



KAPALI ALAN YAYA KONUMLANDIRMA SİSTEMİ

Hakan AYDIN, Burcu ERKMEN*

Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Fakültesi, Elektronik ve Hab. Müh. Bölümü, İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
ZUPT algoritması, Konumlandırma sistemi, İvme ölçer, jiroskop.	Dış ortamlarda, kişinin konum bilgisi GPS teknolojisi kullanılarak elde edilmektedir. Kapalı ortamlarda GPS teknolojisi, uydularla yeterli seviyede bağlantı sağlayamadığından dolayı verimli olarak kullanılamamaktadır. İç ortamlarda yayaların konum bilgisi elde etmek için; kameralar, infrared, radyo frekansları (Bluetooth, UWB), ultrasonik sensör, hücresel haberleşme metotları, hareket sensörleri (ivmeölçer, jiroskop) kullanılmaktadır. Bu çalışmada, kapalı ortamda hareket sensör kartı (ROZAR IMU M0) kullanılarak jiroskop ve ivme sensörlerinden elde edilen veriler SD kart'a kaydedilmiştir. Ayrıca kapalı ortamlarda konum belirlemede sensörlerden kaynaklı hataları azaltmak için hız sıfırlama algoritması (ZUPT) kullanılmıştır. Doğru eşik değeri seçilerek, yaya konumunu görselleştirmeye yönelik GUI tasarlanmıştır.

INDOOR PEDESTRIAN POSITIONING SYSTEM

Keywords	Abstract
ZUPT algortihm, Localization system, Accelerometer, Gyroscope.	In an outdoor environment, the person's location information is obtained using GPS technology. In an indoor environment, GPS technology can not be used efficiently because it can not provide sufficient connectivity to satellites. In order to obtain Indoor localization information of pedestrians; cameras, infrared, radio frequencies (Bluetooth, UWB), ultrasonic sensor, cellular communication methods, motion sensors (accelerometer, gyroscope, magnetometer and compass sensors) are used. In this study, in an indoor environment, the data obtained from the gyroscope and acceleration sensor using the motion sensor card (ROZAR IMU M0) were recorded on the SD card. Furthermore, in indoor environments, the Zero Velocity Update algorithm (ZUPT) is used to reduce errors originating from sensors in position determination. A GUI was designed to visualize the pedestrian position by selecting the correct threshold value.

Alıntı / Cite

Aydın H., Erkmén, B., (2019) Kapalı Alan Yaya Konumlandırma Sistemi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(2), 337-344.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

H. Aydın, 0000-0002-7694-3502
B. Erkmén, 0000-0002-5581-9764

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	02.08.2018
Revizyon Tarihi / Revision Date	08.01.2019
Kabul Tarihi / Accepted Date	10.01.2019
Yayın Tarihi / Published Date	26.06.2019

1. Giriş

GPS teknolojisi, açık alanlarda konum tespiti için belirli hata payları ile çalışmaktadır. Havalimanları, alışveriş merkezleri, hastaneler gibi çeşitli kapalı alanlarda kişinin konumunu belirlemesi için GPS teknolojisi, uydularla sağlıklı iletişim sağlayamadığından dolayı çok fazla işe yaramaz ve bu dezavantajından dolayı tercih edilmemektedir.

Kapalı alanda konumlandırma sistemlerinin giderek

yaygınlaştığı günümüzde farklı çözümler ele alınmaktadır. Kameralar, infrared, radyo frekansları (Bluetooth, UWB), ultrasonik sensör, hücresel haberleşme metotları, hareket sensörleri (ivmeölçer, jiroskop sensörleri), manyetik alanlar ve akustik sinyaller iç mekân konumlandırma için kullanılan yaygın teknolojilerdir (Mainetti L. vd. 2014).

Birçok alanda ve farklı senaryo dâhilinde kişi takibinin veya konum tespitinin yapılması önem arz etmektedir. Havaalanlarında yolcuların ve personelin yahut

* İlgili yazar / Corresponding author: bkanan@yildiz.edu.tr, +90-212-383-5918

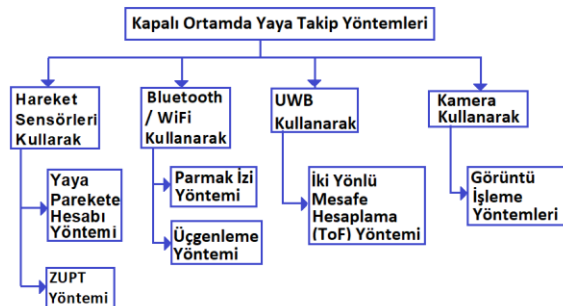
hastanelerin içerisinde hastaların ve personelin nerede olduğunun uzaktan tespit edilmesi gerekebilir. Kurum içerisinde pahalı olabilecek cihazların kaybolmasını engellemesi yâda aranan cihazın kolay bulunabilmesi istenebilir. Ayrıca şantiyelerde çalışan işçilerin güvenlik takibine yönelik personel izleme modülü kullanarak personelin şantiye içinde kendi bölgesinde mi yahut tehlikeli bir bölgede mi olduğu izlenebilir. Eğer personel güvensiz bir bölgede ise uzaktan uyarı gönderilerek kişinin tehlikeli bölgeden uzaklaştırılması istenebilir. AVM'ler de kapalı alanda kişi takibinin yapılmasının oldukça gerekli olduğu mekanlardandır. AVM'lerde yaya takip sistemleri kullanılarak istatistiksel olarak kişi yoğunluğu belirlenebilir ve reklamlandırma çalışmaları düzenlenebilir.

Bu çalışmada, kapalı alanda yürüyen kişi üzerine monte edilen bir elektronik kart yardımıyla, hareket sensörlerinden okunan veriler bir SD kart'a belirli örnekleme frekansıyla kaydedilmiştir. Daha sonra SD kart'a kaydedilen veriler matlab ortamında analiz edilmiş ve kişinin yürüdüğü güzergâhlar tasarlanan GUI ortamında çizdirilmiştir.

Çalışma genel olarak donanım tasarımı, algoritma tasarımı ve deneysel sonuçların elde edilmesi olmak üzere 3 ana bölümden oluşmaktadır. Donanım tasarımında, kişi kapalı alanda yürürken üzerine monte edilen sistemi oluşturan donanım bileşenleri tanıtılmıştır. SD kart'a sensörlerden alınan verilerin kaydedilmesi için gerekli gömülü yazılımın akış diyagramı verilmiştir. Ardından algoritma tasarımı bölümünde AHRS algoritması (Attitude and heading reference system) ve ardından ZUPT algoritması ile kaydedilen veriler matlab ortamında analiz edilmektedir. Deneysel sonuçların elde edilmesine yönelik adım tespiti yapılmış, hız, pozisyon ve yön hesaplanmıştır. Ayrıca kapalı ortamda test yürüyüş güzergâhı oluşturularak kişinin tasarlanan GUI üzerinden yürüyüş takibi yapılmıştır.

2. Bilimsel Yazın Taraması

Kapalı ortamda yaya takibine yönelik literatürde yaygın olarak kullanılan teknoloji ve yöntemler mevcut olup, bunlar genel yaklaşım ile Şekil 1'deki blok diyagramda sınıflandırılmıştır.



Şekil 1. Kapalı Ortamda Yaya Takip Yöntemleri ve Teknolojileri

Bluetooth, küçük boyut, düşük güç, düşük maliyet ve yüksek güvenlik özelliklerinden dolayı cihazlar arası bilgi alışverişinde yaygın kullanılan bir teknolojidir (Farid vd. 2013). Kapalı alanda WLAN altyapısının ve mobil cihazlardaki Wi-Fi modüllerinin yaygın kullanılması sebebi ile kapalı alanda konumlandırma sistemlerinde Wi-Fi teknolojisi de sıklıkla tercih edilmektedir (Karabey ve Bayındır, 2015). Bluetooth teknolojisi, Wi-Fi teknolojisine kıyasla daha düşük güç tüketimine sahip olmasına rağmen uzun menzil bağlantıda Wi-Fi daha iyi performans göstermektedir (Ferro ve Potorti, 2005). Wi-Fi ve bluetooth teknolojilerinin hibrid olarak kullanıldığı konumlandırma sistemleri, bu teknolojilerin farklı avantajlarını kullanarak daha iyi konumlandırma doğruluğu sağlamaktadır (Baniukevicvd vd., 2013). Kamera kullanarak gerçekleştirilen kişi takibinde, birden fazla kameradan elde edilen görüntüler arka plan tahmini, kişi algılama, özellik çıkarma, özellik eşleme ve konum tahminini içeren bir dizi işlemden geçirilmektedir (Chen vd., 2017). Kapalı ortamda konumu belli olan referans bluetooth alıcılar ile takip edilmek istenen kişi üzerinde bulunan bluetooth verici arasında üçgenleme metodu kullanılır (Thaljaoui vd. 2015). Bu yöntemde göre alıcı ve verici arasındaki mesafe hesabı sonucunda takip edilmesi istenen kişinin konum bilgisi elde edilmektedir. İç ortamda konum tespitine yönelik parmak izi yöntemi gerek Wi-Fi sinyalleri gerekse bluetooth teknolojisi için yaygın olarak tercih edilmektedir. Çevrim dışı aşamasında veri toplama işleminin gerçekleştiği parmak izi yönteminde, çevrim içi aşamasında konumu bilinmeyen sinyallerin sınıflandırılması gerçekleşir. (Karabey ve Bayındır, 2015). Bu yöntemlerde ölçülen RSSI değerleri temel alınmış olup, konumun doğruluğu ortamın koşullarına göre 1m ile 2m arasında ölçüm hata payı ile değişmektedir. Kapalı alan konum tespitinde UWB teknolojisi iletişim sistemlerinde düşük güç ve yüksek maliyetli uygulamaların yanı sıra, santimetre seviyesinde doğruluk sağlar. UWB haberleşme yönteminde, ortam koşullarından etkilenmeyen, düğümler arasındaki seyahat sürelerinin ölçümlerine dayanan ToF uçuş süresinden yararlanılmaktadır (Despoux vd., 2016).

Şimdiye kadar belirtilen kablosuz haberleşmeye yönelik yöntemlerde bir altyapı yardımıyla kapalı alan konumlandırma sistemi oluşturulmaktadır. Herhangi bir altyapı gerektirmeyen, düşük maliyetli sensor tabanlı yaklaşımlarda atalet ölçüm modülleri, basınç sensörleri ve manyetik sensörler yardımıyla insanın hareketini ve konumu algılamak mümkündür. Atalet ölçüm modülleri, sensörün ivmesini ve açısal hızını ölçen ivmeölçerler ve jiroskoplardan oluşur. Bu pozisyon ve yönelim tahminleri kısa bir zaman çizelgesinde doğrudur ancak atalet sensörlerinde zamanla birikimli bir şekilde kaymalar meydana geldiğinden ölçülen pozisyon ve hız hataları zamanla büyür (Norrdine vd., 2016).

Sıfır Açısal Hız Güncellemesi (ZARU), her bir fazda

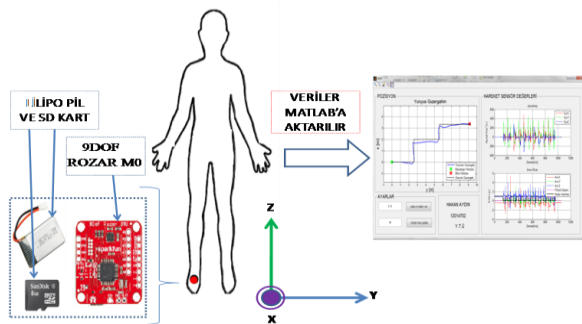
jiroskoptaki açısal hız hatasını belirleyen bir yöntemdir. Literatürde yaygın olarak kullanılan Sıfır Hız Güncellemesi (ZUPT) yöntemi, takip edilen kişinin yürürken ölçülen birikimli hatanın bastırılması amacı ile ayağın yere temas ettiği andaki duruş durumunu tespit eder (Ma vd., 2017 ; Norrdinevd., 2016). ZARU ve ZUPT yöntemleri ile elde edilen ölçümler, Geliştirilmiş Kalman Filtresine uygulanarak konum tespit sisteminin doğruluğu artırılır (Ma vd., 2017 ; Zhang vd. 2017).

3. Materyal ve Yöntem

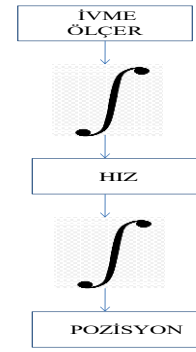
3.1. Sistem Tanıtımı

Kapalı ortamda yaya konumlandırmaya yönelik tasarlanan sistem Şekil 2'deki blok diyagramda gösterilmiştir. Bu sistemde Rozar hareket sensörü devresi kullanıcının ayağına bağlanarak, belirli örnekleme frekansı ile veriler SD kart'a kaydedilmektedir. Cihazın ayağa bağlanması ivmeölçerin ve jiroskopun ölçtüğü verilerin, sadece adım atma durumunda elde edilmesini sağlar, ayağın hareketsiz ve yere basarken durumu hızlanma sinyali için bir referans noktası olarak kullanılabilir. SD kart'a kaydedilen ivmeölçer ve jiroskop verileri matlab ortamında ZUPT algoritması kullanılarak kullanıcının yürümüş olduğu güzergâh boyunca attığı adımların tespiti yapılır. Tasarlanan yayanın yürüdüğü yol, GUI yardımıyla iki boyutlu olarak çizdirilebilmektedir. Ancak yeni adım atma eylemi başlayana kadar geçen sürede ivmeölçer sensörü ivme değerlerini almakta ve sürekli integral işlemi gerçekleştirildiğinden yanlış konum algılanmasına sebep olmaktadır. ZUPT algoritması sayesinde ölçülen gürültülü datalar sıfıra zorlanmaktadır. Bu yöntem gerçek zamanlı tasarıma uygun ve güvenilir olduğundan tercih edilmektedir (Jimenez vd. 2009).

Hız sıfırlama yönteminde yön tayini ve bir adım atıldığında gidilen mesafe, ivmeölçer ve jiroskoptan elde edilen veriler işlenerek hesaplanmaktadır. Atılan adımın uzunluğu ve yönü hesaplanmasında zamana göre integral alma işinden faydalanılmaktadır. ZUPT yönteminde ivmeölçerden alınan veriler matlab ortamında oluşturulan GUI içerisinde zamana göre iki kez integral olarak kişinin pozisyon bilgisi hesaplanmaktadır.



Şekil 2. Sistem blok diyagramı

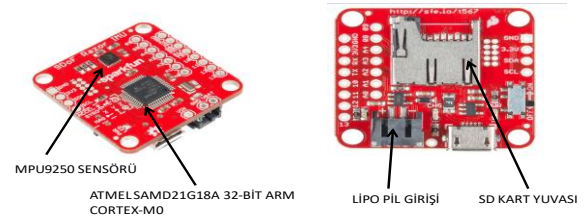


Şekil 3. İvme Ölçerden pozisyon elde etme

3.2. Donanım Bileşenleri

Bu çalışmada Sparkfun firmasının üretmiş olduğu Rozar hareket sensörü (Sparkfun 9DOF Razor IMU) devre kartı kullanılmıştır. Bu kart kullanıcının ayağına monte edilerek çalışmaktadır. Elektronik kartta 3 eksen ivmeölçer, 3 eksen jiroskop ve 3 eksen manyetometre bulunduran 3x3x1mm ölçülerinde ve QFN kılıflı MPU9250 sensörü vardır. 3.3V lipo pil ile çalışmaktadır.

Üzerinde atmel firmasının ürettiği SAMD21G18A 32-bit ARM Cortex-M0 mikro denetleyicisi ve SD kart yuvası bulunmaktadır. Bu mikro denetleyici Arduino'nun kod editörü kullanılarak programlanabilmektedir.

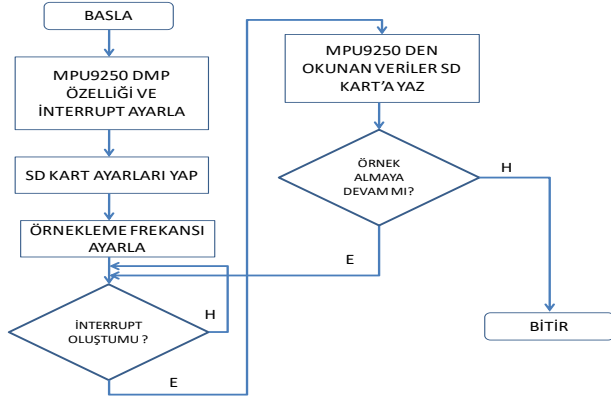


Şekil 4. Rozar hareket sensörü

MPU9250 sensörü, I2C veya SPI haberleşme protokollerini kullanarak bir mikro denetleyici ile haberleşebilmektedir. Bu sensörün en önemli özelliği içinde DMP (Digital Motion Processor) özelliği barındırmasıdır. Normalde ivmeölçer ve jiroskoptan alınan veriler gürültülü ve kalibrasyonsuzdur. Bu yüzden ivmeölçer ve jiroskop verileri direkt olarak kullanılmaz. İvmeölçer ve jiroskop için kalibrasyon testleri yapılmalıdır. Ancak DMP özelliği olan bu entegrede üretim sırasında kalibrasyon testi yapıldığından, DMP özelliğinin aktif duruma getirilmesi ile MPU9250'den kalibreli veriler alınmaktadır. 16-bit ADC içeren bu entegrede, İvmeölçerin, $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$ ve $\pm 16g$ ayarlanabilir sınırları vardır. Jiroskopun ise ± 250 , ± 500 , ± 1000 ve ± 2000 °/sn çıkış aralıkları vardır.

Rozar hareket sensörü ile örnek alım sürecini açıklamaya yönelik oluşturulan metodoloji Şekil 5'te özetlenmiştir. Kullanıcı yürüme esnasında iken

önceden belirlenen örnekleme frekansında veriler MPU9250 sensöründen okunarak, sd kartın içinde bir .txt uzantılı dosya açarak kaydedilir. MPU9250'nin DMP özelliğini kullanmak için ve SD karta veri kaydetmek için ön ayarlar yapılır. Aynı zamanda kesme (interrupt) özelliği aktif edilir. MPU9250'den alınan verileri SD kart'a yazması için gerekli olan örnekleme zamanı belirlenir. Bu çalışmada 50 Hz ve 100 Hz için örnekleme frekansları ayarlanmıştır. Daha yüksek frekanslara çıktıkça gürültü artmaktadır. Herbir örnekleme frekansında kesme oluşturulur ve MPU9250'den veriler okunarak SD kart'a kaydedilir.



Şekil 5. Hareket sensörü ile örnek alımı

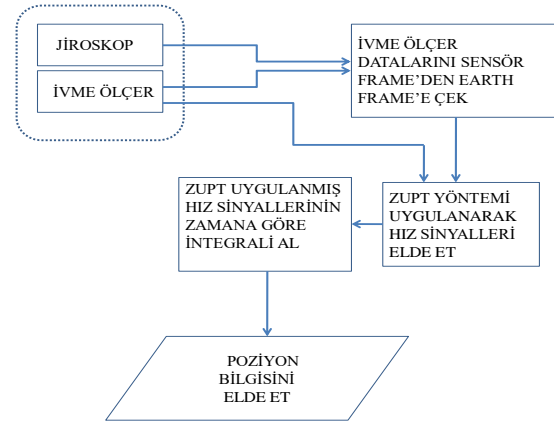
SD kartın içerisinde açılan .txt uzantılı dosyaya, MPU9250'den alınan veriler Tablo 1'deki gibi kaydedilmektedir.

Tablo 1. SD Karta Kaydedilen Örnek Veriler

Zaman [ms]	AccX [g]	AccY [g]	AccZ [g]	GyrX [°/sn]	GyrY [°/sn]	GyrZ [°/sn]
1490	-0.06	-0.21	-0.99	2.44	2.90	2.13
1499	-0.05	-0.21	-0.98	3.41	2.35	1.52
1508	-0.04	-0.22	-0.98	2.96	1.68	1.19

3.3 ZUPT Algoritması

Kullanıcının ayağına takılan rozar kiti, sd kart'a verileri kayıt ettikten sonra, toplanan veriler Şekil 6'daki iş akış diyagramına uygun bir şekilde Matlab ortamında işlenmektedir.

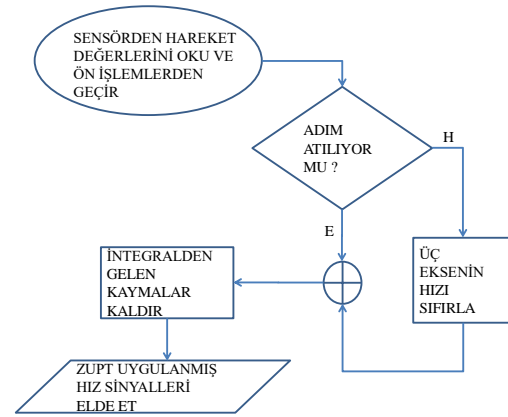


Şekil 6. İş akış diyagramı

İvmeölçer ve jiroskop verileri birlikte kullanılarak Eşitlik 1'deki gibi kompleks kuaterniyon verileri elde edilir (Xuebing vd. , 2015).

$$\hat{q} = q_0 + iq_1 + jq_2 + kq_3 \quad (1)$$

Kuaterniyon temelli AHRS algoritması ile ivmeölçer ve jiroskoptan alınan veriler işlenerek, istikamet ve durum bilgisine ulaşılır. SD kart'a kaydedilen veriler sensör frame'i yapısındadır ve bu veriler direk işlenemez çünkü bu verilerde yerçekimi etkisinin de bilgisi vardır. Bu yüzden sadece işlenmesi gereken bilgi, kullanıcın yürüdüğü güzergâh boyunca attığı adımların ivmesidir. Bu yüzden veriler dünya frame'ine çekilir. Bunun için kuaterniyon verisinden yararlanılmaktadır.



Şekil 7. ZUPT algoritmasının akış diyagramı

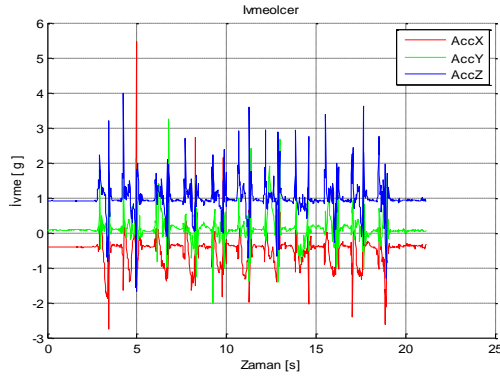
Şekil 7'deki algoritmaya göre kullanıcının yürüdüğü güzergâh boyunca attığı adımların tespiti yapılır. Bunun için önce ivmeölçerden alınan x-y-z düzlemindeki veriler Eşitlik 2'deki denklem kullanılarak genlik hesaplanmaktadır.

$$\text{Genlik} = \sqrt{\text{accX}^2 + \text{accY}^2 + \text{accZ}^2} \quad (2)$$

4. Deneysel Sonuçlar

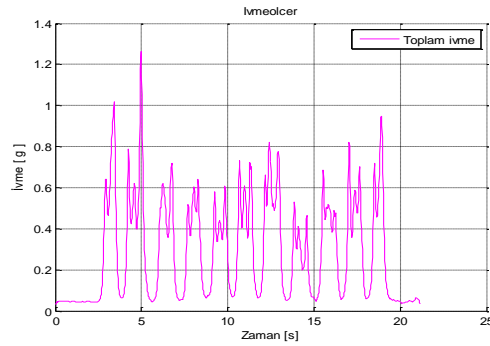
3 eksen ivme ölçer ve 3 eksen jiroskop değerleri

yaklaşık 100 Hz'lik bir frekans ile örneklenmiştir. Yürüme testinde 3 eksen ivme ölçerdeki verilerin zamana göre değişimi Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. 3 eksen İvmeölçer verisinin zamana göre değişimi

Şekil 8'deki sinyale Eşitlik 2'deki denklem uygulanırsa, her adımda yaklaşık olarak periyodik tekrarlanan Şekil 9'daki genlik sinyali elde edilmektedir.

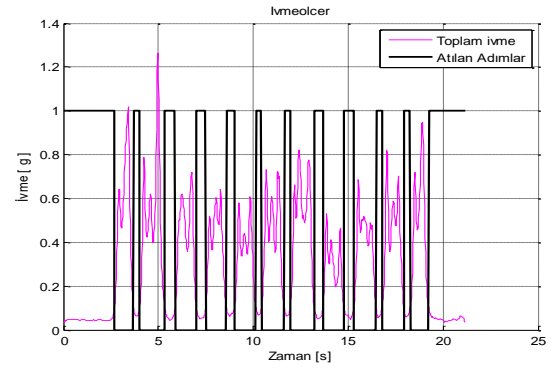


Şekil 9. İvme ölçerdeki toplam genlik sinyali

4.1. Adım Tespiti

Genlik bilgisi elde edildikten sonra bir eşik değeri ile karşılaştırılarak adım tespiti yapılmaktadır. Eşik değeri kişinin yürüyüş karakteristiğine bağlı olarak değişmektedir. Bu testte eşik değeri 0.1g olarak seçilmiştir. Eşik değeri genellikle 0.1g ile 0.3g arasında değişmektedir Şekil 10'da eşik değeri ile karşılaştırılan toplam genlik sinyalinden, tespit edilen adımların grafiği gösterilmiştir.

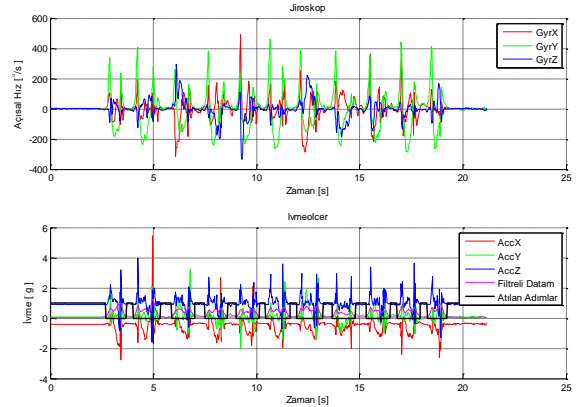
Atılan adımı temsil eden sinyalde, lojik 1 seviyesinden lojik 0 seviyesine geçiş anı, adımın başlangıç anıdır. Lojik 0 seviyesinden lojik 1 seviyesine çıkış anı ise adımın bittiği andır.



Şekil 10. Adım tespiti

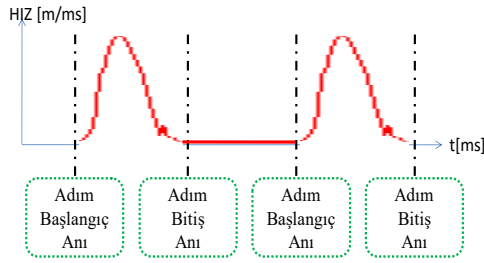
4.2. Hız Hesaplama

Kullanıcının ayağına bağlanarak bir yürüme testi sonucu elde edilen ivmeölçer ve jiroskop verileri Şekil 11'de gösterilmiştir. Adım tespiti için bu veriler sd karta kaydedilmiştir. Txt uzantılı dosyaya kaydedilen ivmeölçerden okunan veriler 'g' birimindedir. Hız hesaplama ve pozisyon hesaplama için veriler m/s^2 cinsine çevrilir. Bunun için ivmeölçer verileri yer çekimi kuvveti ile çarpılır. Bu değer $9.8m/s^2$ 'dir. Daha sonra frame değişikliğinden elde edilen yeni ivmeölçer değerleri kullanılarak, kullanıcının güzergah boyunca, üç eksenin zamana göre bir kez integrali alınarak hız bilgisi elde edilmektedir.



Şekil 11. Yürüme testinden elde edilen ivme ve açılal hız verileri

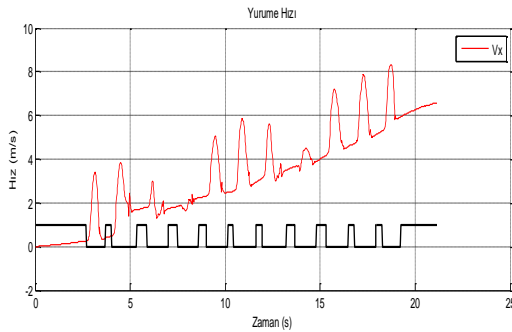
İdeal durumda adımın bitişi ve başlangıcı arasındaki hız o aralıkta adım atılmadığından sabit yani sıfırdır. Gerçek durumda ise bu aralıkta gürültülü ivmelenme olduğu için bir hız bilgisi hesaplanmaktadır. ZUPT algoritmasının amacı adımın olmadığı andaki gürültülü hız bilgisini sıfırlamaktır. İdealde Şekil 12'de görüleceği gibi adımın bitiş ve başlangıç anı arasındaki hız sıfırdır.



Şekil 12. İdealde olması gereken hız grafiği

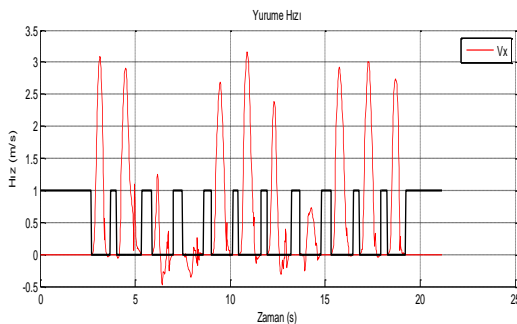
ZUPT algoritması, adımın başlangıç ve bitiş anını tespit ettiği için adımın atılmadığı süre boyunca hız sinyallerini sıfıra çekmektedir.

ZUPT algoritması kullanılmazsa Şekil 13'deki yanlış grafik elde edilir. Bu grafikte adımın atılmadığı süre boyunca hız sinyali vardır. Yani, hız varsa pozisyon da vardır. Bu pozisyon bilgisi sisteme fazladan hata getirmektedir. Bu hatayı azaltmak için ZUPT algoritması kullanılmaktadır.



Şekil 13. ZUPT algoritması uygulanmamış x eksenine ait hız sinyali

Şekil 14'de ZUPT algoritması uygulandığında kullanıcının attığı adımların hızları gösterilmiştir. Görüldüğü gibi adımın bitiş ve başlangıç anlarındaki hız sıfırdır. Hız sinyalinin zaman göre integrali alındığında kullanıcının pozisyon bilgisi elde edilmektedir.

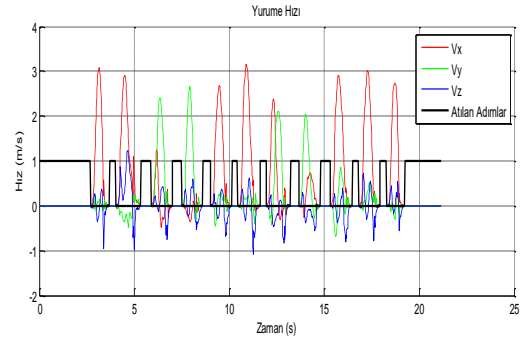


Şekil 14. ZUPT algoritması uygulanmış x eksenine ait hız sinyali

Şekil 13 ve 14'de sadece x eksenindeki hız dikkate alınmıştır. Bu işlemlerin aynısı, y ve z eksenleri için de uygulanmıştır.

4.3. Pozisyon ve Yön Hesaplama

ZUPT algoritması uygulanmış x, y ve z eksenine ait Şekil 15'deki hız sinyallerinde negatif değerlerde elde edildiği görülmektedir. Kullanıcının ileri, geri, sağa ve sola yürüdüğüne, yani yönüne dair bilgi, hız sinyallerinin negatifliğine bakılarak anlaşılabilir.

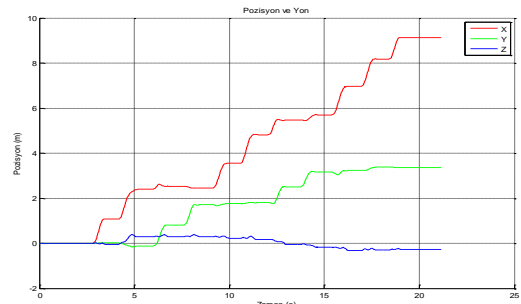


Şekil 15. ZUPT uygulanmış hız sinyalleri

Hız sinyalinin birimi m/s' dir. Hız sinyalleri elde edildikten sonra zamana göre integral alma işlemi ile pozisyon bilgisine geçilir. Şekil 15'deki hız sinyallerini elde etmek için kullanıcı güzergâhta yürürken her 20 ms'de bir (50 Hz) ivmeölçer ve jiroskoptan alınan örnekler sd kart'a kaydedilmiştir. SD kart'a kaydedilen sensör değerleri ayrıktır yani sürekli değildir. Şekil 15'te her üç eksenenden elde edilen hız sinyalleri nokta nokta eşiklik 3'te yerine koyularak her eksenine ait pozisyon bilgisi, bir önceki nokta pozisyonu ile toplanarak çıkartılır.

$$Poz(k+1) = Poz(k) + Hız \cdot \left(\frac{1}{Örn. Freq.} \right) \quad (3)$$

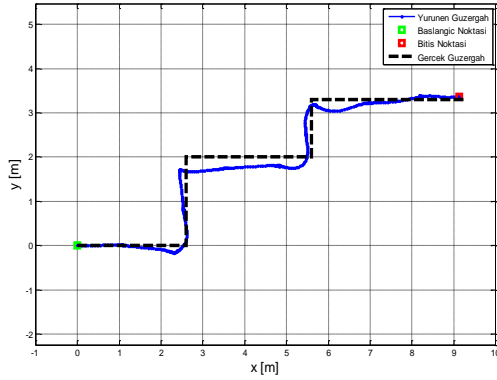
Şekil 16'da gösterildiği gibi kullanıcının 15. Saniyedeki x yönündeki pozisyonu yaklaşık 6 metre, y yönündeki pozisyonu ise yaklaşık 3 metredir. z eksenine ise yaklaşık sıfır takip etmektedir. Bu değer, bir merdivenden aşağıya inilirse negatif, yukarıya doğru çıkılırsa pozitifdir. Bu çalışmada, sadece x ve y eksenleri dikkate alınarak, 2 boyutlu çizim yapılmıştır. Şekil 16'da eksenlere ait pozisyon bilgisi zamana göre çizdirilmiştir. Fakat zaman eksenine yerine, x-y eksenine geçiş yapılması gerekmektedir.



Şekil 16. x-y-z eksenleri için pozisyon bilgisi

x-y eksenlerinden elde edilen örneklerin birbirlerine göre değişimi Şekil 17'de elde edilmiştir. Şekilde

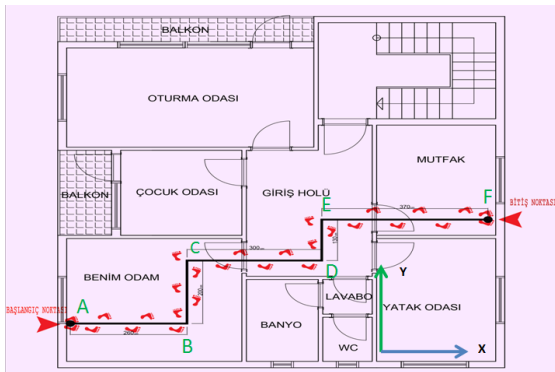
görüreceği üzerine zaman ekseninden çıkartılıp olması gereken x-y eksenine geçiş yapılmıştır. Hedeflenen güzergah siyah noktalı çizgi ile çizdirilmiştir. Kullanıcının yürüme esnasında, Rozar hareket sensöründen alınan verilerin sd kart'a kaydedilmiş ve ZUPT algoritması uygulanmış hali mavi çizgi ile gösterilmiştir. Başlangıç koordinatları x ve y noktası için sıfır seçilmiştir. Oluşturulan sistem ile kullanıcının yaklaşık olarak gerçek güzergâhı takip ettiği görülmüştür.



Şekil 17. x-y ekseninde yürünen yol bilgisi

4.4. Test Güzergâhı

Test güzergâhı olarak seçilen evin daire planı Şekil 18'de verilmiştir. Buna göre başlangıç ve bitiş noktaları plan üzerinde gösterilen bir güzergah belirlenmiş, kullanıcının 1260 cm yol uzunluğuna sahip güzergah üzerinden yürüme eylemi sırasında örnekler alınmıştır.



Şekil 18. Test yapılan güzergâh bilgisi

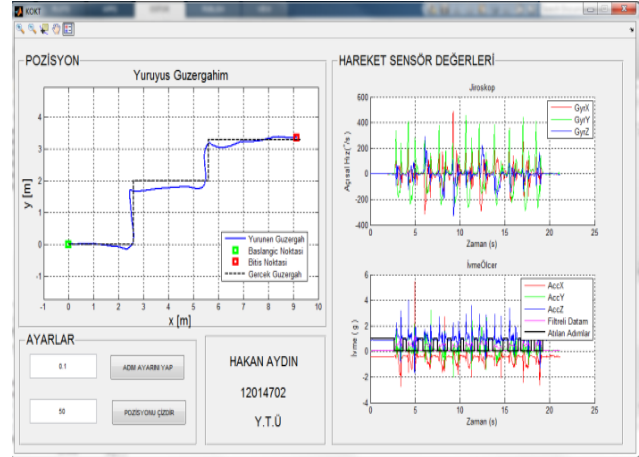
Test yapılan güzergâhın parçalı yol uzunlukları Tablo 2'de belirtilmiştir.

Tablo 2. Test güzergâhının parçalı yol uzunlukları

A-B	260 cm
B-C	200 cm
C-D	300 cm
D-E	130cm
E-F	370 cm

4.5. Kullanıcı Arayüz Tasarımı

Hareket sensörlerini kullanarak ve sensörlerden elde edilen veriler ZUPT algoritmasından geçilerek iç mekânlarda takip yapılmıştır. Matlab programı kullanılarak Şekil 19'da belirtilen GUI tasarlanmış, yürüyüş güzergâhı ve doğru eşik değeri seçilerek pozisyon verileri ile 3 eksen ivmeölçer ve jiroskop verileri görselleştirilmiştir.



Şekil 19. x-y ekseninde yürünen yol bilgisi

4.6. Hata Analizi

Şekil 18'de gösterilen güzergahta toplam 14 adet yürüme testi yapılmıştır. 14 testten 7 tanesi 50Hz, diğer 7 test ise 100Hz örnekleme frekansında gerçekleştirilmiştir. Yürüme testi sonrası elde edilen sonuçlar, Tablo 3 ve Tablo 4'te özetlenmiştir. 50 Hz ile örnek alındığında ortalama %4.74 hata gözlenirken, 100Hz ile örnek alındığında ise %11.72 bağıl hata elde edilmiştir.

Tablo 3. 50 Hz örnekleme frekansıyla test sonucu

	Yürünen Yol [cm]	Hedef Yol [cm]	Mutlak Hata [cm]	% Bağıl Hata
TEST 1	1253	1260	7	0,56
TEST 2	1337	1260	77	6,11
TEST 3	1196	1260	64	5,08
TEST 4	1312	1260	52	4,13
TEST 5	1365	1260	105	8,33
TEST 6	1289	1260	29	2,3
TEST 7	1344	1260	84	6,67
Ortlama Bağıl Hata %				4,74
Standart Sapma (σ - cm)				58,9

Tablo 4. 100 Hz ile örnekleme frekansı sonucu

	Yürünen Yol [cm]	Hedef Yol [cm]	Mutlak Hata [cm]	% Bağıl Hata
TEST 1	1274	1260	14	1,11
TEST 2	1435	1260	175	13,89
TEST 3	1287	1260	27	2,14
TEST 4	1448	1260	188	14,92
TEST 5	1463	1260	203	16,11
TEST 6	1489	1260	229	18,17
TEST 7	1458	1260	198	15,71
Ortalama Bağıl Hata %				11,72
Standart Sapma (σ - cm)				88,52

5. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada, düşük maliyetli hareket sensörleri kullanarak yaya takibi yapılmış, belirlenen test güzergahı için iki farklı örnekleme frekansında testler yapılmıştır. Güzergah boyunca, SD'karta kaydedilmiş veriler, matlab ortamında hazırlan ZUPT algoritmasına uygulanmıştır. Hız sinyallerinden pozisyon verisi elde edilerek, yayanın yürüdüğü güzergah matlab ortamında GUI yardımıyla çizdirilmiştir. 50Hz ve 100Hz örnekleme ile yapılan testte, bağıl hata ve standart sapma ölçümlerinde fark vardır. Bunun nedeni, seçilen hareket sensörünün kalibrasyon ayarlarından kaynaklanmaktadır. Yüksek frekans örnekleme, daha gürültülü veri okunmuştur.

Hareket sensörlerinin uygun koşullarda doğru kalibrasyonunun yapılması ile hatalar azaltılabilecektir.

Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar

- Baniukevic A., Jensen C.S., Lu H., 2013. Hybrid Indoor Positioning with Wi-Fi and Bluetooth: Architecture and Performance, IEEE 14th International Conference on Mobile Data Management, 1, 207 – 216.
- Chen A.T.Y., Fan J., Abhari M. B., Wang K.I.K., 2017. A Computationally Efficient Pipeline for Camera-Based Indoor Person Tracking, International Conference on Image and Vision Computing New Zealand (IVCNZ), 1-6.
- Despoux F., Runser K.J., Bossche A.V.D., Val T., 2016. Accurate and Platform-agnostic Time-of-Flight Estimation in Ultra-Wide Band, IEEE 27th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC), 1-7.

Farid Z., Nordin R., Ismail M., 2013. Recent Advances in Wireless Indoor Localization Techniques and System, Journal of Computer Networks and Communications, 12 (2013).

Ferro E., Potorti F., 2005. Bluetooth and Wi-Fi Wireless Protocols: A Survey and A Comparison, IEEE Wireless Communications, 12(1), 12-16.

Jimenez A.R., Seco F., Prieto C. and Guevara J., 2009. A Comparison of Pedestrian Dead-Reckoning Algorithms using a Low-Cost MEMS IMU, 6th IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing, 37-42

Karabey I., Bayındır L., 2015. Utilization of Room-to-Room Transition Time in Wi-Fi Fingerprint-Based Indoor Localization, International Conference on High Performance Computing & Simulation (HPCS) 318-322.

Ma M., Song Q., Li Y., Zhou Z. 2017. A zero velocity intervals detection algorithm based on sensor fusion for indoor pedestrian navigation, IEEE 2nd Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC), 418 – 423.

Mainetti L., Patrono L., Sergi I., 2014. A survey on indoor positioning systems, 22nd International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM), 111 – 120.

Norrdine A., Kasmi Z., Jörg Blankenbach J., 2016. Step Detection for ZUPT-Aided Inertial Pedestrian Navigation System Using Foot-Mounted Permanent Magnet, IEEE Sensors Journal, 16 (17), 6766 – 6773.

Zhang W., Li X., Wei D., Ji X., Yuan H. 2017. A foot-mounted PDR system based on IMU/EKF+HMM+ZUPT+ZARU+HDR+compass algorithm, International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), 1-5.

Thaljaoui A., Val T., Nasri N., Brulin D., 2015. BLE Localization Using RSSI Measurements and iRingLA, IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), 2178 – 2183.

Xuebing Y., Shuia Y., Shengzhi Z., Gouping W., Sheng L., 2015. Quaternion-Based Unscented Kalman Filter for Accurate Indoor Heading Estimation Using Wearable Multi-Sensor System, Sensors, 15, 780-786.