



DETERMINING DISTANCE MEASUREMENT ACCURACY BY PEDOMETER, GNSS AND IMU AND THE NEW DEVELOPED ACCELERATION SENSOR BASED METHOD

Uğur Acar*¹ 

¹Yıldız Technical University, Faculty of Civil Engineering, Geomatic Engineering Department, Istanbul, Turkey

Abstract

Original scientific paper

Positioning applications have started to become widespread in recent years with the acquisition of the ability of mobile phones to determine location. While generally GNSS and positioning methods are used, as a result of the GNSS system not working efficiently in closed areas, efforts have been made to develop other methods for position determination. The basic working principle of these methods is to establish common local networks and to determine the location by measuring distances with these local networks. For this, Bluetooth, wireless networks and signals with different frequencies, ultrasonic signals, RFID modules working with radio frequencies, etc. systems are used. Both real-time data can be produced and the generated data can be saved and stored on servers and then offered to users. According to the technology used, data with high and medium position accuracy can be obtained. However, due to the high cost of these systems due to the need for networking and the inability to produce results in open areas, IMU-based only distance measuring solutions have been created, especially in sports applications. In the presented article, methods and filters have been developed for obtaining distance measurement, which is the basis of position determination, with high accuracy using only the acceleration sensor. The obtained results have compared with other distance measuring methods and the actual distance. The developed filters have been developed to prevent false step detection, filter static movements, and generally calculate the correct distance by reducing the noise of the acceleration sensor, based on variable stride length detection and distance measurement calculation. The amount of error reached 60% in the distance obtained with the acceleration sensor without using filters, the amount of error decreased below 2% with the developed method. These results clearly showed that the developed method can be used for distance measurement and sub-meter position determination.

Keywords: GNSS, IMU, distance measurement, pedometer.

PEDOMETRE, GNSS VE IMU İLE MESAFE ÖLÇÜM DOĞRULUĞUNUN TESPİT EDİLMESİ VE YENİ GELİŞTİRİLEN İVME SENSÖRÜ TEMELLİ YÖNTEM

Özet

Orijinal bilimsel makale

Konum belirleme uygulamaları, son yıllarda mobil telefonlarının da konum belirleyebilmesi kabiliyetini edinmesi ile yaygınlaşmaya başlamıştır. Genel olarak GNSS ile konum belirleme yöntemleri kullanılırken, kapalı alanda GNSS sisteminin verimli olarak çalışmaması neticesinde, konum belirleme için başka yöntemler geliştirilmesi çabası içine girilmiştir. Yaygın olarak yerel ağlar kurmak ve bu yerel ağlar ile mesafeler ölçerek konum belirlemek bu yöntemlerin temel çalışma prensibidir. Bunun için, Bluetooth, kablosuz ağlar ve değişik frekanslara sahip sinyaller, ses ötesi sinyaller, radyo frekansları ile çalışan RFID modülleri vb. sistemler kullanılmaktadır. Hem gerçek zamanlı veriler üretilebilmekte hem de üretilen veriler sunuculara kaydedilerek saklanabilmekte ve daha sonra kullanıcılar hizmetine sunulmaktadır. Kullanılan teknolojiye göre yüksek ve orta konum doğruluğuna sahip veriler elde edilebilmektedir. Ancak bu sistemlerin ağ oluşturma gereksinimi yüzünden yüksek maliyetli olması ve açık alanlarda sonuç üretmemesi yüzünden özellikle spor uygulamalarında IMU temelli sadece mesafe ölçen çözümlerin oluşturulmasına neden olmuştur. Sunulan makalede, konum belirlemenin temeli olan mesafe ölçümünün yüksek doğrulukta sadece ivme sensörü kullanılarak elde edilmesine yönelik yöntem ve filtreler geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, diğer mesafe ölçme yöntemleri ve gerçek mesafe ile kıyaslanmıştır. Geliştirilen filtreler, değişken adım uzunluğu tespiti ile mesafe ölçümü hesabına dayalı olarak, yanlış adım tespitini engellemek, statik hareketleri filtrelemek ve genel olarak ivme sensörünün gürültülerini azaltarak doğru mesafeyi hesaplamak amacıyla geliştirilmiştir. Filtreler kullanılmadan ivme sensörü ile elde edilen mesafede hata miktarı %60'lara ulaşırken, geliştirilen yöntem ile hata miktarı %2'nin altına düşmüştür. Bu sonuçlar, geliştirilen yöntemin mesafe ölçümünde ve metre altı konum belirlemede kullanılabilirliğini açıkça göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: GNSS, IMU, mesafe ölçme, pedometre.

* Corresponding author.

E-mail address: uacar@yildiz.edu.tr (U. Acar)

Received 28 February 2022; Received in revised form 27 May 2022; Accepted 16 June 2022

2587-1943 | © 2022 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1079781>

1 Giriş

Konum temelli servisler (Location Based Services) günlük yaşantımızın büyük bir parçası olmaya başlamıştır. Kişi konumu, navigasyon, konuma dayalı yoğunluk bilgileri elde etme, reklamcılık, yapay gerçeklik vb. birçok uygulamanın temelini oluşturmaktadır. Konum doğruluğunun miktarı uygulamaların ihtiyaçlarına göre değişmektedir. Ancak son yıllarda konum doğruluğunun beklentisi birçok uygulamada metre altı olarak belirlenmiştir. Kişi konumunun belirlenmesinde, Küresel Konum Belirleme Sistemi (GNSS - Global navigation satellite system) yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, GNSS sadece açık alanda tatmin edici sonuçlar üretebilmektedir. Yaygın olarak kullanılan L1 banda sahip GNSS alıcıları üç, beş metrelik bir konum doğruluğu vermektedir. Bu doğruluk miktarı genel olarak yeterli gibi görünse de kapalı alanlarda kişi konumu GNSS ile belirlenmemektedir. Bu nedenle çeşitli sistemler geliştirilmiştir.

Kişi konum belirleme için kullanılan teknolojilerden bir tanesi Radyo Frekansı ile Tanımlama (RFID - Radio frequency identification) kullanan sistemlerdir. Bu sistem çok uygun maliyetli yapısı ile öne çıkmaktadır. Ancak menzil ile ilgili dezavantajları bulunmaktadır. Konum belirleme sistemi Alınan Sinyal Güç Bilgisi (RSSI - (Received Signal Strength Indication) ile yani vericilerden alıcılara ulaşan sinyalin gücüne göre mesafenin tespit edilmesine dayanmaktadır [1, 2]. “Spot-On” ve “LANDMARC” RFID temelli konum belirleme sistemlerinden en önemli iki sistemdir. Ancak her iki sistemde de en büyük sorunu metre üstünde konum doğruluğuna sahip olmalarıdır [3]. RFID gibi radyo frekansını temel alan bir diğer sistem de RADAR kullanılan sistemlerdir [4]. Bu sistemin konum doğruluğu birçok sistem için yetersiz olan iki, üç metre düzeyindedir. Bir diğer radyo frekansı ile çalışan sistem ise Ultra Geniş Bant (UWB - Ultra Wide Band) sistemidir. Bu sistem son yıllarda geliştirilmiş olan konum doğruluğu çok yüksek olan bir sistemdir. Bu sistemin diğer radyo frekansı ile çalışan sistemlerden farkı çok az kullanılan 3,1 GHz ile 5,15 GHz ultra geniş frekansları kullanmasıdır. Bu sayede diğer frekanslarda çalışan birçok cihazdan etkilenmemektedir. Sistemin konum doğruluğu 10 cm'ye kadar düşebilmektedir. Bu sayede birçok uygulama için

çözüm olarak gösterilmektedir. Sistemin pil tüketimi çok düşüktür ve sensörler ucuzdur [5, 6, 7, 8]. Ancak henüz geliştirilmekte olan bir teknolojidir. Bu nedenle uygulamaları henüz yeterince yaygınlaşmamıştır. Ayrıca kullandığı frekans yüzünden sinyaller insan ve duvar gibi objeleri geçememektedir. Diğer taraftan sinyal menzilleri 15 metre civarındadır. Bu da sistemin çok fazla alıcı ihtiyacı olduğu anlamına gelmektedir. Bu nedenle iyi bir kapsama alanı elde etmek için alan içerisine çok fazla sayıda alıcı yerleştirme ihtiyacı vardır. Diğer bir sistem ise ultrasonik alıcı teknolojisini kullanan sistemlerdir. Bu sistemlerde daha önce anlatılan sistemlerin aksine aktif sinyal üreten verici, takip edilmek istenen nesne üzerindedir. Bu durum çok fazla alıcının yerleştirilmesi ve her nesne üzerine daha fazla pil tüketen ve maliyeti yüksek olan vericiler yerleştirilmesine neden olmaktadır [9].

En yaygın olarak kullanılan sistem ise Kablosuz Yerel Alan Ağı (WLAN - Wireless Local Area Network) (IEEE 802.11 abc, ayrıca Wi-Fi olarak da tanımlanır.) sinyallerini kullanan sistemlerdir [4, 10]. Bu sistemin yaygın olma nedeni, çok yaygın olarak WLAN ağlarının halihazırda kurulu olması nedeniyle düşük maliyetli bir sistem olmasıdır. Ayrıca takip edilmesi istenilen birçok cihaz da WLAN donanımına sahiptir. Sistemin diğer bir avantajı ise, WLAN sinyallerinin uzun mesafeler boyunca iletebilmesidir [11]. Benzer şekilde Bluetooth (Mavidiş) teknolojisi kullanan sistemler de WLAN kullanan sistemler ile aynı avantajlara sahiptir. Her iki sistem de aynı zamanda düşük enerji tüketmektedir. Bluetooth teknolojisi yaygın kullanımda düşük menziller ile çalışsa bile 500 metreye kadar sinyal ulaştırabilen ürünler de mevcuttur [12]. Her iki sistemde de konum belirlemede RFID ile aynı yöntem olan RSSI kullanılmaktadır. Belirtilen avantajların yanı sıra, bu sistemler düşük konum doğruluğuna sahiptir. Ancak hibrit sistemlere uyumlu ve açık olan bu sistem halen en yaygın sistemlerden birisidir.

Bir diğer sistem ise daha önce bahsedilen tüm sistemlerden çok farklı bir teknoloji kullanan, takip edilen kişi üzerine bir kamera yerleştirilmesi ile sağlanan optik kapalı alan konum belirleme sistemidir. Sistem kamera görüntüsü içinde konumları belirli olan objelerin tespit edilmesine dayalı olarak çalışmaktadır [13]. Bu sistem, yüksek maliyeti yüzünden ancak özel projelerde kullanılabilir. Kapalı alanda konum belirleme sistemleri ile ilgili özellikler Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Konum belirleme sistemlerinin karşılaştırılması [14].

Sistem	Açık Alan	Kapalı Alan	Gerçek Zamanlılık	Doğruluk	Kapsama Alanı	Sinyal	Veri Hızı	Çalışma Prensipleri	Maliyet
GPS	+		+	1-5m	Tüm Dünya	Radyo Dalgaları	20Hz	TOA, Laterasyon	Yüksek
Active Badge		+	+	7 cm	5m	Kızılötesi	0.1Hz	TOA, Laterasyon	Orta
Active Bat		+	+	9cm	50m	Ultrasound	75Hz	TOA, Laterasyon	Orta
Cricket		+	+	2cm	10m	Ultrasound	1Hz	TOA, Laterasyon	Düşük
Dolphin		+	+	2cm	Oda Ölçeği	Ultrasound	20 Hz	TOA, Laterasyon	Orta
Wave Lan		+	+	3m	Oda Ölçeği	Radyo Dalgaları	4Hz	RSS, Üçgenleme	Orta
UWB		+	+	10cm	15m	Radyo Dalgaları	1Hz	TOA	Orta
SPOT ON		+	+	3m	Oda Ölçeği	Radyo Dalgaları	2Hz	RSS, Üçgenleme	Düşük
Land Marc		+	+	1-2m	50m	Radyo Dalgaları	70Hz	RSS, Üçgenleme	Orta
Radar		+	+	2-3m	Oda Ölçeği	Radyo Dalgaları	4Hz	RSS, Üçgenleme	Orta
Comp Vision		+	+	10cm	Oda Ölçeği	Kamera Fotoğrafı	3.5Hz	Görüntü İşleme	Yüksek
Cep Telefonu	+		+	50m	Açık Alan	Radyo Dalgaları	Değişken	Telefon Bağlantısı	Orta
INS/RFID		+	+	2m	Kapalı Alan	Radyo Dalgaları	100Hz	RSS, INS	Orta
FPM/RFID		+	+	1.7m	Kapalı Alan	Radyo Dalgaları	100Hz	RSS, INS	Orta

Yukarıda anlatılan sistemler çeşitli teknolojiler ile konum üretmektedir. Bazı sistemler, elde edilen sinyal gücünü mesafeye çevirmekte, bazı sistemler sinyalin gidiş geliş zamanı arasındaki farkı ölçmekte Sinyal varış zamanı (TOA - Time of Arrival) [15, 16], bazı sistemler direk mesafe ölçümü yapmakta, bazı sistemler ise açı ölçümü Sinyal Varış Açısı (AOA - Angle of Arrival) [17, 18] yapmaktadır. Elde edilen mesafeler ve açılar ise, trilateration (trilaterasyon), triangulation (üçgenleme) gibi hesaplamalar ile konuma çevrilmektedir.

Konum belirlemenin temeli açı ve mesafenin bilinmesine dayanmaktadır. “Bir A noktasının koordinatları ile diğer bir nokta olan B noktası arasındaki uzunluk ve A noktasındaki semt açısı bilinirse B noktasının koordinatları hesaplanabilir.” ((1) ve (2) denklemleri).

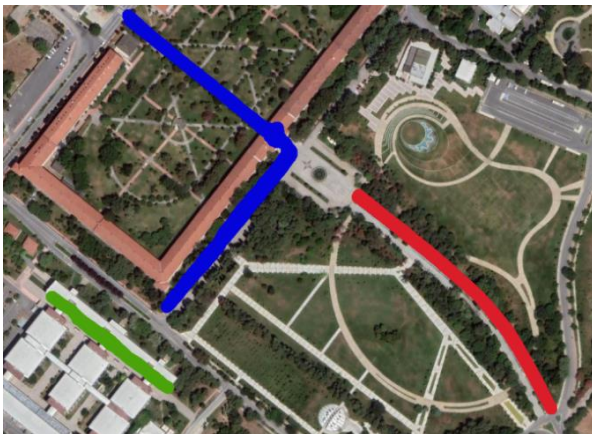
$$Y_b = Y_a + |AB| \cdot \sin(AB) \quad (1)$$

$$X_b = X_a + |AB| \cdot \cos(AB) \quad (2)$$

Konum belirlemenin iki önemli parametresinden mesafenin doğru hesaplanabilmesi bu nedenle çok önemlidir. Sunulan çalışmada, tüketici elektroniğinde kullanılan güncel teknolojilerin mesafe ölçümleri kıyaslanmış (Gerçek Mesafe, GNSS, IMU, Pedometre) ve IMU temelli mesafe ölçme sistemi geliştirilmiştir.

2 Çalışma Alanı

Sunulan çalışmada testler, İstanbul, Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa kampüsünde yer alan üç farklı rotada yapılmıştır (Şekil 1). Testler üç farklı ortamda gerçekleştirilmiştir. Testlerin bir tanesi binaların arasında, bir diğeri bina geçişi olan ağaç yoğunluğu olan bir rotada, sonuncusu da nispeten daha açık bir alanda yapılmıştır. Test alanı seçilirken, konum doğruluğunun test edilebilmesi için GNSS'in iyi çalıştığı, ancak konum kalitesinin zaman zaman zorlanabileceği, fazla eğim olmayan ve fazla yön değiştirme olmayan rotalar seçilmiştir.



Şekil 1. Mesafe doğruluğu testi yapılan rotalar.

3 Önerilen Yöntem

Çalışmada mesafe ölçümleri, Telefon GNSS alıcısı (1 HZ L1, L5 Band) (TGPS), veri loglama (veri günlüğü tutma) ile telefona bağlanabilen GNSS alıcısı (5 Hz. L1 Bant) (LGPS), yine telefona bağlanabilen 20 Hz. veri hızına sahip IMU (Inertial Measurement Unit- İnersiyal Ölçme Ünitesi) (ivme ölçer ve jiroskop) (LIMU) ve Cep telefonunda yer alan Huawei Health pedometre temelli mesafe ölçme sistemi ile yapılmıştır (HHP). Sunulan çalışmada geliştirilen yöntem ise GNSS kullanmadan sadece 20 Hz. IMU ile elde edilen veriler üzerinden yapılmıştır. Bu amaçla aşağıda tanımlanan 3 farklı test gerçekleştirilmiştir.

GNSS cihazlarından alınan koordinatlar, coğrafi koordinat sisteminde elde edildiği için mesafe hesaplanmasında Haversin formülleri ile iki boyutlu olarak hesaplanmıştır. HHP ile ise yazılımda direk mesafe ve adım sayısını vermektedir.

3 farklı güzergahta yapılan ölçümlerin sonuçları aşağıdaki gibidir (Tablo 2).

GNSS alıcıları mobil cihazlarda yüksek miktarda pil tüketmektedir ve maliyetleri yüksektir. Özellikle günlük sağlık ve spor takibi yapılan cihazlarda bu algılayıcının kullanımı bu nedenle daha düşüktür. Ancak spor faaliyetlerinde kullanıcılar koşu, yürüyüş, bisiklet gibi sporlarda ne kadar mesafe kat ettiklerini doğru olarak ölçmeyi istemektedir. Bu nedenle GNSS kullanmadan, daha düşük maliyetli olan ve düşük güç tüketimine sahip ivme ölçer ve jiroskop içeren IMU'lar bu tip aktivitelerin tespit edilmesi için kullanılan cihazlarda yaygın olarak yer almaktadır. Bu cihazlarda mesafe hesaplaması, ivme sensörü üzerinden yüksek frekans ile alınan veriler ile sağlanmaktadır. İvmenin birinci derece integrali ile hız elde edilmesi ve ikinci derece integralinin alınmasıyla yolun elde edilmesi teorik olarak mümkündür. Ancak özellikle düşük maliyetli ivme sensörleri yüksek miktarda gürültüye sebep olduğu için, yapılan bu hesaplamalar ciddi miktarda mesafe (yol) hatasına neden olmaktadır. Test alanlarında, hiçbir filtre kullanılmadan yukarıda belirtilen yöntemle göre hesaplanan mesafeler Tablo 3'de verilmiştir. İvmeden, hızın hesaplanması ve hızdan da yolun hesaplanması yöntemi yukarıdaki tabloda da görüldüğü gibi ciddi miktarda gürültü sebebiyle büyük hatalara yol açmaktadır. Bu nedenle her bir hareketin tek başına incelenmesi ve böylece sensörde oluşan hataların üst üste eklenerek birikmeden hesaplanması yöntemi yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu yöntemde en yaygın olarak kullanılan yöntem ise adım sayısının hesaplanmasıdır.

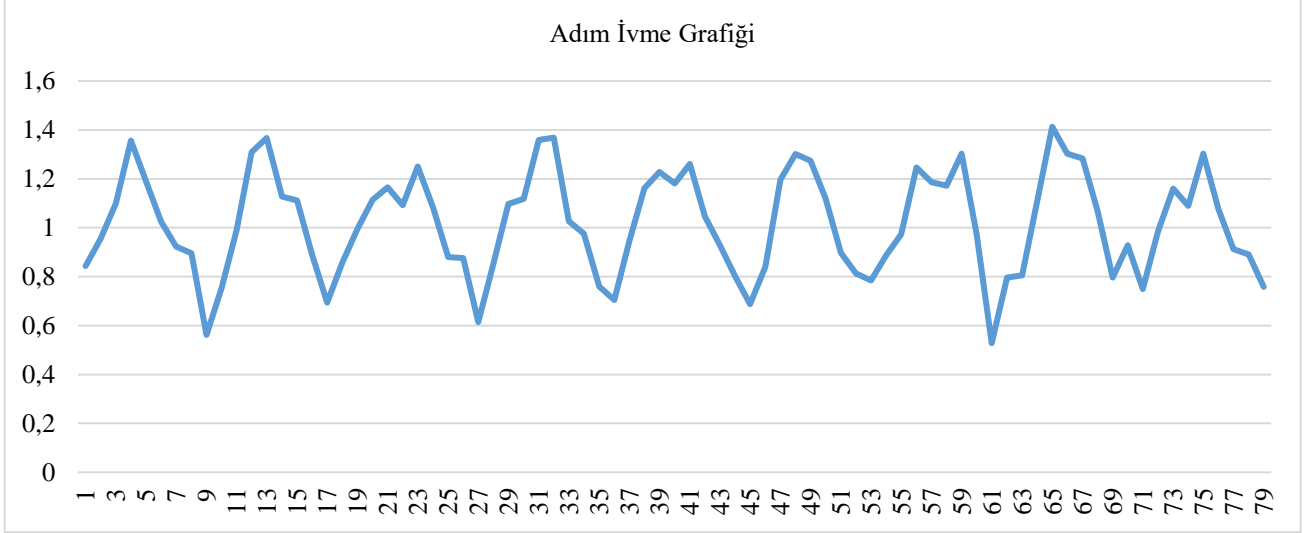
Temel olarak ivme sensöründen elde edilen bir eksene ait hareketlerin incelenmesi yerine, cihazın duruşu değişebileceği için üç eksene ait ivmelerin ortalaması alınır ve hareketleri incelenir [19, 20]. Hareketler incelendiği zaman ortalama ivmenin yükselip alçalma morfolojisinin adım atma hareketi ile paralel olduğu görülmektedir (Şekil 2).

Tablo 2. Üç güzergahta yapılan ölçümler ve hata miktarları.

	Gerçek Uzunluk (m)	TGPS			LGPS			HH		
		Ölçülen Uzunluk	Farklar (m)	Farklar %	Ölçülen Uzunluk	Farklar (m)	Farklar %	Ölçülen Uzunluk	Farklar (m)	Farklar %
Test1	563	561	2	0,36	558	5	0,89	555	8	1,42
Test2	797	824	-27	-3,39	828	-31	-3,89	776	21	2,63
Test3	254	260	-6	-2,36	261	-7	-2,76	229	25	9,84

Tablo 3. Üç güzergâhta ham filtresiz ivme sensörü ile yapılan ölçümler ve hata miktarları yapılan ölçümler ve hata miktarları

	Gerçek Uzunluk (m)	LIMU Uzunluk (m)	Farklar (m)	Farklar %
Test1	563	867	-304	-54,00
Test2	797	1135	-338	-42,41
Test3	254	409	-155	-61,02

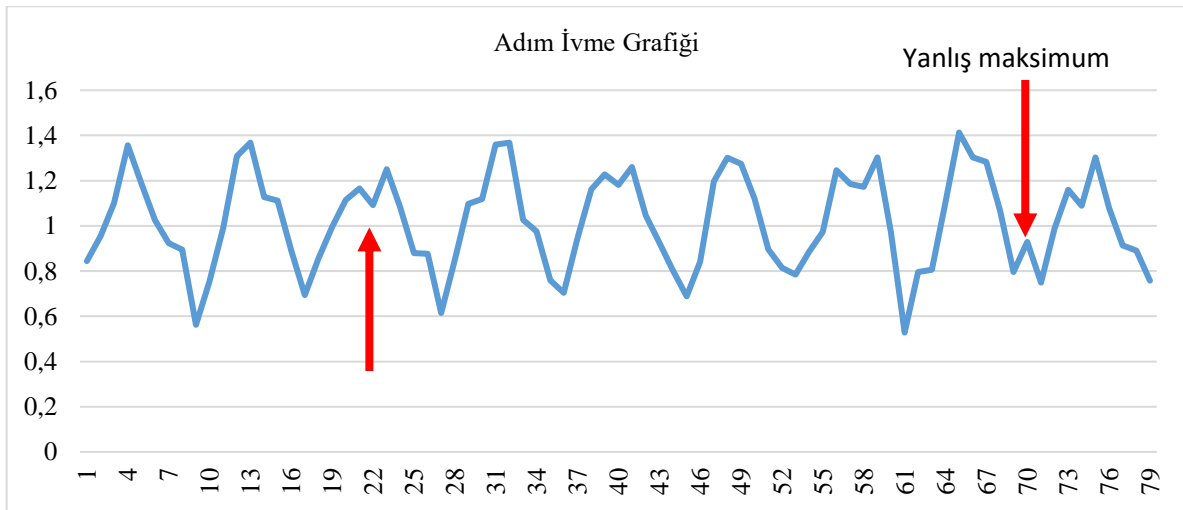
**Şekil 2.** Üç eksene ait ivme ortalamasının yürürken oluşturduğu grafik.

Şekil 2’de de görüldüğü gibi, her bir adımın atılması ile ivme artmakta ve sonraki adımın ileriye atılmasına kadar düşmekte ve tekrar artmaktadır. Doğru mesafenin ölçülmesinde adımın kullanılması, adımın tespit edilmesi ve buna bağlı olarak adım uzunluğunun tespit edilmesi ile mümkündür. İlk uygulamalar sabit adım uzunluğuna dayalı olarak yapılsa bile, doğruluğu düşük olduğu için değişken adım uzunluğu yöntemi kullanılmıştır. Değişken adım uzunluğunu ve yürüme hızı aşağıdaki formüller ile hesaplanır.

$$K_{hız} = 0.68 - 0.37 \times V_{adım} + 0.15 \times V_{adım}^2 \quad (3)$$

$$L_{adım} = K_{hız} \times \sqrt[4]{a_{3D,max} - a_{3D,min}} \quad (4)$$

Bu denklemdeki $a_{3D,max}$ değeri ivme normunun maksimum olduğu değeri, desenin tepe noktasını, $a_{3D,min}$ değeri ise ivme normunun minimum olduğu değeri, çukur noktasını, temsil etmektedir [10]. Ancak Şekil 3’de de görüldüğü üzere, elde edilen ham ivme verilerinde yanlış maksimum ve minimum değerler yer almaktadır. Bu yanlış değerler de direk olarak adım uzunluğunu hesabında yanlış sonuçlara yol açmaktadır.

**Şekil 3.** Filtrelenmemiş verilerde yanlış maksimum ve minimum değer seçimleri.

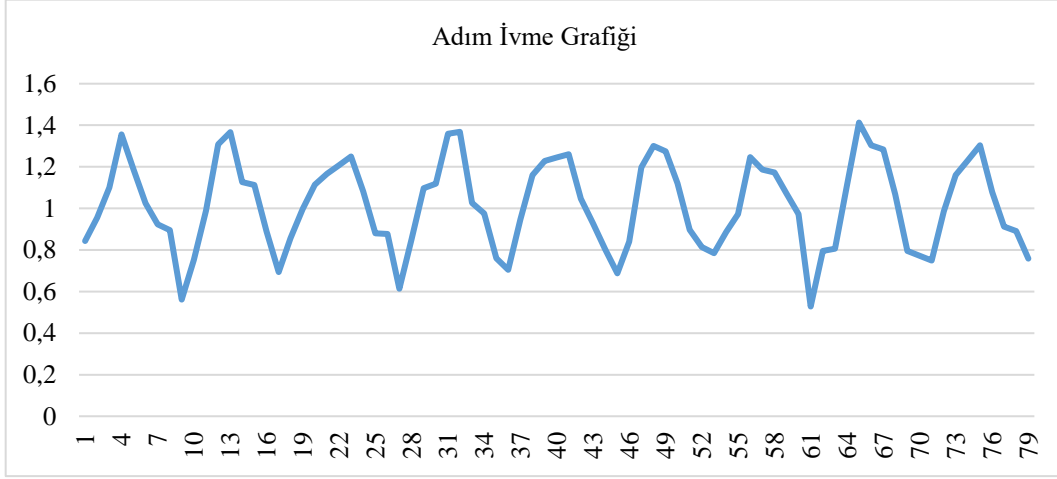
Doğru maksimum ve minimum değerlerinin elde edilmesi için, sunulan çalışmada yeni bir algoritma geliştirilmiştir. Algoritmada ilk önce grafikteki hareketin yönü tespit edilmiştir. Buna göre, hareketler, eğer hareket

yukarı doğru ise 1 yönünde hareket aşağı doğru ise 2 yönünde hareket olarak sınıflandırılmıştır. Sonrasında elde edilen yönlerde geliştirilen filtre kullanılmıştır. Filtre için uygulanan kuralla aşağıdaki gibidir.

- Eğer, mevcut ivmenin hareket yönü 1, önceki ve sonraki hareket yönleri 2 ise, mevcut hareket 2
- Eğer, mevcut ivmenin hareket yönü 2, önceki ve sonraki hareket yönleri 1 ise, mevcut hareket 1

Ayrıca elde edilen yeni yönlerden sonra yeni ivme değerinin belirlenmesi için bir önceki ve bir sonraki ivme

değerinin ortalaması alınmıştır. Uygulanan kurallar sonucunda her bir adım morfolojisinde maksimum ve minimum veriler net olarak belirlenebilmektedir. Şekil 3'e uygulanan kural sonucunda elde edilen sonuç Şekil 4'de sunulmuştur. Şekil 4'de de görüldüğü gibi her bir adım içerisinde sadece bir maksimum veya minimum olması sağlanmıştır.



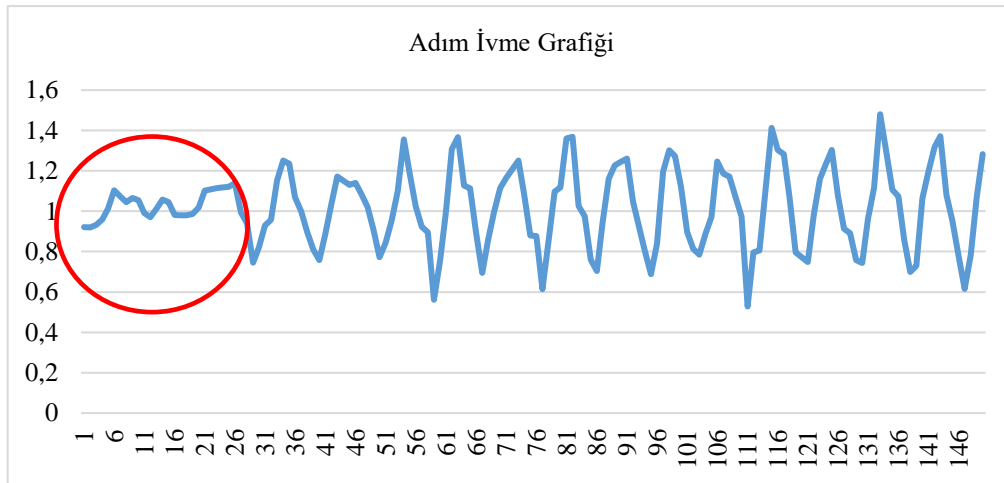
Şekil 4. Filtrelenmiş maksimum ve minimum değerler.

Değişken adım boyu hesaplama denkleminde bulunan K değerini hesaplamak için kullanılacak olan hız değerinin hesaplanması için her bir ivmenin birinci derece integrali alınmıştır (Formül 5). Elde edilen her bir hız değeri maksimum ve minimum değerler arasında toplanmıştır ve sonuç olarak adım hızı hesaplanmıştır (formül 6). Adım hız değeri -Formül 3'de yerine koyularak K sabiti değişken hale getirilmiştir.

$$V_{hız} = \int a_{ort}(t)dt \quad (5)$$

$$V_{adım} = \sum \int a_{ort}(t)dt \quad (6)$$

Sonuç olarak her bir adımın uzunluğu değişken olarak hesaplanmıştır. Son olarak Şekil 5'de örneği verilmiş olan adım olarak nitelendirilemeyecek, maksimum ve minimum değerleri bulunan bu nedenle mesafe hesabında hesaplamaya dahil olabilecek ivme değerleri filtrelenmiştir (Şekil 5). Filtreleme işlemi hesaplanan maksimum ve minimum değerlerini için oluşturulan eşik değerler ile yapılmıştır. Eşik değerin üstünde ve altında maksimum ve minimum değerleri sahip adımlar silinerek filtreleme gerçekleştirilmiştir. Böylelikle fazladan hesaplanan mesafeler de elimine edilmiştir.



Şekil 5. Adım olmayan filtrelenmiş ivme değerleri.

4 Bulgular

Geliştirilen yöntem ile ham ivme hesaplaması arasındaki farklar Tablo 4'de sunulmuştur. Geliştirilen yöntemde elde edilen hata miktarları, filtresiz yöntem ile kıyaslandığı zaman dramatik olarak düşmüştür. Ayrıca geliştirilen yöntemin diğer yöntemler ile kıyaslanması

durumunda, diğer yöntemlerden de daha iyi olduğu görülmektedir (Tablo 5).

Ayrıca yapılan çalışmada fazla sensör tipi kullanılmamasına rağmen, Yüksek frekanslı GNSS ölçümünün mesafe ölçümü doğruluğuna bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

Tablo4. Üç güzergâhta yapılan ölçümler, geliştirilen yöntem ve hata miktarları.

	Gerçek Uzunluk (m)	LIMU Uzunluk (m)	Farklar (m)	Farklar %	Geliştirilen Yöntem Uzunluk (m)	Farklar (m)	Farklar %
Test1	563	867	-304	-54,00	570	-7	-1,24
Test2	797	1135	-338	-42,41	785	12	1,51
Test3	254	409	-155	-61,02	259	-5	-1,97

Tablo5. Üç güzergâhta yapılan ölçümler, geliştirilen yöntem ve hata miktarları.

	Gerçek Uzunluk (m)	TGPS Farklar %	LGPS Farklar %	HH Farklar %	Geliştirilen Yöntem Farklar %
Test1	563	0,36	0,89	1,42	-1,24
Test2	797	-3,39	-3,89	2,63	1,51
Test3	254	-2,36	-2,76	9,84	-1,97

5 Sonuç

Bu makalede, ivme sensörü kullanılarak mesafe ölçümü gerçekleştirmek için ivme sensörünün gürültü etkilerini gidermek için filtreler geliştirilmiştir.

Geliştirilen yöntem sayesinde GNSS e ihtiyaç duyulmadan yüksek doğrulukla mesafe ölçümü yapılabildiği görülmüştür. Yöntem kullanılmadan yapılan ölçümlerde %60 dan fazla hata varken geliştirilen yöntemden sonra hata miktarı %2'ye kadar düşmüştür. Ayrıca bu hata miktarı GNSS sistemlerinin hata miktarından bile daha düşüktür.

Geliştirilen bu yöntem hassas ölçümlerde kullanılamasa da özellikle spor, sporcu takibinde etkin olarak kullanılabilir. Ayrıca sensörün düşük güç tüketime ve maliyeti birçok uygulamada daha kolay kullanılmasına olanak sağlamaktadır.

Gelecekteki çalışmalarda, geliştirilen yöntemden elde edilen verilere jiroskop ve magnometre eklenmesi ile metre altı konum belirleme ile ilgili de tatmin edici sonuçlar elde edilebileceği öngörülmekte ve bu konuda çalışmalar yapılması planlanmaktadır.

Bilgilendirme

Gerçekleştirilen bu çalışmada Etik Kurul Onay belgesine gerek yoktur.

Kaynaklar

- [1] Hightower, J., Want, R., & Borriello, G. (2000). SpotON: An indoor 3D location sensing technology based on RF signal strength. *UW CSE00-02*
- [2] Ni, L. M., Liu, Y., Lau, Y. C., & Patil, A. P. (2003, March). LANDMARC: Indoor location sensing using active RFID. In *Proceedings of the First IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications, 2003.(PerCom 2003)*. (pp. 407-415). IEEE.
- [3] Jin, G. Y., Lu, X. Y., & Park, M. S. (2006, June). *An indoor localization mechanism using active RFID tag*. In *IEEE International Conference on Sensor Networks, Ubiquitous, and Trustworthy Computing (SUTC'06)* (Vol. 1). IEEE.
- [4] Bahl, P., & Padmanabhan, V. N. (2000, March). RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system. In *Proceedings IEEE INFOCOM 2000. Conference on computer communications. Nineteenth annual joint conference of the IEEE computer and communications societies (Cat. No. 00CH37064)* (Vol. 2, pp. 775-784). Ieee.
- [5] Ingram, S. J., Harmer, D., & Quinlan, M. (2004, April). Ultrawideband indoor positioning systems and their use in emergencies. In *PLANS 2004. Position Location and Navigation Symposium (IEEE Cat. No. 04CH37556)* (pp. 706-715). IEEE.

- [6] Jiang, L., Hoe, L. N., & Loon, L. L. (2010, June). Integrated UWB and GPS location sensing system in hospital environment. In *2010 5th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications* (pp. 286-289). IEEE.
- [7] Gigl, T., Janssen, G. J., Dizdarevic, V., Witrisal, K., & Irahauten, Z. (2007, March). Analysis of a UWB indoor positioning system based on received signal strength. In *2007 4th Workshop on Positioning, Navigation and Communication* (pp. 97-101). IEEE.
- [8] Ni, L. M., Liu, Y., Lau, Y. C., & Patil, A. P. (2003, March). LANDMARC: Indoor location sensing using active RFID. In *Proceedings of the First IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications, 2003.(PerCom 2003)*. (pp. 407-415). IEEE.
- [9] Hazas, M., & Hopper, A. (2006). Broadband ultrasonic location systems for improved indoor positioning. *IEEE Transactions on mobile Computing*, 5(5), 536-547.
- [10] Roos, T., Myllymäki, P., Tirri, H., Misikangas, P., & Sievänen, J. (2002). A probabilistic approach to WLAN user location estimation. *International Journal of Wireless Information Networks*, 9(3), 155-164.
- [11] Xiang, Z., Song, S., Chen, J., Wang, H., Huang, J., & Gao, X. (2004). A wireless LAN-based indoor positioning technology. *IBM Journal of research and development*, 48(5.6), 617-626.
- [12] Feldmann, S., Kyamakya, K., Zapater, A., & Lue, Z. (2003, June). An Indoor Bluetooth-Based Positioning System: Concept, Implementation and Experimental Evaluation. In *International Conference on Wireless Networks* (Vol. 272).
- [13] Tilch, S., & Mautz, R. (2010, March). Current investigations at the ETH Zurich in optical indoor positioning. In *2010 7th Workshop on Positioning, Navigation and Communication* (pp. 174-178). IEEE.
- [14] Koyuncu, H., & Yang, S. H. (2010). A survey of indoor positioning and object locating systems. *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, 10(5), 121-128.
- [15] Nguyen, N. H., & Doğançay, K. (2016). Optimal geometry analysis for multistatic TOA localization. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 64(16), 4180-4193.
- [16] He, J., Geng, Y., Liu, F., & Xu, C. (2014). CC-KF: Enhanced TOA performance in multipath and NLOS indoor extreme environment. *IEEE Sensors Journal*, 14(11), 3766-3774.
- [17] Malajner, M., Gleich, D., & Planinšič, P. (2014). Angle of arrival measurement using multiple static monopole antennas. *IEEE Sensors Journal*, 15(6), 3328-3337.
- [18] Griepentrog, H. W., Blackmore B. S., & Vougioukas S. G. (2006). Positioning and Navigation. *Mechatronics and Applications*, in *CIGR Handbook of Agricultural Engineering*, Volume VI, 195-204.
- [19] Aydın, H., & Erkmén, B., (2019). Kapalı Alan Yaya Konumlandırma Sistemi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7(2), 337-344.