cihaz için ayrı bir minor değeri olmak zorundadır.
- RSSI (Received Signal Strength Indicator): Alınan sinyalin güç göstergesi olarak bilinen RSSI değeri, BLE sinyal gücüyle ilgili olarak Beacon eşleşmesi olan cihazlarla arasındaki tahmini uzaklığı hesaplamak için kullanılır. BLE sinyalinin gücü, Beacon alıcısıyla arasındaki mesafeden etkilenmektedir.

- MPower: Bu değer sabit bir değer olup Beacon üreticisi olan firma tarafından belirlenir ve bir metrelik bir mesafe için beklenen RSSI değerini tanımlamaktadır. Şekil 2'de tasarlanan uygulamada kullanılan Beacon'lar ile ilgili iletişim örneği gösterilmiştir.

```
react-native-kontaktio Example
[{"uniqueId":null,"minor":52915,"firmwareVersion":-1,"txPower":-77,"accuracy":0.09736236134931163,"isShuffled":false,"batteryPower":-1,"major":3984,"uuid":"78282cbd-0f53-4be0-afc0-e8d2beead793","name":null,"rssi":-61,"address":"DC:B1:9D:BD:1B:F7","proximity":"IMMEDIATE"}]
```

Şekil 2. Uygulamada kullanılan Beacon iletişim örneği (Beacon communication example used in the application)

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Kannan vd. (2013), Wi-Fi sinyallerinden yararlanarak Android tabanlı, kapalı alanlar için bir navigasyon uygulaması geliştirmişlerdir. Bu uygulamada konumlandırma algoritması olarak parmak izi algoritması kullanmışlardır. Geliştirdikleri uygulamayı farklı mekanlarda test ederek uygulanabilirliği ve hedeflenen konumu bulma konusunda öneriler sunmuşlardır.

Sátán (2018), yaptığı çalışmada BLE Beacon teknolojisi kullanarak Android tabanlı kapalı alan navigasyon uygulaması geliştirmiştir. Kullanıcı konumu için Beacon sinyallerini mesafe ile ilişkilendirmiştir. Uygulama alanının haritasını akıllı telefonun veri tabanı ile ilişkilendirerek navigasyon uygulamasının çevrimdışı da çalışmasını sağlamıştır. Navigasyon uygulamasının testlerini 3 katlı bir binada dijstra algoritmasıyla yapmıştır. Çalışma sonucunda en kısa yol için; yolların konumlarla uygun bir şekilde birbirine bağlanması, Beacon konumlarının seçimi, simülasyon sırasında karşılaşılan sorunlar gibi birçok durumu ortaya koymuştur.

Vaščák ve Savko (2018), Beacon teknolojisi kullanarak iç mekân konumlandırma ile ilgili çalışma yapmışlardır. Yaptıkları testlerde mobil bir robot kullanmışlardır. Çalışmalarında konumlandırma algoritması olarak üçgenleme yöntemini seçmişlerdir. Bu yöntemin kullanımında Beacon sinyallerini gürültüden arındırmak için kalman filtresi kullanmışlardır. Konumlandırma performansını gerçek konumla hesaplanan konumu kıyaslayarak ortaya koymuşlardır. Ayrıca Beacon'ları derinlik sensörü ile kullanarak navigasyon haritası elde etmişlerdir. Çalışma sonucunda, Beacon teknolojisinin nesnelerin interneti kavramıyla birlikte robotik çalışmaların da önemli bir parçası olacağını vurgulamışlardır.

Eroğlu ve Doğan (2019), çalışmalarında Android ve iOS tabanlı kapalı alanlarda Beacon teknolojisini kullanan bir navigasyon uygulaması tasarlamışlardır. Önerilen uygulama, görme ve işitme engellilerin kullanımına yönelik geliştirilmiştir. Saha çalışması ve testler için Antalya Büyükşehir Belediyesi iç hizmet binasını kullanmışlardır. Çalışma sonucunda görme ve işitme engelli bireylerin Beacon tabanlı teknolojiler yardımıyla bağımsız hareket edebilmeleri sağlamışlardır.

Uttraphan vd. (2020), çalışmasında kapalı alanlar için konum belirlemede BLE Beacon teknolojinden yararlanmıştır. Konum belirleme yöntemi olarak RSSI sinyallerini değerlendirerek parmak izi algoritmasını incelemiştir. Çalışma, kapalı alanda 3500 m² olan bir konferans salonunda test edilmiştir. Doğrulama yarıçapı ise 14 m olarak seçilmiş ve başarı sağlanmıştır. Çalışmanın sonuç kısmında BLE Beacon teknolojisinin düşük maliyetli ve düşük enerji tükettiği için alışveriş kompleksi veya havaalanları gibi büyük bir kapalı alanda uygulamak için çok uygun olduğu ifade edilmiştir.

El-Sheimy ve Li (2021), yaptıkları çalışmada kapalı alan konumlandırma, yerleştirme ve navigasyon ile ilgili son gelişmeleri ve gelecekteki olabilecek durumunu birçok yönüyle araştırmışlardır. Bu alanda kullanılan teknolojileri, konumlandırma algoritmalarını, haritaları ve daha birçok durumu incelemiştir. Ayrıca kapalı alan konumlandırmayı sosyal ve ekonomik bakış açısı geliştirerek gelecekteki rolü ile ilgili görüşlerini belirtmişlerdir.

Valliappan ve Vikram (2021), robotlar için bir navigasyon sistemi tasarlamışlardır. Çalışma, robotların hassas navigasyonu için gerekli olan bilgileri sağlayan tasarımlar için ihtiyaçları minimize etmeyi amaçlamıştır. Çalışmada kullanılan robotta görüntü sensörü, yakınlık sensörü gibi donanımlar mevcuttur. Sensörler yardımıyla elde edilen veriler derin öğrenme algoritması kullanılarak yön bulma amaçlı kullanılmaktadır. Robot, sensörler yardımıyla bulunduğu alanın haritasını çıkararak ulaşmak istediği hedefe bir yol çizmektedir. Çalışma sonucunda yapılan testlerde robotun hedefe ulaşma doğruluğu %78 düzeyinde çıkmıştır. Çalışma iyi aydınlatılmış kapalı ortamlarda robotlar için bir alternatif oluşturmaktadır.

Guo vd. (2022), kapalı alan konumlandırmada kullanılan fazla sayıdaki Beacon'nın gerçek zamanlı kullanımındaki en uygun seçimi ve ortamdaki insan hareketliliğinin iç mekân konumlandırmaya etkilerini araştırmışlardır. Gerçek zamanlı en uygun Beacon seçimini, Beacon'ların RSSI sinyallerindeki anomaliliklerden yararlanarak "gerçek zamanlı Beacon seçim yöntemi" ile gerçekleştirmişlerdir. Bu yöntemin konumlandırma doğruluğunu farklı yöntemlerle kıyaslayarak konumlandırma için kullanılacak gerçek zamanlı Beacon seçimlerinde hassas sonuç verdiğini göstermişlerdir. Ayrıca iç mekânda bulunan yayaların rastgele bir şekilde yürümesinin iç mekân konumlandırmaya etkilerini gerçek zamanlı Beacon seçimleri için gerçekleştirilen testlerde doğrulamışlardır.

Wakchaure vd. (2022), kapalı alanlarda karekod ve arttırılmış gerçeklik kullanarak bir navigasyon uygulaması tasarlamışlardır. Çalışmalarında, yangın gibi acil durumlarda en kısa kaçış yolunu bulmak için algoritma geliştirmişlerdir. Algoritma verileri için akıllı telefonda bulunan sensörler, adım verileri, binanın acil çıkış tahliyesiyle ilgili bilgileri kullanmışlardır. Uygulamanın test aşamasını ise eğitim için kullanılan bir binada gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda acil bir tahliye sırasında insanlara zaman kazandıracak bir sistem geliştiklerini belirtmişlerdir.

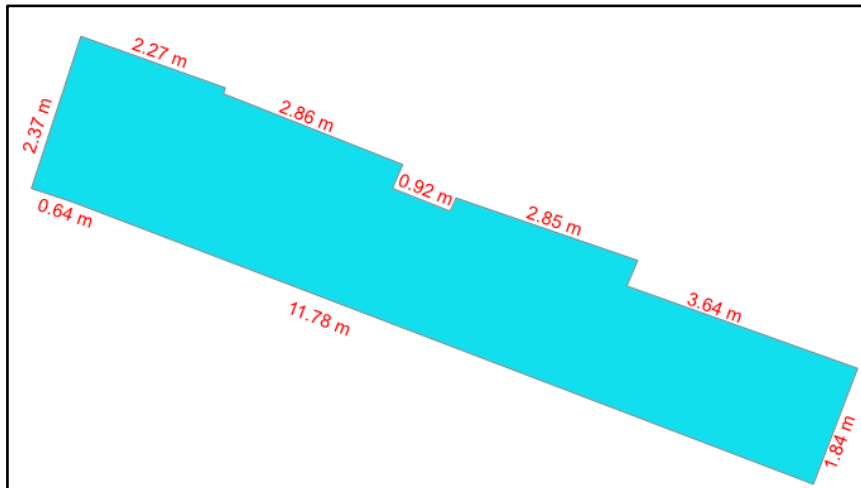
3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

3.1. Çalışma Alanı (Study Area)

Uygulama alanı olarak Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi seçilmiştir (Şekil 3). Uygulama aşamasına geçilmeden önce Beacon cihazlarının konumlandırma algoritmaları için testleri gerçekleştirilmiştir. Bu test aşaması navigasyon uygulamasının ön aşaması olup hangi konumlandırma algoritmasının kullanılacağına karar verilmiştir. Test aşaması yaklaşık uzunluğu 12.00 m, yaklaşık genişliği 2.00 m ve yüksekliği 2.60 m olan tamamen kapalı alanda bulunan bir koridorda gerçekleştirilmiştir (Şekil 4).



Şekil 3. Çalışma için belirlenen kapalı alan (Indoor area chosen for study)



Şekil 4. Test alanı (Test area)

3.2. Konumlandırma Yöntemleri (Positioning Methods)

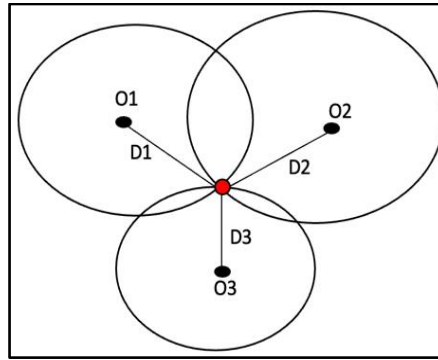
Beacon cihazlarıyla konum bilgisi elde etmek için RSSI değerine bağlı olarak parmak izi (fingerprint), üçgenleme (trilateration), yakınlık (proximity) algoritmalarının yanı sıra bu algoritmalara bağlı olarak geliştirilmiş farklı algoritmalar mevcuttur. RSSI değeri ortam şartlarından etkilenmekle birlikte alıcı ile verici arasındaki mesafeye bağlıdır. Alıcı sinyal kaynağına yaklaştıkça teorik olarak artar, uzaklaştıkça azalır. RSSI değeri “-dBm” olarak ifade edilmektedir. RSSI değerini mesafeyle ilişkilendirmek için kullanılan en yaygın model aşağıdaki eşitlikte verilmiştir.

$$d_i = 10^{\frac{r_0 - r_i}{10n}} \quad (1)$$

Burada d_i alıcı ile verici arasındaki mesafeyi, r_i anlık algılanan RSSI değerini, r_0 1 m mesafe için hesaplanan RSSI değerini, n ise çevre şartlarına bağlı yol kaybı katsayısıdır (Abhishek vd., 2013; Anagnostopoulos vd., 2014; Guo vd., 2022). Bu çalışmada üçgenleme ve yakınlık algoritması test edilmiştir.

3.2.1. Üçgenleme Yöntemi (Trilateration Method)

Bu teknikte konumu belirli olan üç vericinin (Beacon) hedef nesneye olan mesafelerinden yararlanılarak hedef nesnenin konumu hesaplanır. Verici ile hedef nesne arasındaki mesafe, vericiler tarafından yayımlanan BLE sinyallerinin RSSI değerinden hesaplanır. Bu yöntemde vericilerin mesafeye bağlı olarak BLE sinyallerinin gücünün katlanarak azalacağı veya artacağı dikkate alınmalıdır (Eroğlu ve Doğan, 2019; Özdemir vd., 2014; Pujiharsono vd., 2020; Vaščák ve Savko, 2018).



Şekil 5. Üçgenleme yöntemi (Trilateration method).

Şekil 5’te konumu bulunmak istenen nesnenin üç boyutlu koordinatları x, y, z olmak üzere O_1, O_2, O_3 referans noktalarındaki üç Beacon’ın konumu $x_1, y_1, x_2, y_2, x_3, y_3$ ve hedef nokta ile referans noktaları arasındaki uzaklıklar D_1, D_2, D_3 olmak üzere aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hedef noktanın konumu hesaplanır.

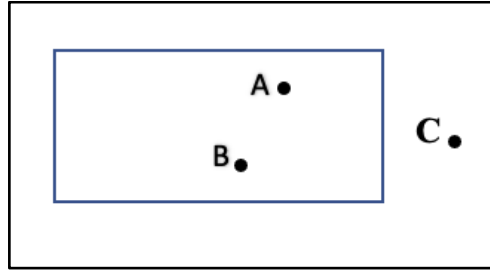
$$D_1^2 = (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 \quad (2)$$

$$D_2^2 = (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 \quad (3)$$

$$D_3^2 = (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 \quad (4)$$

3.2.2. Yakınlık Yöntemi (Proximity Method)

Yakınlık yöntemi, konumlandırma için basit bir yöntem olarak kabul edilir. Bilinen bir konuma veya alana göre hedef noktanın konumu bulunur. Yakınlık algoritmasında konumu bilinen yerlere vericilerin (Beacon, Wi-Fi vb.) sabitlenmesi gerekir. Konumu bulunmak istenen nesne vericiler ile bağlantı kurduğunda hedef nesnenin konumu belirlenen nokta veya alanın yakınında kabul edilir. Şekil 6’da A vericisinin yakınlık alanı dikdörtgen bölge ile gösterilmiştir. B nesnesi A vericisinin yakınlık alanında, C nesnesi ise dışarıda gösterilmiştir (Khudhair vd., 2016; Kim vd., 2015).



Şekil 6. Yakınlık yöntemi (Proximity method)

3.3. Mobil Uygulama Geliştirme (Mobile Application Development)

Akıllı telefon ve tabletler için piyasaya sunulmuş pek çok işletim sistemi olsa da Android ve iOS en çok kullanıcıya sahip işletim sistemleridir (Statcounter, 2023). Bu çalışmada da kullanım oranları sebebiyle Android ve iOS işletim sistemleri üzerinde çalışabilecek bir uygulama geliştirmek hedeflenmiştir. İki işletim sisteminin gereksinimleri ve uygulama geliştirme aşamaları ise farklıdır. Örneğin Android cihazlar için uygulama geliştirmede Java (Oracle, 2023) ya da Kotlin (Kotlin, 2023) dilleri kullanılırken, iOS cihazlar için uygulama geliştirmede Swift (Apple, 2023a) veya Objective C (Apple, 2023b) dilleri kullanılır. Geliştirmede kullanılacak iki dil, iki farklı geliştirme aşaması anlamına gelmekte ve buna bağlı olarak geliştirme zaman maliyeti artmaktadır. Bununla birlikte bir uygulama geliştirme maliyetinde her iki işletim sisteminde de çalıştırılabilir uygulamalar geliştirmek mümkündür.

3.3.1. Platformlar Arası Uygulama Geliştirme (Cross Platform Application Development)

Platformlar arası uygulamalar, farklı mobil platformlarda çalışabilecek şekilde geliştirilen mobil uygulamalardır. Tek bir kod üzerinden farklı işletim sistemlerine uyumlu şekilde çalışabilirler. React Native (Facebook, 2023) ise cross platform uygulama geliştirme kütüphanelerinden biridir. Geliştirilmiş olan pek çok platformlar arası uygulama geliştirme aracı olsa da React Native geliştiricilere kendi yazdıkları kütüphaneleri dahil etme imkânı ve uygulama render süreleri açısından oldukça avantajlıdır. Avantajlarından dolayı bu çalışmada uygulama geliştirmede React Native Kütüphanesi kullanılmıştır.

3.4. En kısa yol algoritması (Shortest Path Algorithm)

Kişiler kapalı alanlarda hedef noktasına varmak için en kısa yolu tercih etmektedirler. Geliştirilen mobil uygulama içinde kişileri yönlendirmede en kısa yolu bulan bir algoritma tercih edilmelidir. Bu amaç doğrultusunda, bilinen en kısa yol bulma algoritması Dijkstra tercih edilmiştir.

Algoritma 1. Dijkstra Algoritması (Dijkstra algorithm)

```

1 function Dijkstra(Graph, source):
2
3   for each vertex v in Graph.Vertices:
4     dist[v] ← INFINITY
5     prev[v] ← UNDEFINED
6     add v to Q
7   dist[source] ← 0
8
9   while Q is not empty:
10    u ← vertex in Q with min dist[u]
11    remove u from Q
12
13    for each neighbor v of u still in Q:
14      alt ← dist[u] + Graph.Edges(u, v)
15      if alt < dist[v]:
16        dist[v] ← alt
17        prev[v] ← u
18
19  return dist[], prev[]

```

Dijkstra algoritması, bir noktadan başka bir noktaya olan en kısa yolu hesaplayan bir algoritmadır. Algoritmanın temel çalışma prensibi şu şekildedir. İlk önce başlangıç noktasından, gidilebilecek tüm alternatifler için maliyetler hesaplanır ve doğrudan yol olmayan diğer noktalara sonsuz değeri atanır. Sonraki aşamada ise; başlangıç

noktasından gidilebilen ve maliyeti en az olan yol tercih edilir. İkinci noktaya geçildiğinde ise; yine komşu olan yollara ait maliyetler güncellenerek aralarından en düşük olan tercih edilir. Bu işlemler hedef noktaya varılıncaya kadar devam etmektedir (Dijkstra, 1959). Bu algoritmaya ait pseudocode Algoritma 1'de verilmiştir.

4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

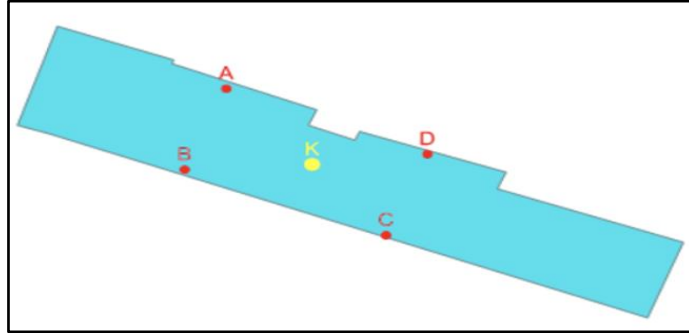
4.1. Test Aşaması (Test Phase)

Bu çalışmada kullanılan konumlandırma algoritmasının performansı test edilmiştir. Test alanı kapalı ortam özelliklerini yansıtan bir koridor olarak seçilmiştir. Koridorun ve uygulama haritasının hassas bir şekilde elde edilebilmesi için, kat planlarının doğrudan kullanımı veya kat planlarından dönüşüm ile harita elde edilmesi gibi işlemler gerçekleştirilmemiştir. Bunu yerine haritalar, kapalı alanın dışarısından içerisine koordinat taşınarak elde edilmiştir. Bu aşama için GNSS alıcısı ile elektronik uzunluk ve açı ölçer kullanılmıştır. Elde edilen haritaların çizimi için ise açık kaynaklı leaflet JavaScript kütüphanesinden yararlanılmıştır.

Haritaların koordinatları International Terrestrial Reference System (ITRF) datumunda ve Universal Transverse Mercator projeksiyonunda (UTM) elde edilmiştir. Haritaların koordinatlarının belirli bir datum ve projeksiyonda elde edilmesi Beacon cihazlarının uygulama alanında aplikasyonunu ve elde edilen verilerin analizini kolaylaştırmaktadır. Bu çalışmada test edilen konumlandırma algoritmalarından üçgenleme ve yakınlık algoritmasına göre Beacon'ların haritada yerleri belirlenmiştir. Elektronik uzunluk ve açı ölçer kullanılarak haritada belirlenen noktalara, test alanında Beacon'ların aplikasyonu yapılmıştır. Yapılan testlerin başarısı hedeflenen konum ile elde edilen konum arasındaki uzaklık baz alınarak değerlendirilmiştir. Aşağıdaki eşitlikte x_1, y_1 hedeflenen konum, x_2, y_2 elde edilen konum S ise aralarındaki uzaklık olarak gösterilmiştir.

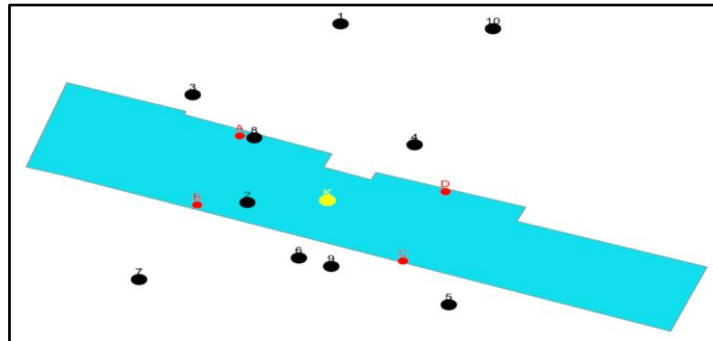
$$S = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (5)$$

Üçgenleme algoritması için yapılan testlerde Beacon'ların yerleştirilmesi koridorun fiziki durumu da baz alınarak iki farklı yerleşim planına göre yapılmıştır. İlk yerleşim planına göre A, B, C ve D noktaları Beacon'ların yerleştirildiği noktalar, K noktası Beacon'lardan alınan sinyale göre konumu bulunmak istenen noktadır (Şekil 7).



Şekil 7. Üçgenleme algoritması ilk konumlandırma planı (Initial positioning plan for Trilateration algorithm)

İlk yerleşim planında A-B noktaları ile C-D noktaları arası 2.00 m A-D noktaları ile B-C noktaları arası 4.00 m olacak şekilde koridorun fiziki durumu da baz alınarak koordinatlandırılmıştır. K noktası ise oluşan dikdörtgen şeklin yaklaşık ortasına gelecek şekilde seçilmiştir. İlk yapılan testte oluşan dikdörtgen şeklin dışından içeriye doğru farklı yön ve açılardan gelinerek K noktasına 10 defa ulaşılmış ve bu noktada telefon ekranındaki değeri okumak için birkaç saniye beklenilmiştir. Bu testin sonucunda 10 farklı konum bilgisi elde edilmiştir (Şekil 8).



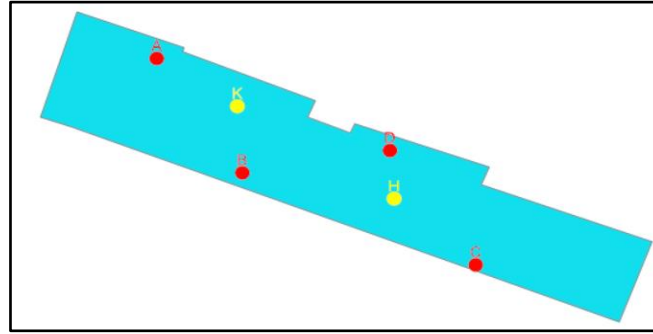
Şekil 8. 1. Test (1st test)

Hedeflenen K noktasının konumu ile yapılan ilk test sonucu elde edilen konum bilgisi arasındaki uzaklık Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. İlk yapılan test sonucu (First test result)

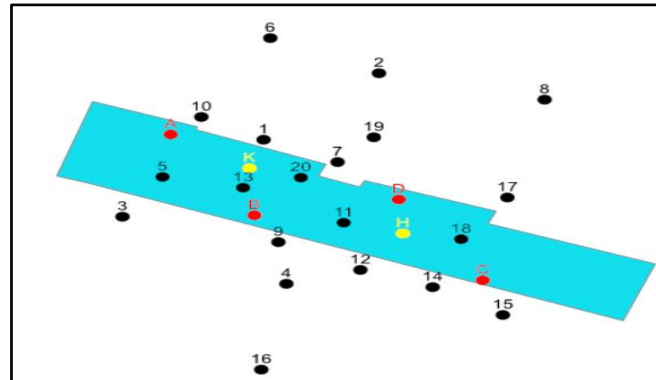
Hedeflenen Konum	Elde Edilen Konum	Uzaklık (m)
K	1	4.73
K	2	1.44
K	3	3.72
K	4	2.16
K	5	3.55
K	6	1.62
K	7	4.00
K	8	2.13
K	9	1.77
K	10	5.48

İkinci yerleşim planına göre A, B, C ve D noktası Beacon'ların yerleştirildiği noktalar, K ve H noktası ise Beacon'lardan alınan sinyale göre konumu bulunmak istenen noktalardır. İkinci yerleşim planında A-B, B-D ve D-C noktaları arası 3.00 m olacak şekilde koridorun fiziki durumu da baz alınarak koordinatlandırılmıştır. K ve H noktası ise oluşan üçgen şekillerin yaklaşık ortasına gelecek şekilde seçilmiştir (Şekil 9).



Şekil 9. Üçgenleme algoritması 2. konumlandırma planı (2nd positioning scheme for the Trilateration algorithm)

İkinci yapılan testte oluşan üçgen şekillerin dışından içeriye doğru farklı yön ve açılardan gelinerek K ve H noktalarına 10 defa ulaşılmış ve bu noktalarda telefon ekranındaki değeri okumak için birkaç saniye beklenilmiştir. Bu testin sonucunda 20 farklı konum bilgisi elde edilmiştir (Şekil 10).



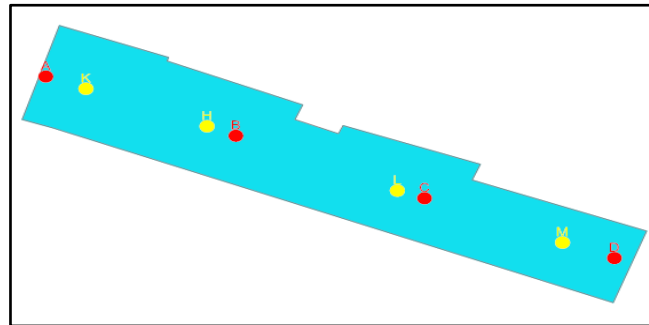
Şekil 10. 2. Test (2nd test)

Hedeflenen K ve H noktasının konumu ile yapılan 2. test sonucu elde edilen konum bilgisi arasındaki uzaklık Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. 2. test sonucu (2nd test result)

Hedeflenen Konum	Elde Edilen Konum	Uzaklık (m)
K	1	0.91
K	2	3.92
K	3	2.99
K	4	3.59
K	5	1.81
K	6	3.98
K	7	1.82
K	8	6.41
K	9	2.32
K	10	1.84
H	11	1.26
H	12	1.41
H	13	3.56
H	14	1.74
H	15	3.22
H	16	5.06
H	17	2.41
H	18	1.21
H	19	2.98
H	20	2.70

Üçüncü yerleşim planı yakınlık algoritmasına göre yapılmıştır. A, B, C ve D noktası Beacon'ların yerleştirildiği noktalar; K, H, I ve M noktası ise Beacon'lardan alınan sinyale göre konumu bulunmak istenen noktalardır (Şekil 11).



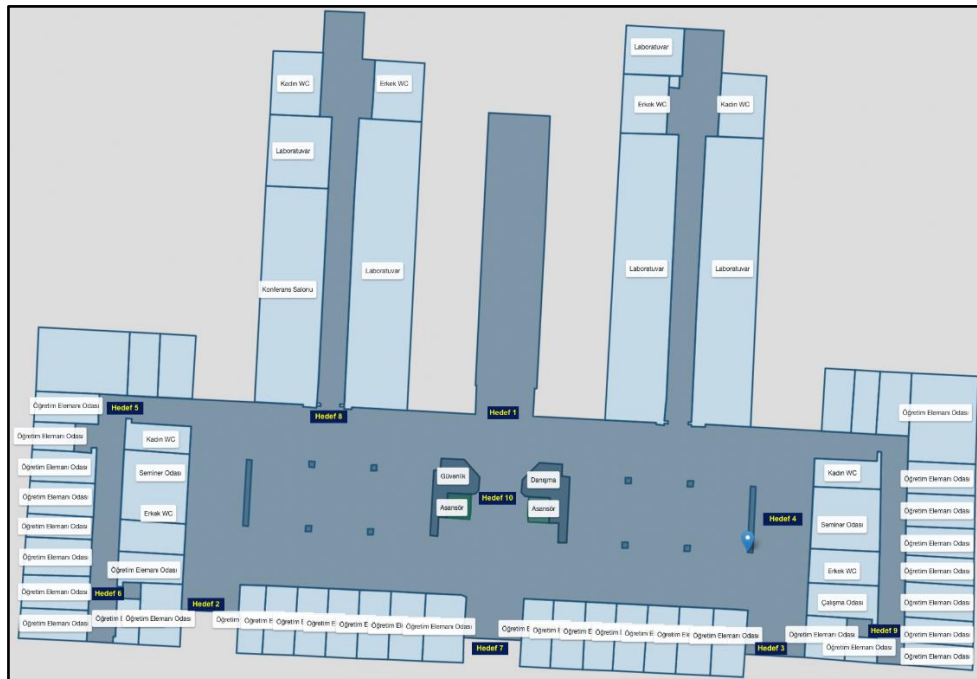
Şekil 11. Yakınlık algoritması konumlandırma planı (Proximity algorithm positioning plan)

Konumu bulunmak istenen noktaların yerleşim planında Beacon'ların bulunduğu noktalara yakın seçilme nedeni yakınlık algoritmasının çalışma prensibinin bir gereğidir. İkinci yerleşim planında A-B, B-C ve C-D noktaları arası 4.00 m olacak şekilde koridorun fiziki durumu da baz alınarak koordinatlandırılmıştır. Noktalar arası mesafe için kısmen de olsa 3.00 m, 3.50 m, 4.50 m, 5.00 m gibi farklı denemeler yapılmış ancak yürüme hızı, Beacon'ların tarama sıklığı ve sinyal karışıklıklarının oluşma durumu da göz önünde bulundurulduğunda 4.00 m'de karar kılınmıştır. Yakınlık algoritmasına göre yapılan testler, Beacon cihazlarının bulunduğu A, B, C ve D noktalarına yakın seçilen K, H, I ve M test noktalarına farklı yön ve açılardan gelinerek gerçekleştirilmiştir. Yapılan testlerde BLE sinyali alan alıcı, test noktalarına geldiğinde Beacon cihazlarının bulunduğu konumlar elde edilmiştir. Yakınlık algoritmasına göre yapılan testlerin tamamında başarı sağlanmıştır.

Bu çalışmada yapılan testler, navigasyon uygulaması için bir ön aşamadır. Bu ön aşamada test sonuçları incelendiğinde üçgenleme algoritması için yapılan ilk testte Tablo 1 incelendiğinde hedeflenen konum ile elde edilen 10 farklı konum arasındaki uzaklıkların ortalaması 3.06 m'dir. Üçgenleme algoritması için yapılan 2. testte Tablo 2 incelendiğinde hedeflenen konum ile elde edilen 10 farklı konum arasındaki uzaklıkların ortalaması K noktası için 2.96 m, H noktası için 2.56 m'dir. Üçgenleme algoritmasının test aşamalarında, test noktalarında BLE sinyali alan alıcı için hedeflenen konum bilgisinden farklı olarak alıcı konumunun koridorun dışında gözlemlendiği durumlar da oluşmuştur. Ayrıca belirlenen test noktalarında konum homojenliği de sağlanamamıştır. Yakınlık algoritması için ise A-B, B-C ve C-D noktaları arası 4.00 m seçilmiş ve alıcı bu noktalar arasında Beacon sinyallerini başarılı bir şekilde alarak konumunu doğru bir şekilde belirlenen noktalarda (A, B, C, D) göstermiştir. Bu nedenle alıcının konum hatası bu test için Beacon'ların yerleşimi için belirlenen noktalar arası mesafenin yarısı olan 2.00 m olduğu söylenebilir. Yani alıcı iki Beacon'ın tam ortasına geldiğinde konumunu maksimum 2.00 m hata ile görecektir. Dolayısıyla ön çalışma sonucunda navigasyon uygulaması için konumlandırma algoritması olarak yakınlık algoritması seçilmiştir.

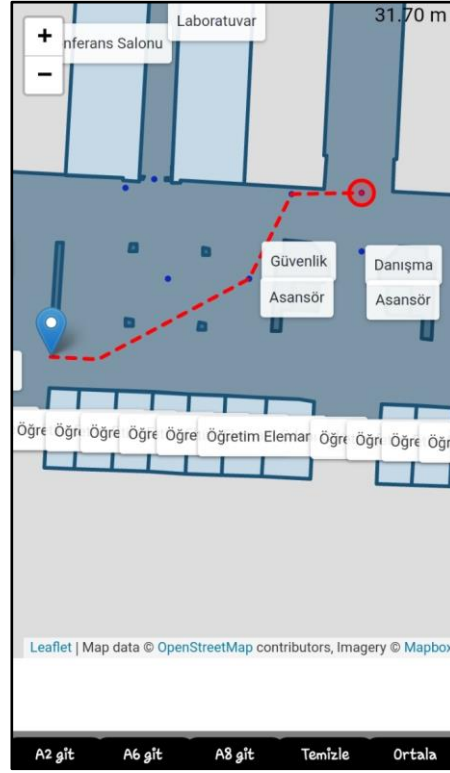
4.2. Navigasyon Uygulaması (Navigation App)

Navigasyon uygulaması için Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi giriş katının haritası yapılmıştır. Haritanın koordinatları ITRF datumunda ve UTM projeksiyonunda elde edilmiştir. Elde edilen harita leaflet JavaScript kütüphanesi ile düzenlenerek mobil uygulamada görüntülenecek hale getirilmiştir. Navigasyon uygulamasının testi için uygulama alanında 10 tane hedef nokta belirlenmiştir (Şekil 12).



Şekil 12. Uygulama haritası ve hedef noktalar (Application map and destinations)

Uygulama haritasında Beacon cihazlarının yerleri 4.00 m aralıklarla yakınlık algoritmasına göre belirlenmiş ve koordinatları çıkarılmıştır. Uygulama alanında belirlenen noktalara Beacon cihazlarının uygulaması GNSS alıcısı ve elektronik uzunluk ve açı ölçer kullanılarak yapılmıştır. Daha sonra ise uygulama alanında belirlenen noktaların testleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 13).



Şekil 13. Uygulamanın test aşaması (Testing phase of the application)

Yapılan mobil uygulamayla farklı konumlardan belirlenen hedef noktalara dijkstra algoritması kullanılarak ulaşılmış ve test aşaması gerçekleştirilmiştir (Tablo 3). Tablo 3'te olumlu değerler hedefe en kısa yoldan ulaşıldığını, olumsuz değerler ise hedefe ulaşmada sorun yaşandığını göstermektedir.

Tablo 3. Navigasyon uygulaması test sonucu (Navigation app test result)

Hedeflenen Konum	Başarı Durumu
Hedef 1	Olumlu
Hedef 2	Olumlu
Hedef 3	Olumlu
Hedef 4	Olumlu
Hedef 5	Olumlu
Hedef 6	Olumlu
Hedef 7	Olumsuz
Hedef 8	Olumlu
Hedef 9	Olumlu
Hedef 10	Olumlu

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışmada kapalı alanlarda navigasyon uygulamasının BLE tabanlı Beacon cihazlarıyla uygunluğu test edilmiştir. Navigasyon uygulamasından önce yapılan test aşamasında üçgenleme algoritmasının yakınlık algoritmasına göre daha az başarılı olması kapalı alanın fiziki durumu ile ilgilidir. Beacon cihazlarının üçgenleme algoritması baz alınarak kapalı alanda konumlandırılmasında koridorun fiziki durumunun sinyal karışıklıklarını minimize edecek veya engelleyecek genişlikte olmaması bu algoritmanın başarısını düşüren bir etken olduğu bu çalışmada düşünülmektedir. Ayrıca bu nedenden dolayı üçgenleme algoritması için yapılan testlerde konum homojenliğini de sağlanamamaktadır. Beacon cihazlarının yakınlık algoritmasına göre konumlandırılması Beacon

cihazları arasındaki mesafeyi büyütülmektedir. Bu durum sinyal karışıklıklarını azaltmakla birlikte konum doğruluğu bakımından yakınlık algoritmasının üçgenleme algoritmasına göre daha iyi performans göstermesini ve konum homojenliğini sağlamaktadır.

Yapılan çalışmada dijkstra algoritması kullanılarak navigasyon uygulaması için %90 başarı sağlanmıştır (Tablo 3). Başarısızlıkla sonuçlanan "Hedef 7" konumu için navigasyon testinin sonucu irdelendiğinde, öncelikle bu konumun binanın giriş kısmındaki tavanda yer aldığı görülmektedir. Bu konumun tavan yüksekliği, standart kapalı alanın tavan yüksekliğinden yaklaşık 1.5 m daha yüksek olması ve binanın giriş kısmındaki sinyal yansıtıcı yüzeye sahip camekanlı tasarımların bulunması gibi etkenler bu noktada gerçekleştirilen navigasyon testini olumsuz etkilediği düşünülmektedir.

Kapalı alanın haritasının belirli bir datum ve projeksiyonda elde edilmesi elde edilecek verinin analizini, yorumlanmasını ve konum bazlı hatalara müdahaleyi kolaylaştırmaktadır. Doğru ve hassas harita elde edilmesi ve Beacon cihazlarının aplikasyonun daha hassas yapılması için GNSS alıcısı, elektronik uzunluk ve açı ölçer gibi ölçme cihazlarının kullanımı önemlidir. Bu çalışmada, bu tip navigasyon uygulamalarında yüksek bir başarı oranı yakalamak için kullanılacak konumlandırma algoritmalarının kapalı alanın fiziki durumu da göz önünde bulundurularak test edilmesi önerilmektedir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- Abhishek, S., Rajesh, M., 2013. Adaptive RLS-received signal strength algorithm in wireless network area for multi-mobile nodes location estimation system. *International Journal of Computer Applications*, 64 (15), 12-15.
- Anagnostopoulos, G., Deriaz, M., 2014. Accuracy enhancements in indoor localization with the weighted average technique. In: *SENSORCOMM - 8th International Conference on Sensor Technologies and Applications*.
- Allurwar, N., Nawale, B., Patel, S., 2016. Beacon for Proximity Target Marketing. *International Journal Of Engineering And Computer Science*.
- Apple. (2023b). About Objective-C. Retrieved March 3, 2023, from <https://developer.apple.com/library/archive/documentation/Cocoa/Conceptual/ProgrammingWithObjectiveC/Introduction/Introduction.html>
- Apple. (2023a). Swift - Apple Developer. Retrieved March 3, 2023, from <https://developer.apple.com/swift/>
- C, Bisdikian., 2001. An overview of the Bluetooth wireless technology. *IEEE Communications Magazine*, 39(12), 86-94.
- Dijkstra, E.W., 1959. A note on two problems in connexion with graphs. *Numerische mathematik*, 1 (1), 269-271.
- El-Sheimy, N., Li, Y., 2021. Indoor navigation: state of the art and future trends. *Satellite Navigation*, 2.
- Eroğlu, O., Doğan, M., 2019. Konum Tabanlı Hizmetler, Bluetooth Tabanlı İç Mekan Konumlandırma Hizmeti, Antalya İli Örneği. *TMMOB 6. Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi*, Ankara.
- Facebook. (2023). React Native. Retrieved March 3, 2023, from <https://reactnative.dev/>
- Guo, Y., Zheng, J., Di, S., Xiang, G., Guo, F., 2022. A Beacons Selection Method under Random Interference for Indoor Positioning. *Remote. Sens*, 14, 4323.
- Gülağz, F. K., Göz, F., Şahin, E., Albayrak, M. S., Kavak, A., 2016. Beacon Temelli Sanal Etiket Uygulaması, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 3 (1), 1-7.
- Kahveci, M., Tuşat, E., Yıldız, F., Sarı, F., Mikailsoy, F., 2019. Ankara-Yozgat Hattında Mühendislik ve CBS Amaçlı Yaklaşık Jeoit Hesabı. *Geomatik*, 4, 92-100.
- Kajioka, S., Mori, T., Uchiya, T., Takumi, I., Matsuo, H., 2014. Experiment of indoor position presumption based on RSSI of Bluetooth LE beacon. *2014 IEEE 3rd Global Conference on Consumer Electronics (GCCE)*, 337-339.
- Kannan, B., Meneguzzi, F., Dias, M. B., Sycara, K., 2013. Predictive indoor navigation using commercial smart-phones. In *Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on Applied Computing*, 519-525.
- Khudhair, A.A., Jabbar, S.Q., Sulttan, M.Q., Wang, D., 2016. Wireless Indoor Localization Systems and Techniques: Survey and Comparative Study. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 3(2), 392-409.
- Kim, D. Y., Kim, S. H., Choi, D., Jin, S. H., 2015. Accurate indoor proximity zone detection based on time window and frequency with bluetooth low energy. *Procedia Computer Science*, 56, 88-95.
- Kotlin. (2023). Kotlin Programming Language. Retrieved March 3, 2023, from <https://kotlinlang.org/>
- Marathe, T., Broumandan, A., Pirsivash, A., Lachapelle, G., 2018. Characterization of Range and Time Performance of Indoor GNSS Signals. *2018 European Navigation Conference (ENC)*, 27-37.
- Park, M., Han, J., Kim, O., Kim, J., Kee, C., 2021. One-way deep indoor positioning system for conventional GNSS receiver using paired transmitters. *NAVIGATION*, 68, 601-619.
- Sátán, Á., 2018. Bluetooth-based indoor navigation mobile system. *2018 19th International Carpathian Control Conference (ICCC)*, 332-337.
- Siekinen, M., Hienkari, M., Nurminen, J.K., Nieminen, J., 2012. How low energy is bluetooth low energy? Comparative measurements with ZigBee/802.15.4. *2012 IEEE Wireless Communications and Networking Conference Workshops (WCNCW)*, 232-237.

- Statcounter. (2023). Mobile Operating System Market Share Worldwide. Retrieved March 3, 2023, from <https://gs.statcounter.com/os-market-share/mobile/worldwide>
- Oracle. (2023). Java Programming Language. Retrieved March 3, 2023, from <https://docs.oracle.com/javase/8/docs/technotes/guides/language/index.html>
- 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.
- Pujiharsono, H., Utami, D.W., Ainul, R.D., 2020. Trilateration Method For Estimating Location in RSSI-Based Indoor Positioning System Using Zigbee Protocol. JURNAL INFOTEL, 12.
- Uttraphan, C., Abdul Aziz, F.D., Helmy Abd Wahab, M., Zulkarnain Syed Idrus, S., 2020. Bluetooth Based Indoor Navigation System. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 917.
- Valliappan, K.C., R. V., 2021. Autonomous Indoor Navigation for Mobile Robots. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE) ISSN: 2278-3075, 10(7), 122-126.
- Vaščák, J., Savko, I., 2018. Radio Beacons in Indoor Navigation. 2018 World Symposium on Digital Intelligence for Systems and Machines (DISA), 283-288.
- Wakchaure, M.A., Tamboli, M.S., Sonkar, S., 2022. Indoor Navigation System for Public Evacuation in Emergency Situation. Journal of Physics: Conference Series, 2327.