

Yaya Parakete Hesabında Kullanılan Adım Tespit ve Adım Uzunluğu Tahmin Yöntemlerinin Bir Değerlendirmesi

An Evaluation of Step Detection and Step Length Estimation Methods for Pedestrian Dead Reckoning

Levent Bayındır¹, Işıl Karabey²

Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

¹Atatürk Üniversitesi, ²Erzurum Teknik Üniversitesi

levent.bayindir@atauni.edu.tr, isil.karabey@erzurum.edu.tr

Özet

İç ortam konumlandırma sık kullanılan yöntemlerden biri yaya parakete hesabıdır (YPH). YPH sistemlerinde en az üç bileşen gerçekleştirilmelidir: (1) adım tespiti, (2) adım uzunluğu tahmini ve (3) yön tahmini. YPH sistemi, tespit edilen her adımda, tahmini adım uzunluğu ve yönü kullanarak kullanıcının yer değiştirme miktarını hesaplar ve konumunu günceller. Bu çalışmada, birçok adım tespit ve adım uzunluğu tahmin yöntemi, günlük kullanımdaki cep telefonlarında gerçekleştirilmiş ve bu yöntemlerin doğrulukları farklı telefon pozisyonlarında (“elde” ve “pantolon cebinde”) ve farklı yürüme hızlarında (“yavaş”, “normal” ve “hızlı”) değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda farklı yöntemlerin doğruluğunun yürüme hızına ve cihazın pozisyonuna bağlı olarak değiştiği gözlemlenmiştir.

Abstract

One of the common approaches for indoor localization is pedestrian dead reckoning (PDR). In a PDR system, at least three main components should be implemented: (1) step detection (2) step length estimation and (3) heading estimation. At each detected user step, PDR system uses estimated step length and heading to calculate user displacement and update user's position. In this study, we implemented various step detection and step length estimation methods on commodity smartphones and evaluated their accuracy in different phone positions (“in hand” and “in trouser pocket”) and walking speeds (“slow”, “normal” and “fast”). After the evaluation, it is observed that the accuracy of the different methods may vary depending on walking speed and phone position.

1. Giriş

Dış ortamda, insanların ya da nesnelerin konumlandırması, GPS gibi küresel navigasyon teknolojileri ile sağlanabilmektedir. İç ortamlarda ise GPS teknolojisi, uydularla olan bağlantının yeterli seviyede sağlanamaması nedeniyle kullanılamamaktadır. İç ortam konumlandırma amaçlı araştırmalar, (1) özel algılayıcı sistemlerinin ortama yerleştirilmesi ve (2) ortamda var olan algılayıcı sistemlerin kullanılması olmak üzere iki farklı yaklaşım kullanmaktadır [1]. Özel algılayıcı sistemlerinin geliştirilmesi ve bu sistemlerin hedef ortama yerleştirilmesi konum tespitinde üst seviye hassasiyet ve düşük hata oranı elde etmek gibi

avantajlara sahip olsa da sistemin geliştirme ve yerleştirme masrafları ile kullanıcının yeni sisteme adaptasyonu gibi dezavantajları da içermektedir. Ortamda varolan algılayıcı sistemlerini kullanan çalışmalar ise, örneğin akıllı cep telefonlarındaki algılayıcıları kullanan çalışmalar, algılayıcı sistemlerinin geliştirilmesi ve kurulumu masraflarını gerektirmediğinden genel amaçlı ve bireysel kullanıma daha uygundur. Buna rağmen, genel amaçlı algılayıcı sistemlerin kullanımı, konum bilgisi elde etmeyi zorlaştırmakta ve elde edilen konum bilgisinin hassasiyetini azaltıp hata oranını artırmaktadır.

Ortamda varolan algılayıcı sistemlerini kullanan çalışmalar genellikle, *parmak izi yöntemi* (fingerprinting) ve *parakete hesabı* (dead reckoning) yöntemlerinden birini kullanır. Parmak izi yönteminde, ortamda bulunan birden fazla sinyal kaynağından gelen sinyallerin ayırt edici ismi ile çeşitli özellikleri (örneğin alıcıya ulaşan sinyal kuvveti) kaydedilir. Daha sonra, bilinmeyen bir konumda ölçülen yeni sinyal özellikleri daha önce ölçülmüş değerlerle (örüntü tanıma yöntemleri kullanılarak) karşılaştırılarak yeni konumun tespit edilmesinde kullanılır. Bu yöntem literatürde, GSM [2], WiFi [3] [4], Bluetooth [5] ve FM radyo sinyalleri [6] [7] gibi sinyal kaynakları ve en yakın komşular [3], yapay sinir ağları [4] ve karar destek makinaları [3] gibi örüntü tanıma yöntemleri ile uygulanmıştır.

Parakete hesabı, nesnenin bir önceki anda bilinen konumundan, bir sonraki konumunu elde etmeye yarayan bir yer değiştirme fonksiyonu kullanılarak gerçekleştirilir. Yer değiştirmeyi hesaplamak için, hareket eden nesne, algılayıcılardan elde edilen bilgileri kullanır. Parakete hesabı, robotlar, araçlar veya yayalar için kullanılabilir. Yayaların, parakete hesabı ile konumlarının elde edilmesine *yaya parakete hesabı* (pedestrian dead reckoning) adı verilmektedir. Yaya parakete hesabı (YPH) sistemlerinde kullanıcının yer değiştirmesinin miktarı adım adım hesaplanır. Bu amaçla, (1) her bir yeni adım tespit edilmeli, (2) bu yeni adımın tahmini uzunluğu belirlenmeli ve (3) kişinin hareket ettiği yön güncellenip yeni konumu belirlenmelidir. Bu çalışmada, yeni adımları tespit eden yöntemlere *adım tespit yöntemleri* ve her bir adımın yaklaşık uzunluğunu hesaplayan yöntemlere *adım uzunluğu tahmin yöntemleri* adı verilmiştir. Adım tespiti ve adım uzunluğu tahmini aşamalarında ivmeölçer kullanılırken,

kişinin yön değişikliklerini takip etmek için ise ilave algılayıcılar (örneğin pusula) kullanılır.

Birçok YPH sistemi, ivmeölçer içeren özel bir cihazın, kullanıcının vücudunun belli bir noktasına bağlanmasını gerektirir. Bu tür cihazların tipik olarak bağlandığı yer kullanıcının ayağıdır [8] [9]. Cihazın ayağa bağlanması ivmeölçerin ölçtüğü değerlerin, sadece adım atma olayından kaynaklanmasını sağlar ve ayağın hareketsiz ve yere basarkenki durumu hızlanma sinyali için bir referans noktası olarak kullanılabilir. Özel cihaz kullanan YPH sistemleri için kullanılan bir diğer bağlanma noktası ise kullanıcının belidir [10] [11] ve sistem bu şekilde kullanıcının bedeninin üst kısmındaki hızlanma bilgisini kullanır.

Yukarıda bahsedilen çalışmalarda, kullanıcı YPH amaçlı özel bir cihazı taşımak zorunda bırakılmaktadır. Bunun yerine YPH sistemleri modern akıllı telefonlarda bulunan algılayıcılar kullanılarak da gerçekleştirilebilir [12] [13] [14] [15] [16]. Ancak algılayıcı bilgilerinin bir cep telefonundan elde edilmesi, algılayıcıdan elde edilen ölçümlerin cihazın pozisyonu ve oryantasyonuna bağlı değerler olmasından dolayı önemli sorunlar ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle, pek çok YPH sistemi, cep telefonunun kullanıcı tarafından ön tanımlı bir pozisyonda tutularak taşındığı varsayımıyla gerçekleştirilmiştir.

Bu bildiriye, YPH sistemlerinin adım tespit ve adım uzunluğu tahmin aşamalarında kullanılan yöntemler akıllı bir cep telefonu üzerinde gerçekleştirilmiş ve bu yöntemlerin performansları farklı yürüme hızlarında ve farklı cep telefonu pozisyonlarda değerlendirilmiştir.

İkinci bölümde farklı adım tespit ve adım uzunluğu tahmin yöntemleri tanıtılmıştır, üçüncü bölümde ise bu yöntemleri değerlendirmek ve uygulamak için kullandığımız deneysel çerçeve ve varsayılan parametreler tanıtılmıştır. Dördüncü bölümde deneysel sonuçlar rapor edilmiş ve son olarak beşinci bölümde ise sonuçlar tartışılmıştır.

2. Adım Tespit ve Adım Uzunluğu Tahmin Yöntemleri

Hızlanma sinyali x , y ve z bileşenlerinden oluşan üç boyutlu bir vektördür. Bu eksenler, kolaylık sağlama amacıyla, ivmeölçeri taşıyan kullanıcıya bağlı olarak tanımlanır. Gerçekleştirmelerimizde, x eksenini kullanıcının sağına bakan yöndedir, y eksenini kullanıcının yönüyle örtüşür ve z eksenini kullanıcıdan yukarı doğru çıkan yöndedir. Hızlanma sinyalinin bu yönlerdeki bileşenleri, t zamanında, sırasıyla $a_x(t)$, $a_y(t)$, $a_z(t)$ olarak tanımlanır. Bu sinyal, ayrık zaman aralıklarında örneklenirse, i aralığında örneklenen bileşenler $a_x[i]$, $a_y[i]$ ve $a_z[i]$ şeklinde olacaktır.

Kullanıcı yürüdüğü zaman, hızlanma sinyali, atılan adımlardan dolayı, periyodik bir desen sergiler ve bu desenin karakteristiği kullanıcının ivmeölçer cihazını taşıma şekline göre değişir. İvmeölçer ölçümleri cihaz pozisyonuna bağlı olarak ölçtüğünden ve bu yön kullanıcının yönünden farklı olabileceğinden, bazı çalışmalarda, cihaz yönüne bağımlılığı gidermek amacıyla, hızlanma sinyalinin normu, $a(t)$, aşağıdaki gibi hesaplanarak kullanılır.

$$a(t) = \sqrt{a^2 x(t) + a^2 y(t) + a^2 z(t)} \quad (1)$$

$$a[i] = \sqrt{a^2 x[i] + a^2 y[i] + a^2 z[i]}$$

$a(t)$ sinyali, bileşenlerine benzer şekilde, kullanıcının adımı esnasında periyodik bir deseni takip eder ve bu desen cihazın taşınma şekline bağlıdır.

FootPath isimli mobil uygulamada kullanılan adım tespit yönteminde [12] hızlanma sinyali kullanıcının önünde ve ekranı yukarı doğru tutulan bir cep telefonundan elde edilmektedir. Cep telefonunun bu şekilde tutulması, kullanıcı ve cep telefonu oryantasyonlarının eşleştirilmesi ve elde edilen ölçümlerin yukarıda açıklanan notasyonda elde edilmesidir. Cep telefonu bu şekilde tutulduğunda sinyal en büyük değişimleri dikey yönde gerçekleştirmektedir ve bu yüzden sadece $a_z(t)$ bileşeni adım tespiti için kullanılmaktadır. Bu sinyal 30 Hz hızda örneklenmekte, alçak geçiren filtreden geçirilerek yüksek frekanslı gürültülerden arındırılmaktadır. Daha sonra filtrelenen örnek değer $a_z[i]$, kendinden önceki 5 değerle ($a_z[i-1]$, $a_z[i-2]$, ..., $a_z[i-5]$) karşılaştırılır ve yalnızca şu anki değeri ile önceki 5 değerlerin herhangi biri arasındaki fark belli bir sınır değerini aşıyorsa adım tespiti gerçekleştirilir. Ayrıca, yanlış adımları minimuma indirmek için, herhangi bir adım tespit edildiğinde arka arkaya 10 örnek değere karşılık gelen bir zaman periyodu için yeni adım tespiti geçici olarak devre dışı bırakılır.

Leppakoski ve arkadaşları [17] adım tespiti için, hızlanma sinyalinin her üç bileşenine de alçak geçiren filtre uygulandıktan sonra hesaplanan normu, $a(t)$, kullanılmaktadır. Norm sinyali, dünyanın yerçekiminden dolayı ortalama $g \approx 9.8 \text{ m/s}^2$ değerine sahiptir ve periyodik olarak bu değer üstüne çıkmaktadır. Adım tespiti yapılırken, adım başlangıcı olarak bu geçiş anları kullanılmaktadır. Ancak bu geçişlerin geçerli adımlar olarak kabul edilebilmesi için iki şart sağlanmalıdır. Birincisi, o anki ölçüm değerinin belli bir *tepe eşik değerini* geçmesi gerekmektedir. İkincisi, bir önceki ölçüm değeriyle o anki ölçüm değeri arasındaki farkın ($a[i] - a[i-1]$) örnekleme periyoduna bölümüyle hesaplanan *yükseliş oranının*, eşik değeri geçmesi gerekmektedir. Eğer bu iki şart belirlenen *zaman aşımı süresi* içerisinde gerçekleşirse adım kabul edilir, aksi halde reddedilir. Adımın kabul edilmesi durumunda, bir sonraki adımın başladığı nokta, tespit edilen adımın da son noktası olarak kabul edilir.

Li ve arkadaşları [13], tepe noktası tespitine dayanan ve yanlış adımları reddetmek için birçok kontrol içeren bir adım tespit modeli kullanmışlardır. Öncelikle hızlanma sinyalinin normu, hızlanma sinyali bileşenlerinden hesaplanır ve alçak geçiren filtreden geçirilir. Daha sonra sonuç sinyalindeki tepe noktaları tespit edilir ve tespit edilen her tepe noktasına karşılık gelen tepenin büyüklüğü ve zaman aralığı hesaplanır. Bu büyüklükler *minimum tepe büyüklüğü* ve *minimum tepe zaman aralığı* değeri ile karşılaştırılır. Bu eşik değerlerin ikisini de aşmayan tepe noktaları elenir. Geriye kalan tepeler ise kullanıcı adımlarının sınırları olarak kabul edilir. Bu adım sınırları daha sonra yanlış tespitleri minimuma indirmek için iki kontrolden geçerler: (1) bir adım belirlenen *maksimum*

adım süresinden daha uzun sürmemelidir ve (2) adım esnasında *hızlanma sinyalinin değişimi*, belirlenen minimum ve maksimum değerler arasında olmalıdır. Eğer adımlar bu kontrolleri geçerse *dinamik zaman çarpıtma (DZÇ)* yöntemi kullanılarak son bir doğrulama aşamasından geçer. Bu yöntem, kullanıcının sol ve sağ ayağını sırayla kullanacağı varsayımına dayanmaktadır ve her iki sinyalde bir sinyallerin birbirine belirli bir benzerlikte olması gerektiğini kabul eder. Bu iki sinyalin benzerliği dinamik zaman çarpıtma mesafesi, eşik değer olarak kullanılarak tespit edilir. Tespit edilen adımlar sırasıyla S_1, S_2, \dots, S_n olarak tanımlanacak olursa i . adımın (S_i) gerçek kabul edilmesi için, S_i sinyalinin S_{i-2} ya da S_{i+2} sinyallerinden en az birine yeterince benzer olması gerekir.

Adımlar tespit edildikten sonra, her birine bir adım uzunluğu atanmalıdır. *FootPath* adım uzunluğu tahmin yönteminde [12], kullanıcının adım uzunluğu (L) sabit kabul edilir ve kullanıcının sadece boy uzunluğuna (h) bağlı olarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$L = 0.415 \cdot h \quad (2)$$

[13] ve [17] 'de adım uzunluğu, adım frekansı (f) kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır. *Frekans-adım* modeli adımı verdiğimiz bu modelde a ve b sabitlerdir.

$$L = a \cdot f + b \quad (3)$$

Renaudin ve arkadaşları [18] adım uzunluğunu hem adım frekansını hem de kullanıcının boyunu hesaba katarak aşağıdaki şekilde hesaplamıştır. *Yükselik-frekans* modeli adımı verdiğimiz bu modelde a , b ve c sabitlerdir.

$$L = h \cdot (a \cdot f + b) + c \quad (4)$$

[11], [19] ve [20]'de adım uzunluğu kullanıcının yürüyüş aktivitesinin seviyesi kullanılarak hesaplanır. Bu yaklaşımda aktivite seviyesi ne kadar yüksekse (vücudun hareketi ne kadar fazlaysa) o kadar büyük adımların kullanılacağı varsayılmaktadır. Bir adım boyunca $a[i]$ ile ifade edilen N adet hızlanma örneği alınmış olsun. $i=1,2,\dots,n-1$ olmak üzere aktivasyon seviyesi, sinyalin bu aralıktaki varyansı (v) olarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$v = \sqrt{\frac{1}{N} \sum (a(i) - a_m)^2} \quad (5)$$

a_m , sinyalin bu aralıktaki ortalama değeridir. *Frekans-varyans* modeli adımı verdiğimiz bu modele adım uzunluğu aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır. Formüldeki α , β ve γ sabitlerdir.

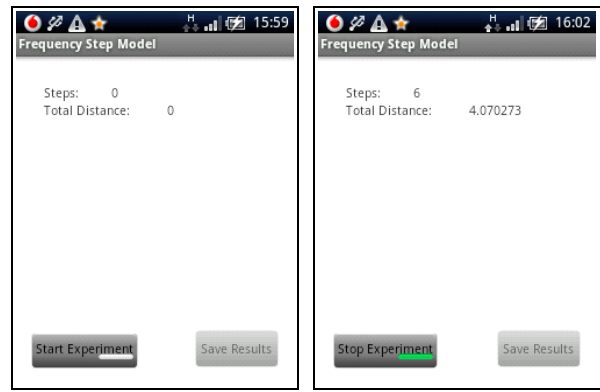
$$L = \alpha \cdot f + \beta \cdot v + \gamma \quad (6)$$

3. Deneysel Çerçeve

Bu çalışmada, önceki bölümde açıklanan adım tespit [12] [17] [13] ve adım uzunluğu tahmin yöntemleri [12] [13] [17] [18] [11], [19] [20], bu yöntemlerin başarı oranlarını test etmek

amacıyla, her biri ayrı bir Android uygulaması olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Uygulamalar, cep telefonunda bulunan ivmeölçerin yardımıyla, düz bir yol boyunca yürüyen bir kullanıcının attığı *adımların toplam sayısını* ve *katettiği toplam mesafeyi* ölçmeyi (sadece adım uzunluğu tahmin yöntemlerini gerçekleştiren uygulamalar) sağlamaktadır.

Frekans-adım modeli için geliştirilmiş uygulamanın ekran görüntüleri Şekil 1'de gösterilmektedir. Tüm uygulamalarda, deneyleri başlatmak ve bitirmek için bir buton, adım sayısı ve yürünen tahmini mesafe gibi bilgileri gösteren etiketler, kullanılan yöntemle ilişkin parametrelerin (örneğin, tepe eşik değeri) değerlerinin değiştirilebildiği bir ayarlar penceresi ve deney bitiminde deney sonuçlarının CSV dosyası olarak kaydedilmesini sağlayan bir buton bulunmaktadır. Ayarlar penceresine telefonun menü butonuna basıldıktan sonra 'Ayarlar' seçeneği seçilerek ulaşılmaktadır.



Şekil 1: *Frekans-adım* modeli uygulamasının deney başlamadan (sol) ve deney sırasında (sağ) ekran görüntüleri

Çizelge 1 ve Çizelge 2'de sırasıyla kullanılan adım tespit ve adım uzunluğu tahmin yöntemlerinin varsayılan parametreleri verilmiştir.

Çizelge 1: Adım tespit yöntemleri için varsayılan parametre değerleri

| Parametre | Varsayılan Değer |
|-------------------------------------|----------------------|
| Adım Algılayıcısı [17] | |
| Örnekleme Oranı | 30 Hz |
| Alçak Geçiren Filtre Derecesi | 1 |
| Tepe Eşik Değeri | 1.7 m/s ² |
| Yükseliş Oranı Eşik Değeri | 10 m/s ³ |
| Zaman Aşımı Süresi | 0.9 saniye |
| Adım Algılayıcısı [13] | |
| Örnekleme Oranı | 50 Hz |
| Alçak Geçiren Filtre Derecesi | 30 |
| Alçak Geçiren Filtre Kesim Frekansı | 3 Hz |
| Minimum Tepe Büyüklüğü | 2 m/s ² |
| Minimum Tepe Zaman Aralığı | 0.3 saniye |
| Maksimum Adım Süresi | 1 saniye |
| Min. ve Maks. Sinyal Değişimi | 0.2g ve 2g |
| DZÇ Eşik Değeri | 3 |

Çizelge 2: Adım uzunluğu tahmin yöntemleri için varsayılan parametre değerleri

| Parametre | Varsayılan Değer |
|--------------------------|------------------------|
| FootPath | |
| Kullanıcının boyu | 1.83 m |
| Frekans-adım | |
| a | 0.22 m/Hz |
| b | 0.28 m |
| Yükseklik-frekans | |
| Kullanıcının boyu | 1.83 m |
| a | 0.13 saniye |
| b | 0.13 |
| c | 0.1 m |
| Frekans-varyans | |
| α | 0.2 m/Hz |
| β | 0.01 s ⁴ /m |
| γ | 0.22 m |

4. Deneysel Sonuçlar

Bu çalışmada gerçekleştirimi yaptığımız adım tespit ve adım uzunluğu tahmin yöntemlerinin doğruluğu, düz bir yol boyunca cep telefonu ile yürüyen bir kullanıcı ile test edilmiştir. Kullanıcı cep telefonunu elde ve pantolon cebinde olmak üzere iki farklı şekilde taşıyabilmektedir. Cep telefonunu elde taşıdığı durumlarda ise telefon FootPath çalışmasında olduğu gibi yürüme yönünde oryante bir şekilde taşımaktadır. Deneyselerde aynı zamanda 3 farklı yürüme hızı (yavaş, orta, hızlı) kullanılmıştır. Her senaryo, ortalama ve standart sapma değerlerinin elde edilebilmesi için 5 kez tekrar edilmiştir.

Çizelge 3, 4 ve 5'te adım tespit yöntemleri ile hesaplanan toplam adım sayısının hata yüzdeleri gösterilmiştir. Her senaryo için adım algılama hatasının ortalama değeri ve standart sapması (parantez içinde) gösterilmektedir. Negatif hata değerleri gerçek adımların sayısından daha az tespit edilen adım sayısını gösterir.

Çizelge 3: Adım algılayıcısı [12] için hata değerleri

| Yürüme Hızı | Elde | Cepte |
|-------------|------------------|----------------|
| yavaş | -23.2% (6.34%) | 0% (3.08%) |
| normal | -0.667% (0.577%) | -12.2% (12.4%) |
| hızlı | 0% (0%) | 0% (3.61%) |

Çizelge 4: Adım algılayıcısı [13] için hata değerleri

| Yürüme Hızı | Elde | Cepte |
|-------------|------------------|------------------|
| yavaş | -4.33% (2.31%) | -1% (0%) |
| normal | -1% (0%) | -0.333% (0.577%) |
| hızlı | -0.333% (0.577%) | -6% (7.7%) |

Çizelge 5: Adım algılayıcısı [17] için hata değerleri

| Yürüme Hızı | Elde | Cepte |
|-------------|------------------|------------------|
| yavaş | -31% (3.61%) | -9.2% (7.85%) |
| normal | -0.667% (0.577%) | 0% (1%) |
| hızlı | -0.333% (0.577%) | -0.333% (0.577%) |

Çizelge 6, 7, 8 ve 9'da ise farklı adım uzunluğu tahmin yöntemleri ile tahmin edilen toplam yürüme mesafesinin doğruluk yüzdeleri gösterilmiştir. Negatif hata değerleri gerçek yürüme mesafesinden daha az tespit edilen yürüme

mesafelerini gösterir. Bu testlerde, Li ve arkadaşlarının kullandığı adım tespit yöntemi [9] kullanılmıştır.

Çizelge 6: FootPath adım modeli için hata değerleri

| Yürüme Hızı | Elde |
|-------------|-----------------|
| yavaş | 10.2% (2.06%) |
| normal | -2.68% (1.42%) |
| hızlı | -13.7% (0.636%) |

Çizelge 7: Frekans-adım modeli için hata değerleri

| Yürüme Hızı | Elde |
|-------------|-----------------|
| yavaş | -2.39% (0.721%) |
| normal | -6.24% (0.742%) |
| hızlı | -11.4% (0.424%) |

Çizelge 8: Yükseklik-frekans adım modeli için hata değerleri

| Yürüme Hızı | Elde |
|-------------|-----------------|
| yavaş | 3.54% (0.0849%) |
| normal | -0.41% (0.579%) |
| hızlı | -5.81% (0.212%) |

Çizelge 9: Frekans-varyans adım modeli için hata değerleri

| Yürüme Hızı | Elde | Cepte |
|-------------|-----------------|-----------------|
| yavaş | -12.2% (0.866%) | -5.1% (1.9%) |
| normal | -11.2% (2.2%) | 0.0897% (1.06%) |
| hızlı | -9.34% (0.399%) | 4.67% (1.53%) |

5. Tartışma

FootPath adım tespit yöntemi [12], z eksenli boyunca ölçülen hızlanmaya dayanmaktadır ve kullanıcı cihazı elinde tutarken daha iyi sonuç vermektedir. Çizelge 3'te görüldüğü gibi, kullanıcının yavaş yürümesi hariç cihazın elde bulunduğu durumlarda adım tespit hatası neredeyse sıfırdır. Cihaz cep içerisinde taşındığında ise FootPath adım algılayıcısı daha az güvenilir hale gelmektedir. Bunun nedeni, kullanıcı ve cep telefonu oryantasyonlarının eşleşmemesi ve cihazın z eksenli boyunca hızlanmasının cihazın cepteki açısı ve kullanıcının yürüme stili gibi pek çok parametreye bağlı olmasıdır. Cep telefonunun elde ve yavaş yürünmesi senaryosundaki hatanın yüksekliği ise genel olarak tüm adım tespit yöntemlerinde mevcuttur. Bu senaryodaki hatanın nedeni ise kullanıcının yavaş hareketinden dolayı hızlanma sinyalinin daha az belirgin olması ve el hareketlerinin bu belirsizliği daha da arttırmasıdır.

Li ve arkadaşlarının önermiş olduğu adım tespit yöntemi [13] ise, Çizelge 4'te görüldüğü gibi, hemen hemen her senaryoda iyi sonuçlar vermektedir. Cep telefonun cepte ve hızlı bir şekilde yüründüğü senaryoda elde edilen hatanın nedeni ise, bu durumda ayak ve el hareketlerinin çok hızlı olmasından dolayı elde edilen hızlanma sinyal değerlerinin de yüksek olması ve geçerli olan bazı adımların bu yöntemdeki üst eşik değerlerinden dolayı elenmesidir.

Leppakoski ve arkadaşlarının önermiş olduğu adım tespit yöntemi [17] ise, Çizelge 5'te gösterildiği gibi normal ve hızlı yürüme durumlarında iyi bir performans göstermekte ve hata değerleri neredeyse sıfır olmaktadır. Ancak kullanıcının yavaş yürüdüğü durumlarda ise (özellikle cep telefonu eldeken) yöntemde kullanılan ve hatalı adımları ayıklamak için

kullanılan iki eşik değeri, doğru adımların elenmesine neden olmaktadır.

FootPath adım uzunluğu tahmin yöntemi [12], adım uzunluğu tahminini sadece kullanıcı boyuna göre yaptığından ve yürüyüş hızına veya stillerine dair parametresi olmadığından, uygulanan adım uzunluğu tahmin yöntemlerinden en basitidir ve bu durum Çizelge 6’da görülen yavaş ve hızlı yürüme senaryolarında oluşan yüksek hatalarla doğrulanmaktadır.

Diğer adım uzunluğu tahmin yöntemleri ise adım frekansını ölçerek yürüyüş hızını hesaba katarlar. Ancak, adım frekansı ve yürüyüş hızı arasındaki ilişki kişiden kişiye değişmektedir. Bu nedenle adım uzunluğu tahmin etmekte kullanılan parametrelerin kullanıcıya göre uyarlanması gerekebilir. Çizelge 7 ve 8’de adım uzunluğunu tahmin hatalarının, farklı yürüme hızları için değişen ve kabul edilebilir bir seviyede olduğu görülmektedir.

Frekans-varyans yöntemi, adım uzunluğunu tahmin ederken, adım frekansına ek olarak hızlanma sinyalinin varyansını da hesaba katmaktadır. Bu yaklaşımda, daha büyük varyansların, daha uzun adım uzunluğuna karşılık geldiği varsayılmaktadır. Çizelge 9’da, bu yöntem için cihazın elde ve cepte taşınması durumlarındaki hata oranlarını gösterilmiştir.

Bu bildiriye gerçekleştirilen ve değerlendirilen adım tespit ve adım uzunluğu tahmin yöntemleri, cep telefonlarında bulunan algılayıcılar kullanılarak geliştirilecek YPH sistemlerinde bileşen olarak kullanılabilir. Deneysel sonuçlarımızda görüldüğü gibi farklı yöntemlerin doğruluğu yürüme hızına ve cihazın pozisyonuna bağlı olabilmektedir.

Kaynaklar

- [1] J. Krumm (Editor), "Ubiquitous Computing Fundamentals", *CRC Press*, 2010.
- [2] V. Otsason, A. Varshavsky, A. LaMarca, and E. de Lara, "Accurate gsm indoor localization", *The Seventh International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp)*, Jan 2005.
- [3] WASP: An Enhanced Indoor Locationing Algorithm for a Congested Wi-Fi Environment, Second International Workshop on Mobile Entity Localization and Tracking in GPS-less Environments (MELT 2009), pp 183-196, 2009.
- [4] Can Tunca, Edip Toplan, Sinan Işık and Cem Ersoy, "Yapay Sinir Ağları ile WiFi Tabanlı İç Mekan Konumlandırma", *Akademik Bilişim 2014*, 2014.
- [5] U. Bandara, M. Hasegawa, M. Inoue, and H. Morikawa, "Design and implementation of a bluetooth signal strength based location sensing system", *Radio and Wireless Conference*, Jan 2004.
- [6] Sungro Yoon, Kyunghan Lee, and Injong Rhee, "FM-based indoor localization via automatic fingerprint DB construction and matching", *11th Annual International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services (MobiSys '13)*. ACM, New York, NY, USA, 207-220, 2013.
- [7] Aleksandar Matic, Andrei Papliatseyeu, Venet Osmani, Oscar Mayora-Ibarra, "FM Radio for Indoor Localisation with Spontaneous Recalibration", *Journal of Pervasive and Mobile Computing (Elsevier)*, vol.6, issue 6, pp.642-656, 2010.
- [8] M. Angermann and P. Robertson, "FootSLAM: Pedestrian Simultaneous Localization and Mapping Without Exteroceptive Sensors - Hitchhiking on Human Perception and Cognition," *Proceedings of the IEEE*, vol.100, no. Special Centennial Issue, pp.1840-1848, 2012.
- [9] Widyawan, M. Klepal, and S. Beauregard, "A backtracking particle filter for fusing building plans with PDR displacement estimates," *5th Workshop on Positioning, Navigation and Communication (WPNC 2008)*, pp.207-212, 2008.
- [10] P. Gilliéron, D. Buchel, I. Spassov, and B. Merminod, "Indoor navigation performance analysis," *Proceedings of the 8th European Navigation Conference GNSS*, pp. 17-19, 2004.
- [11] S. H. Shin, C. G. Park, and S. Choi, "New map-matching algorithm using virtual track for pedestrian dead reckoning," *ETRI journal*, vol. 3 2, no. 6, pp. 891-900, 2010.
- [12] J. Agila Bitsch Link, P. Smith, N. Viol, and K. Wehrle, "FootPath: accurate map-based indoor navigation using smartphones," *International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)*, pp. 1-8, 2011.
- [13] F. Li, C. Zhao, G. Ding, J. Gong, C. Liu, and F. Zhao, "A reliable and accurate indoor localization method using phone inertial sensors," *Proceedings of the 2012 ACM Conference on Ubiquitous Computing* pp. 421-430, 2012.
- [14] W. Shih and K. Lan, "Using smartphone with un-scaled map for indoor localization," *9th Annual IEEE Communications Society Conference on Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks (SECON)*, pp. 18-21, 2012.
- [15] I. Constandache, R. R. Choudhury, and I. Rhee, "Towards mobile phone localization without war-driving," *Proceedings of IEEE INFOCOM*, 2010, pp.1-9, 2010.
- [16] P. Pombinho, A. P. Afonso, and M. B. Carmo, "Indoor positioning using a mobile phone with an integrated accelerometer and digital compass," *In INForum*, 2010.
- [17] H. Leppakoski, J. Collin, and J. Takala, "Pedestrian navigation based on inertial sensors, indoor map, and WLAN signals," *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, pp. 1569-1572, 2012.
- [18] V. Renaudin, M. Susi, and G. Lachapelle, "Step length estimation using handheld inertial sensors," *Sensors*, vol. 12, pp. 8507–8525, 2012.
- [19] M. S. Lee, S. H. Shin, and C. G. Park, "Evaluation of a pedestrian walking status awareness algorithm for a pedestrian dead reckoning," *Proceedings of the 23rd International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation*, pp. 2280-2284, 2010.
- [20] Q. Ladetto, "On foot navigation: continuous step calibration using both complementary recursive prediction and adaptive Kalman filtering", *Proceedings of ION*, 2000.