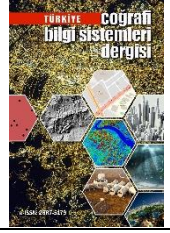




## Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/tucbis>

e-ISSN 2687-5179



### Artırılmış gerçeklik teknolojisi ile iç mekân navigasyonu

Salih Hamdi Çalık<sup>1</sup>, Fatih Gülgen<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

#### Anahtar Kelimeler:

Navigasyon  
AG  
GNSS  
İzleme  
Kapalı mekân

#### ÖZ

İç ve dış mekânın modellenmesi ve oluşturulan modellere göre navigasyon uygulamalarının tasarlanması harita mühendislerinin ilgilendiği özel çalışma alanlarından biridir. Akıllı cep telefonu kullanımındaki artışla birlikte nasıl gidilir sorusuna cevap veren navigasyon kavramı insan hayatının vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Uydu teknolojilerine bağlı küresel navigasyon sistemleri dış mekân uygulamalarında kullanıcı konumunun takibi için geçerli çözümler sunarken, iç mekânda sinyal kesintilerinden dolayı uygun bir çözüm üretmez. İç mekânda kullanıcıların konum bilgilerini elde etmek ve izleme yapabilmek için geliştirilen yöntemler ek donanım gerektirir ve yüksek maliyetlidir. Bu çalışma, akıllı cep telefonlarında kullanılabilen artırılmış gerçeklik teknolojisi ile kullanıcı konum takibi için ek donanım gerektirmeyen bir iç mekân navigasyon uygulaması geliştirmeyi hedeflemiştir. Unity 3D platformunda, Google ARCore yazılım geliştirme aracı ve C# programlama dili ile geliştirilen uygulamanın kullanılabilirliği 100 m koridor uzunluğu olan kapalı bir mekânda test edilmiştir. Yapılan doğruluk analizi uygulamanın 1 m'nin altında konum doğruluğuna ulaşabildiğini göstermiştir.

### Indoor navigation application using augmented reality technology

#### Keywords:

Navigasyon  
AR  
GNSS  
Tracking  
Indoor

#### ABSTRACT

Modelling indoor and outdoor areas and designing navigation applications based on the created models is one of the special working areas of interest for geomatics engineers. The concept of navigation, which answers the question of how to get there, has now become an indispensable part of human life with the increase in the use of smartphones. While the Global Navigation Satellite System (GNSS) provides sufficient solutions for tracking the location of users in outdoor navigation applications, it cannot provide a suitable solution due to signal interruptions in indoor areas. The methods developed to obtain and track the location information of the users indoors require additional hardware or equipment and are high cost. This study aims to develop an indoor navigation application that does not require additional equipment to track user with the augmented reality technology used in smart mobile phones. On the Unity 3D platform, the usability of the application developed with the Google ARCore software development kit and C # programming language was tested in an indoor area with a corridor length of 100 m. The accuracy analysis has shown that the application can reach position accuracy below 1 m.

#### \*Sorumlu Yazar

\*(salihcalik95@gmail.com) ORCID ID 0000 – 0002 – 6451 – 1147  
(fgulgen@yildiz.edu.tr) ORCID ID 0000 – 0002 – 8754 – 9017

#### Kaynak Göster:

Çalık S H &Gülgen F (2021). Artırılmış gerçeklik teknolojisi ile iç mekân navigasyonu. *Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi*, 3(1), 48-52

## 1. GİRİŞ

İnsanlar zamanlarının çoğunu üniversite binaları, alışveriş merkezleri ya da hastaneler gibi kapalı mekânlarda geçirir. İç mekânların karmaşıklığı, hedeflerine ulaşmak zorunda olan kişilerin navigasyon araçlarını kullanmayı tercih etmesine neden olur (Wang vd., 2009). Dil ve kültürden bağımsız olarak çoğu insan tarafından anlaşılabilen haritalar ve harita tabanlı navigasyon uygulamaları, kullanıcıların önceden bilmedikleri bir mekânda yönlendirilmelerini sağlar (Mistry vd., 2008).

Çoğu navigasyon uygulaması hem kullanıcı hem de hedef konumları belirlemek için küresel navigasyon uydu sistemini (GNSS) kullanır. GNSS, dış mekânlarda geçerli çözümler sunarken, iç mekânda sinyallerinin zayıflaması ya da bulunamaması nedeniyle iç mekân konumlandırma ve navigasyon uygulamaları için kullanışlı değildir (Kim vd., 2004; Farid vd., 2013; Dardari vd., 2015; Rehman & Cao, 2016). İç mekân navigasyon uygulamaları cihaz konumlarını elde etmek için kablosuz bağlantı (wi-fi), kablosuz yerel alan ağı (WLAN), bluetooth (BLE), radyo frekansı (RFID), ultra geniş band (UWB), atalet sensörleri (inertial sensors), bilgisayarla görme (computer vision) gibi farklı teknikler ve teknolojiler kullanır (Werner vd., 2001; Liu vd., 2007; DiVerdi & Höllner, 2008; Dardari vd., 2015; Chen vd., 2017). Konum belirlemek için bu teknolojilerin sadece birinden yararlanan uygulamaların dışında günümüzde birden çok teknolojinin bir arada kullanıldığı hibrit sistemler de sıklıkla tercih edilmektedir.

Hibrit tabanlı teknolojiler, bireysel yöntemlerin kısıtlılıklarını elimine ederek, yöntemlerin avantajlı olduğu alanlarda kullanılmasını amaçlamaktadır (Schilling, 2008). Google firması tarafından artırılmış gerçeklik (AG) uygulama geliştiricileri için üretilen ARCore yazılım geliştirme aracı, hibrit tabanlı konum takibi yapan teknolojilerin bir örneğidir (Glover, 2018). ARCore; Unity, Unreal, Android gibi birçok yazılım geliştirme platformunda uygulama oluşturulmasına imkân tanır. Sahip olduğu hareket izleme, çevresel anlama ve ışık tahmini gibi özellikleri ile AG uygulamaları için destek sağlamaktadır. ARCore hareket izleme özelliği ile mobil cihazların gerçek ortama göre göreceli konumunu hesaplayabilir, çevresel anlama özelliği duvarlar ve zeminler gibi düzlemlerin tespitini yapar. Işık tahmini özelliği ise gerçek ortama ait aydınlatma bilgisini kamera görüntüsünden algılayarak sanal nesnelerin gerçek ortamla uyumlu görünmesini sağlar.

İç mekân navigasyonu üzerine yapılan çalışmalar, temel olarak konum takip doğruluğunu artırmaya yöneliktir (Ioan vd., 2011; Emilsson vd., 2012; ; Kriz vd., 2016; Li vd., 2017; Neges vd., 2017). Konum doğruluğu mobil cihazlara eklenen farklı donanımları kullanan hibrit yöntemler kullanılarak geliştirilmektedir (Koyun & Cankaya, 2018; Li vd., 2015). Konumun kesintisiz olarak izlenebilmesinin yanında uygulamaların kullanıcı dostu bir arayüz tasarısına sahip olması da önemlidir (May vd., 2003; Rehman & Cao, 2016).

Tüm navigasyon uygulamaları, kullanıcıları yönlendirmek için bir harita altlığına ihtiyaç duyar. Bu altlık harita, kullanıcıların gerçek dünyadaki nesnelere harita sembolleriyle eşleştirmesini sağlar. Eşleştirme

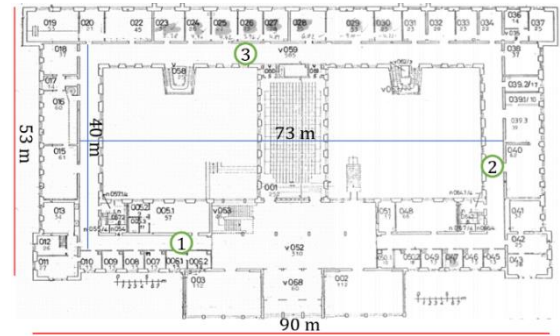
süreci bazen özellikle de daha önce harita veya harita tabanlı bir navigasyon uygulaması kullanmamış harita kullanıcıları için zorlu bir görevdir. Günümüzde AG teknolojisi, bu zorluğun üstesinden gelerek kullanıcı ve harita arayüzü arasındaki etkileşimi artırır (Tatzgern vd., 2011). AG sistemleri, bilgisayar ortamında üretilen bilgilerle gerçek ortamı zenginleştirir, kullanıcıların çevrelerine ilişkin görsel ve işitsel algılarını genişletir (Patron, 2005; Huey vd., 2011) ve haritalar ile gerçek ortam arasında bir bağlantı kurmasına gerek duymadan etkileşimli olarak hareket etmesine olanak sağlar (Vogl, 2009; Guzmán Guzmán, 2014).

Bu çalışmada, iç mekân navigasyonu için günümüz teknolojilerine uygun temel donanımlara sahip akıllı telefonlar için geliştirilen bir uygulama üzerinden AG teknolojisi kullanımının önemi vurgulanmış ve konum takip duyarlılığı analiz edilmiştir. Aynı zamanda çalışma AG'nin kapalı mekânda bir başlangıç noktasından hedefe doğru yola çıkan kullanıcıya sağladığı olanakları ve hedefe ulaşma doğruluğunu ortaya koymaktadır.

## 2. YÖNTEM

### 2.1. Çalışma Alanı

Bu çalışma Karlsruhe Teknoloji Enstitüsü'nün Güney Kampüsünde bulunan Mimarlık Fakültesi giriş katı için geliştirilmiştir (Şekil 1). Bu iç mekân akademisyen ve seminer odaları, derslikler, fakülte kütüphanesi ve bilgisayar laboratuvarları gibi toplam 47 ayrı bölümden oluşmaktadır. Mekânın uzunluğu 90 m ve genişliği 53 m'dir. Yürünebilir uzun koridorlar 73 m ve 40 m olup toplam yürünebilir uzunluk 220 m'dir. Şekil 1'de gösterilen 1, 2 ve 3 numaralı koridorların genişlikleri sırasıyla 2,50, 3,00 ve 3,50 m'dir.



Şekil 1. Çalışma alanının planı

### 2.2. Donanım

Kapalı mekân navigasyonunda kullanılacak bir akıllı cep telefonunun en önemli donanımı, diğer donanımlar arasındaki bağlantıyı sağlayan işlemcisidir. Cihazın bulunan konumu algılayabilmesi için genellikle telefonun kamerası kullanılır. Gerçek ortamdan alınan görsel bilgiler ve sensör verileri birleştirilerek kullanıcının konumu ve yönelimleri izlenebilir. Ekran, kullanıcı ve uygulama arasındaki iletişimi sağlar. Google ARCore'u kullanmak için cihazın Android işletim sisteminin 7.0 ve daha yeni sürümleri çalıştırıyor olması gerekir.

Bu çalışmada test cihazı olarak kullanılan akıllı cep telefonu Samsung Galaxy Note 9'dur. Bu cihazın teknik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Samsung Galaxy Note 9'un işlemci, RAM, kamera, sensör ve işletim sistemi sürümü gibi teknik özellikleri, hem kullanıcıların konumlarını ve yönlerini izlemede hem de yardımcı kılavuz oklarını işleme ve görüntülemeye kullanışlı ve etkilidir.

**Tablo 1.** Samsung Galaxy Note 9 teknik özellikleri

İşlemci	Samsung Exynos 9810
Bellek	6 GB RAM
Kamera	12 MP, f/1.5-2.4, 26mm
Sensörler	İvmeölçer, Jiroskop, Pusula, Barometre
Ekran Boyutu ve Çözünürlüğü	6.4 " - 1440x2960
İşletim Sistemi	Android 8.1

### 2.3. Yazılım

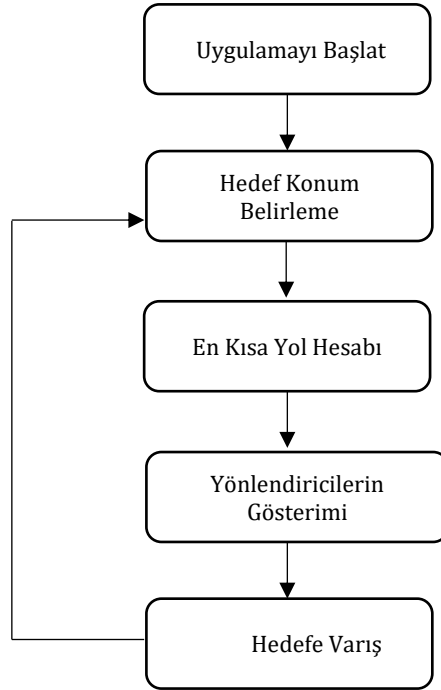
Bu çalışmada, altlık harita ve temel veri olarak çalışma alanına ait kat planı kullanılmıştır. İlk olarak kat planı Unity 3D uygulama geliştirme motoruna aktarılmıştır. Daha sonra kullanıcıların harita üzerindeki konumlarının (konum ve yönelim) takibinin yapılabilmesi için bir işaretleyici belirlenmiştir. Google AG yazılım geliştirme aracı ARCore içinde yer alan eş zamanlı konum belirleme ve haritalama (SLAM) adı verilen bir algoritma kullanılarak kullanıcıların iç mekânda takibi yapılmıştır. Bu algoritma mobil cihazın kamerası ile görsel özellikleri ilgi noktaları olarak algılar. Ardından bu ilgi noktalarını mobil cihazda meydana gelen konum değişikliklerinin belirlenmesinde kullanır. ARCore, görsel bilginin yanı sıra mobil cihazlarda yer alan atalet ölçüm sistemi (IMU) sensörlerini de kullanır. Bilgisayarla görme ve sensör tabanlı izleme yöntemlerinin bir arada kullanılması hibrit tabanlı bir izleme yöntemi olmasını sağlar. ARCore'dan edinilen konum ve yönelim bilgileri kullanılarak altlık harita üzerinde kullanıcı konumunu gösteren işaretleyici yeri güncellenir. Bu bağlantı C# yazılım dili kullanılarak geliştirilen kodlar ile yapılmıştır. Başlangıç noktası ile hedef noktası arasındaki en kısa yol ise A Star Search algoritmasına dayanan Unity eklentisi ve C# yazılım dili kullanılarak hesaplanmıştır.

### 2.4. Uygulama Arayüzü

Uygulamanın arayüz tasarımı Unity 3D geliştirme motoru ve bu platform tarafından desteklenen C# programlama dili kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Unity 3D, oyunlar ve diğer etkileşimli 3B içerikler oluşturmak için zengin kullanıma ve birçok kütüphane desteğine sahip Unity Technologies firması tarafından üretilmiş bir geliştirme motorudur. Unity'de temel AG işlevleri etkinleştirilerek AG uygulamaları oluşturulabilmektedir. Hibrit bir platforma sahip olan Unity; Android, IOS ve Windows gibi farklı platformlarda geliştirilen uygulamalar için AG yönlendiricileri üretilebilmektedir.

Geliştirilen AG tabanlı iç mekân navigasyon uygulamasının çalışma prensibi Şekil 2'de gösterilmektedir. Arayüz tasarımı yapılırken

kullanıcıların en rahat ve en kolay şekilde kullanabilmeleri ön planda tutulmuştur. Bu nedenle, uygulamada kullanıcıların gitmek istedikleri konumu seçip bu seçimi silebilecekleri sadece iki buton mevcuttur. Ayrıca, kullanıcıların kat planı üzerindeki konumlarını takip edebilecekleri mini bir harita vardır (Şekil 3a). Kullanıcı hedef noktayı belirledikten sonra en kısa yol hesaplanır ve kullanıcının kat planı üzerinde gideceği yol gösterilir. Bu ekranın yanı sıra, kullanıcıları yönlendirmede ana unsur olarak oluşturulan yönlendirici ok, AG teknolojisi kullanılarak kullanıcıların kamera görüntüleri üzerinde görüntülenmektedir (Şekil 3b). Yönlendirici ok kullanıcıların gerçek ortam ile uygulama arasında bağlantı kurmasını kolaylaştırır.



**Şekil 2.** Uygulama iş akışı diyagramı



(a)

(b)

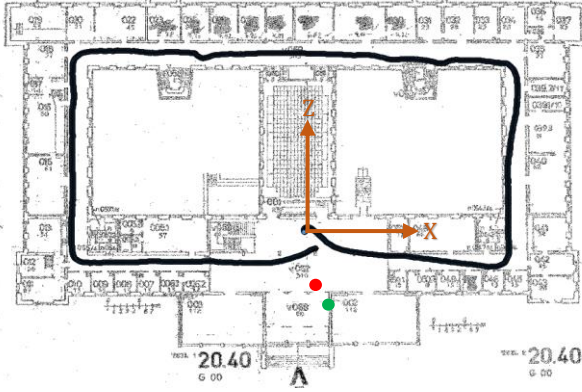
**Şekil 3.** a) Kullanıcı başlangıç arayüzü ve b) yönlendirme arayüzü

## 3. BULGULAR

Geliştirilen sistemi değerlendirmek için, belirli bir sabit noktadan başlayan ve tekrar aynı noktaya dönen luplar oluşturulmuştur. Koridorların tamamını kapsayan

en uzun lup Şekil 4'te görülmektedir. Burada yeşil nokta başlangıç konumunu, kırmızı nokta ise navigasyon sonucu uygulamanın hesapladığı başlangıç noktasının konumunu göstermektedir.

Bu rotanın dışında farklı navigasyon mesafelerine sahip dört farklı rota daha oluşturulmuştur. Toplam beş rota üzerinde beş ayrı yürüyüş gerçekleştirilmiştir. İzleme süreçlerinin sonunda uygulama tarafından hesaplanan başlangıç noktasının konumu ( $X_i, Z_i$ ) ile gerçek konum değeri ( $X_g, Z_g$ ) karşılaştırılarak konum doğrulukları ( $\sigma_{gi}$ ) formül 1'e göre hesaplanmıştır (Tablo 2).



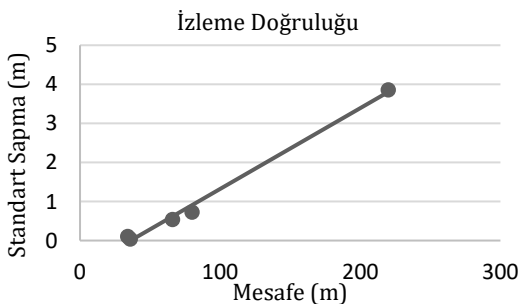
**Şekil 4.** Çalışma alanını kapsayan yürümenin kat planı üzerinde gösterimi

$$\sigma_{gi} = \sqrt{(X_i - X_g)^2 + (Z_i - Z_g)^2} \quad (1)$$

**Tablo 2.** Navigasyon mesafesi ve konum doğruluğu arasındaki ilişki

Navigasyon Mesafesi (m)	Konum Doğruluğu (m)
220	3.86
80	0.73
66	0.55
36	0.04
34	0.11

Tablo 2'ye göre 220 m'lik mesafe için 3,86 m'lik bir hata meydana geldiği görülmektedir. Ek ekipmana ihtiyaç duymayan kısa navigasyon mesafelerinde ise elde edilen konum doğrulukları 1 m'nin altındadır. Navigasyon mesafesi ve konum doğrulukları kullanılarak oluşturulan regresyon eğrisi, Şekil 5'te gösterilmektedir. Bu eğri, uygulamanın konum doğruluğunun, navigasyon mesafesi yaklaşık 100 m olana kadar bir metrenin altında kaldığını göstermektedir.



**Şekil 5.** İzleme doğruluğu

#### 4. SONUÇLAR

AG teknolojisi, sanal nesnelerin gerçek ortamda eş zamanlı olarak görüntülenmesini sağlar. Navigasyon uygulamalarında AG kullanıcıların yönlendirilmesini sağlar. Günümüzde AG ile iç mekân navigasyon uygulamalarının bir arada yer aldığı çalışmalar popüler konular arasında yer almaktadır. Diğer taraftan ülkemizde bu konu üzerine yapılan akademik çalışmalar yeterli olgunluğa ulaşmamıştır. Bu çalışmada AG teknolojisini kullanan, günümüz teknolojisine uygun donanımına sahip bir mobil cihaz için iç mekân navigasyon uygulaması geliştirilmiştir. Uygulamanın geliştirildiği çalışma alanı Karlsruhe Teknoloji Enstitüsü Mimarlık Fakültesi giriş katı olarak seçilmiştir. Buna karşın gerçekleştirilen uygulama tek bir kat için hazırlanmıştır. Uygulamanın farklı katlar için geliştirilebilmesi için barometre sensör verilerinin sisteme entegre edilmesi düşünülebilir.

Geliştirilen mevcut uygulamada kullanıcı konum takibi için telefon sensörleri ve bilgisayarla görme teknolojisinin birlikte çalıştığı hibrit tabanlı bir izleme yöntemi kullanılmıştır. İzleme yönteminin doğruluğunu belirlemek için farklı navigasyon mesafelerinden kaynaklanan konum doğrulukları hesabını içeren bir doğruluk analizi yapılmıştır. Bu analiz sistemin, 100 m'ye kadarki mesafelerde konum doğruluğunun 1 m'nin altında olduğunu göstermiştir. Çalışma bölgesinin tamamını kapsayan 220 m için doğruluğunun düştüğü anlaşılmıştır. Bu sonucun temel nedenlerinden biri, bina içindeki koridorların bazı bölümlerinde zemindeki desenlerin aynı şekilde devam etmesi ve uzun beyaz duvarların bulunmasıdır. Bu alanlarda konum hesaplanması için yeterli ilgi noktası tespit edilemediğinden konum takibinin zaman zaman durduğu gözlemlenmiştir. Doğruluğu düşüren diğer neden, telefon sensörlerinin uzun mesafeli takip sırasındaki sürüklenme etkisidir. Sürüklenme etkilerini giderebilmek ve doğruluğu artırabilmek için sistem tarafından izlenen konum bilgisi, konum doğruluğunun düştüğü 100 m'de bir işaretçiler kullanılarak güncellenebilir.

Doğruluk analizi sonucuna göre kullanıcıların ek ekipmana ihtiyaç duymadan takip edilebileceği sonucuna varılmıştır. Ancak, test alanının değişmesi ve ortamda algılanabilir ilgi noktasının değişmesi ile doğruluk analizi sonuçlarının değişmesi mümkündür. Bu kapsamda gelecek çalışmalarımızda daha geniş bir veri seti kullanılması ve farklı bir mekânda sistemin performansının değerlendirilmesi planlanmaktadır. Ayrıca gezinme süresi, kullanım kolaylığı ve kullanıcı memnuniyeti dahil olmak üzere kullanıcı-uygulama performans ölçümlerinin değerlendirilmesi dikkate alınarak, AG teknolojisinin navigasyon uygulamalarına katkısı ayrıntılı bir şekilde araştırılacaktır. Mobil cihazlarda yer alan sensörlerin veya mobil cihazlara ek sensörlerin entegrasyonu da gelecek çalışmalarımız kapsamında ele alınacaktır.

**BİLGİLENDİRME/TEŞEKKÜR**

Bu makale, yazarlar tarafından 1st Intercontinental Geoinformation Days (IGD) adlı kongrede, 25-26 Kasım 2020 tarihinde Mersin (Türkiye) 'de sunulmuştur. Bizimle deneyimlerini ve çalışma alanına ait verileri paylaştığı için Dr.-Ing. Sven Wursthorn'a teşekkür ederiz.

**KAYNAKÇA**

- Chen A T Y, Fan J, Biglari-Abhari M, Kevin, I & Wang, K (2017). A computationally efficient pipeline for camera-based indoor person tracking. *International Conference on Image and Vision Computing New Zealand (IVCNZ)*, 1-6, Christchurch, New Zealand.
- Dardari D, Closas P & Djurić P M (2015). Indoor tracking: Theory, methods, and technologies. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 64(4), 1263-1278.
- DiVerdi S & Höllerer T (2008). Heads up and camera down: A vision-based tracking modality for mobile mixed reality. *IEEE Transactions on visualization and computer graphics*, 14(3), 500-512.
- Emilsson E & Rydell J (2012). Sensor fusion for improved indoor navigation. In *Electro-Optical Remote Sensing, Photonic Technologies, and Applications VI* (Vol. 8542, p. 85420M). International Society for Optics and Photonics.
- Farid Z, Nordin R & Ismail M (2013). Recent advances in wireless indoor localization techniques and system. *Journal of Computer Networks and Communications*, 1-12, <https://doi.org/10.1155/2013/185138>.
- Glover J (2018). Unity 2018 augmented reality projects: build four immersive and fun AR applications using ARKit, ARCore, and Vuforia. *Packt Publishing Ltd*.
- Guzmán Guzmán, J D (2014). Augmented Reality user interface analysis in mobile devices. *MS Thesis*, Polytechnic University of Catalonia, Barcelona.
- Huey L C, Sebastian P & Drieberg M (2011). Augmented Reality based indoor positioning navigation tool. In *IEEE Conference on Open Systems*, 256-260, Langkawi, Malaysia.
- Iozan L I, Collin J, Takala J & Rusu C (2011). Improved indoor navigation system based on MEMS technology. In *ISSCS 2011-International Symposium on Signals, Circuits and Systems* (pp. 1-4). IEEE.
- Kim J W, Jang H J, Hwang D H & Park C (2004). A step, stride and heading determination for the pedestrian navigation system. *Journal of Global Positioning Systems*, 3(1-2), 273-279.
- Koyun A & Cankaya I A (2018). Implementation of a Beacon-Enabled Mobile Indoor Navigation System Using Augmented Reality. *Tehnički vjesnik*, 2018, 25.4: 979-985.
- Kriz P, Maly F & Kozel T (2016). Improving indoor localization using bluetooth low energy beacons. *Mobile Information Systems*, 2016.
- Li Y, Zhuang Y, Lan H, Zhou Q, Niu X & El-Sheimy, N (2015). A hybrid WiFi/magnetic matching/PDR approach for indoor navigation with smartphone sensors. *IEEE Communications Letters*, 20(1), 169-172.
- Li Y, Zhuang Y, Zhang P, Lan H, Niu, X & El-Sheimy N (2017). An improved inertial/wifi/magnetic fusion structure for indoor navigation. *Information Fusion*, 34, 101-119.
- Liu H, Darabi H, Banerjee P & Liu J (2007). Survey of wireless indoor positioning techniques and systems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, 37(6), 1067-1080.
- May A J, Ross T, Bayer S H & Tarkiainen, M J (2003). Pedestrian navigation aids: information requirements and design implications. *Personal and Ubiquitous Computing*, 7(6), 331-338.
- Mistry P, Kuroki T & Chang C (2008). TaPuMa: tangible public map for information acquirement through the things we carry. In *Proceedings of the 1st international conference on Ambient media and systems*, 1-5, Brussels, Belgium.
- Neges M, Koch C, König M & Abramovici M (2017). Combining visual natural markers and IMU for improved AR based indoor navigation. *Advanced Engineering Informatics*, 31, 18-31.
- Patron C (2005). Konzept für den Einsatz von Augmented Reality in der Montaeplanung. *PhD Thesis*, Technical University of Munich, Munich.
- Rehman U & Cao S (2016). Augmented-reality-based indoor navigation: A comparative analysis of handheld devices versus google glass. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 47(1), 140-151.
- Schilling T (2008). Augmented reality in der produktentstehung. *PhD Thesis*, Technical University of Ilmenau, Ilmenau.
- Tatzgern M, Kalkofen D, Grasset R & Schmalstieg D (2011). Embedded virtual views for augmented reality navigation. In *Proc. Int. Symp. Mixed Augmented Reality-Workshop Vis. Mixed Reality Environ.*, 115-123, Basel, Switzerland.
- Vogl W (2009). Eine interaktive räumliche Benutzerschnittstelle für die Programmierung Von Industrierobotern. *Herbert Utz Verlag*. ISBN:3-83160-869-5.
- Wang P P, Wang T, Ding D, Zhang Y, Bi W & Bao Y (2009). Mirror world navigation for mobile users based on augmented reality. In *Proceedings of the 17th ACM international conference on Multimedia*, 1025-1026, Beijing, China.
- Werner M, Kessel M & Marouane C (2011). Indoor positioning using smartphone camera. *International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation*, 1-6, Guimarães, Portugal



© Author(s) 2021. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>