

MİNYATÜR EYLEMSİZLİK DUYUCULARI VE MANYETOMETRELERLE AKTİVİTE TANIMADA KİŞİLER ARASI FARKLILIKLARIN İNCELENMESİ INVESTIGATION OF PERSONAL VARIATIONS IN ACTIVITY RECOGNITION USING MINIATURE INERTIAL SENSORS AND MAGNETOMETERS

Aras Yurtman, Billur Barshan

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü

Bilkent Üniversitesi

yurtman,billur@ee.bilkent.edu.tr

ÖZETÇE

Bu çalışmada insan bedeninin beş noktasına yerleştirilmiş, her biri üç eksenli ivmeölçer, dönüölçer ve manyetometre içeren beş duyucu ünitesinden 19 farklı günlük aktivite sırasında elde edilen veriler kullanılarak katılımcılar arası ve aktiviteler arası farklılıklar, çeşitli yöntemlerle hesaplanmış ve özellenmiştir. İşaretlerin karşılaştırılması için mutlak, Öklit ve dinamik zaman bükmesi uzaklıkları, karşılaştırmalı olarak kullanılmıştır. Karşılaştırmalar, zaman bölgesindeki ham veri, üç farklı şekilde düzelenmiş veri, öznel vektörleri ve düzelenmiş öznel vektörleri ile yapılmıştır. İlk önce katılımcılar arası uzaklıkların aktiviteler ve katılımcılara göre ortalamaları sunulmuştur. “En iyi” katılımcı tanımlaması, diğer katılımcılara olan ortalama uzaklığa dayalı olarak yapılmış ve bu sonuçlar kullanılarak en iyi katılımcılar saptanmıştır. Daha sonra, aktiviteler arası uzaklıkların katılımcılara, ünitelere ve duyuculara göre ortalamaları ve standart sapmaları hesaplanmıştır. Ayrıca, işaretlerin düzelenmesinin ve kullanılan uzaklık ölçütünün sonuçlara etkisi tartışılmıştır.

ABSTRACT

In this paper, data acquired from five sensory units mounted on the human body, each containing a tri-axial accelerometer, gyroscope, and magnetometer, during 19 different human activities is used to calculate inter-subject and inter-activity variations using different methods and the results are summarized in various forms. Absolute, Euclidean, and dynamic time-warping distances are used to assess the similarity of the signals. The comparisons are made using the raw and normalized time-domain data, raw and normalized feature vectors. Firstly, inter-subject distances are averaged out per activity and per subject. Based on these values, the “best” subject is defined and identified according to his/her average distance to the others. Then, the averages and standard deviations of inter-activity distances are presented per subject, per unit, and per sensor. Moreover, the effects of removing the mean and the different distance measures on the results are discussed.

1. GİRİŞ

İnsan aktivitelerinin tanınması ve ayırt edilmesinde, giyilebilir minyatür eylemsizlik duyucuları ve manyetometrelerin kullanımı, oldukça taşınabilir ve ucuz olmaları nedeniyle giderek yaygınlaşmaktadır. Bu yaklaşım, genellikle yüksek sınıflandırma başarımı sağlamaktadır [1, 2]. Öte yandan, elde edilen veri, insan aktivitelerinin tanınmasında kullanılan yöntemden bağımsız olarak kişiye göre önemli ölçüde değişmektedir. Minyatür duyucu verileri, kişilerin aktiviteleri yapış tarzlarına ve beden yapılarına göre, özellikle genlik ve hız bakımından çoğunlukla doğrusal olmayan bir biçimde değişmektedir. Değişen dalga biçimleri, insanlar tarafından kolayca algılanabilmesine karşın matematiksel bir sistem tarafından eşleştirilmeleri oldukça güçtür. Bu nedenle, denek-tabanlı

birini dışarıda bırakma (DT-BDB) yönteminde yapıldığı gibi, bir katılımcının aktiviteleri, başka katılımcıların verileriyle eğitilmiş bir sistem tarafından tanımmaya çalışıldığında, sınıflandırma başarımı önemli ölçüde düşmektedir [2].

Kişiler arası farklılıklar, görüntü-tabanlı sistemlerde ayrıntılı olarak incelenmiş [3, 4, 5], ivmeölçer verilerinin katılımcılar arası değişimine, engelli bireylere odaklı olarak yüzeysel olarak değinilmiştir [6]. Kaynak [7]'de, inme sonrasında, motor rehabilitasyonu yapılan hastalara gerçek-zamanlı geribildirim vermek için hastalara gerinim algılayıcılarıyla donatılmış uzun kollu bir gömlek giydirilmiş ve elde edilen verilere dinamik zaman bükmesinin (DZB) özelleştirilmiş bir sürümü uygulanmıştır. Rehabilitasyonda kullanılan bu sistemde öncelikle, hastaya, yapması gereken egzersizler gözetim altında doğru ve yanlış olarak yaptırılarak referans verileri kaydedilir. Ardından, egzersizler sırasında sistem, gerçek zamanlı olarak hangi hareketin yapıldığını saptayarak hastaya hareketi ne derece doğru yaptığını gösterir. Bugüne kadar yapılan aktivite tanıma ve ayırt etme çalışmalarında duyucu verilerinin kişiler arası değişimi incelenmemiştir. Kaynak [8]'deki çalışmanın devamı niteliğindeki bu çalışmada, duyucu verilerinin her aktivite için katılımcılar arası ortalama değişimi, farklı uzaklık ölçütleri cinsinden hesaplanmıştır. Ayrıca, katılımcılar arası uzaklık değerleri kullanılarak en iyi katılımcının saptanmasını sağlayan bir yöntem önerilmiştir.

2. VERİ KÜMESİ

Bu çalışmada, kaynak [1]'de ayrıntılı verilen, daha önce elde ettiğimiz veri kümesi kullanılmıştır. Deneylerde, bedenlerine beş adet minyatür duyucu ünitesi yerleştirilmiş dördü bayan dördü erkek, yaşları 20-30 arasında değişen 8 katılımcı, her biri 5 dakika süren, oturma (A1), ayakta durma (A2), sırt üstü ve sağ taraf üzerine uzanma (A3 ve A4), merdiven inme ve çıkma (A5 ve A6), asansörde hareketless ayakta durma ve gezinme (A7 ve A8), otoparkta yürüme (A9), koşu bandında yatay olarak ve yere 15° açıyla 4 km/saat hızda yürüme (A10 ve A11), koşu bandında 8 km/saat hızda koşma (A12), step yapma (A13), çapraz egzersiz cihazı kullanma (A14), egzersiz bisikletinde yatay ve açılı konumda pedal çevirme (A15 ve A16), kürek çekme (A17), zıplama (A18) ve basketbol oynama (A19) olmak üzere 19 farklı aktivite gerçekleştirilmiştir. Katılımcıların aktiviteleri yapış biçimlerine karışılmamıştır [1]. Her duyucu ünitesinde, her biri üç eksenli olmak üzere birer ivmeölçer, dönüölçer ve manyetometre bulunmaktadır. Deneylerde duyucular önceden kalibre edilmemiştir.

Veri kümesinde, bir katılımcının yaptığı bir aktiviteye ait, her biri 5 dakika ya da 7,500 örnek uzunluğunda olan ve 25 Hz sıklığında örneklenmiş 45 adet (5 ünite \times 9 duyucu) zamanda ayrıık işaret bulunmektedir. Zaman bölgesindeki $x(t)$ işaretinin örneklenmiş biçimi $x[n]$ ile gösterilmektedir; yani $0 \leq t \leq 300$ s ve $1 \leq n \leq 7,500$ olmak üzere,

$$x_{p,a,u,s}[n] = x_{p,a,u,s}(t) \Big|_{t=\frac{n}{25}} \quad (1)$$

Burada $p \in [1, 8]$ katılımcı, $a \in [1, 19]$ aktivite, $u \in [1, 5]$ ünite ve $s \in [1, 9]$ duyucu endeksine karşı gelmektedir. Bunların sıraları kaynak [1]'de verildiği gibi, sayıları da sırasıyla $N_p = 8$, $N_a = 19$, $N_u = 5$ ve $N_s = 9$ 'dur.

Zaman bölgesindeki işaretler, 5 saniyelik bölütlere ayrılarak her bölüitten 1,170 elemanlı bir öznitelik vektörü elde edilmiştir. Her öznitelik vektörü, bir katılımcının yaptığı bir aktiviteye ait 45 işaretin aynı bölütlerinden elde edilen belirli özelliklerden oluşmaktadır; yani, her katılımcının her aktivitesi için $N_k = 60$ öznitelik vektörü bulunmaktadır. Bu özellikler, işaretin en küçük, en büyük ve ortalama değeri, 2., 3. ve 4. momentleri, özilinti işlevi üzerinde eşit aralıklarla seçilmiş 10 örnek nokta, ayrı Fourier dönüşüm işaretinin en büyük beş değeri ve bunlara karşılık gelen frekans değerleridir [1]. Öznitelik vektörleri, $k \in [1, 60]$ bölüt numarası olmak üzere $\mathbf{v}_{p,a}\{k\}$ ile gösterilmektedir.

Kişiler ya da aktiviteler arasındaki farkların adilce karşılaştırılabilmesi için, veri kümesinde farklı düzgeleme yöntemleri kullanılmıştır. Zaman bölgesindeki işaretler, sıfır ortalamalı, sıfır ortalamalı ve 1 değışintili, ya da -1 ile 1 arasında olacak şekilde üç farklı düzgeleme yöntemi kullanılmıştır. Öznitelik vektörleri için ise, her öznitelik değeri -1 ile 1 arasında değışecek şekilde düzgeleme uygulanmıştır. Ham verinin ve farklı biçimde düzgelelenmiş verilerin kullanılmasının sonuçlara etkisi gösterilecektir.

3. UZAKLIK ÖLÇÜTLERİ

Duyucu verilerini ya da bunlardan elde edilen öznitelik vektörlerini birbirleriyle karşılaştırmak için, üç farklı uzaklık ölçütü kullanılmıştır. Karşılaştırılacak ayrı işaretler $x[n]$ ve $y[n]$ ($1 \leq n \leq N$) olmak üzere, bu ölçütler:

- mutlak uzaklık (taksi uzaklığı):
$$d_{\text{mutlak}}(x[n], y[n]) = \sum_{i=1}^N |x[i] - y[i]| \quad (2)$$

- Öklit uzaklığı:
$$d_{\text{öklit}}(x[n], y[n]) = \sqrt{\sum_{i=1}^N (x[i] - y[i])^2} \quad (3)$$

- dinamik zaman bükmesi (DZB) uzaklığı:
$$d_{\text{DZB}}(x[n], y[n]) \quad (4)$$

Mutlak ve Öklit uzaklıklarının tanımlı olması için $x[n]$ ve $y[n]$ işaretleri aynı uzunlukta olmalıdır. Fakat DZB uzaklığı için böyle bir koşul yoktur; bu nedenle, DZB uzaklığında $x[n]$ için $1 \leq n \leq N$, $y[n]$ için $1 \leq n \leq M$ aralıkları alınabilir.

Veriler elde edilirken duyucular kalibre edilmediği için ölçümlerde önemli miktarda yanlışlık hataları olabileceğinden, işaretlerin, ortalama değeri çıkarılmış, düzgelelenmiş sürümleri ($\bar{x}_{p,a,u,s}[n]$) de oluşturulmuştur. Karşılaştırmalarda ham ve düzgelelenmiş işaretler kullanılmış ve sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Ortalama değerler, aktivitelerle ilgili önemli bilgiler vermesine karşın, duyuculardaki yanlışlık hataları nedeniyle zaman zaman yanlışlıklar olabilmektedir.

Yanlışlık hataları, yukarıda belirtilen uzaklık ölçütlerini birbirinden çok farklı şekilde etkilemektedir. Karşılaştırılacak işaretler $x[n]$ ve $y[n]$, birbirinden yalnızca ortalama değeri bakımından farklı olduğunda, yani $e[n] \equiv E > 0$ sabit yanlışlık hatası olmak üzere $y[n] = x[n] + E$, $1 \leq n \leq N$ iken, bu iki işaret arasındaki uzaklıklar aşağıda verilmiştir:

$$d_{\text{mutlak}}(x[n], y[n]) = \sum_{i=1}^N |E| = NE \quad (5)$$

$$d_{\text{öklit}}(x[n], y[n]) = \sqrt{\sum_{i=1}^N E^2} = \sqrt{NE^2} = \sqrt{N}E \quad (6)$$

$$d_{\text{DZB}}(x[n], y[n]) \leq NE \quad (7)$$

Örneğin, $N = 100$ ve $E = 0.01$ iken $d_{\text{mutlak}}(x[n], y[n]) = 1$, $d_{\text{öklit}}(x[n], y[n]) = 0.1$ ve $d_{\text{DZB}}(x[n], y[n]) \leq 1$ 'dir. Yanlışlık hatası olması durumunda bu üç uzaklık ölçütünün ne kadar farklı sonuçlar verdiği görülmektedir.

4. EN İYİ KATILIMCI

Bu çalışmada “en iyi” katılımcı, aktivite verileri diğer katılımcılara en çok benzeyen katılımcı olarak alınmıştır. En iyi katılımcıyı saptamak için, öncelikle veri kümesinde bir katılımcıya ait verilerin diğer katılımcıların verilerine olan ortalama uzaklığı hesaplanmıştır. Ham ve düzgelelenmiş zaman bölgesindeki işaretler ile öznitelik vektörleri, yukarıda belirtilen üç uzaklık ölçütü kullanılarak kendi içlerinde karşılaştırılmıştır.

Aktivite verilerini kullanarak iki katılımcı arasındaki benzerliği bulmak için şöyle bir yol izlenmiştir: Her aktivite ve her ünitenin her duyucusu için, iki katılımcının zaman bölgesindeki işaretleri arasındaki uzaklıklar hesaplanmış ve tüm aktiviteler, üniteler ve duyucular üzerinden ortalamaları alınmıştır. Elde edilen ortalama, bu iki katılımcı arasındaki uzaklık kabul edilmiştir:

$$d_{\text{katılımcılar arası, } \mathfrak{D}}^{\text{işaretler}}(p_1, p_2) = \frac{1}{N_a N_u N_s} \sum_a \sum_u \sum_s d_{\mathfrak{D}}(x_{p_1,a,u,s}[n], x_{p_2,a,u,s}[n]) \quad (8)$$

Burada \mathfrak{D} , kullanılan uzaklık ölçütüne karşı gelmektedir.

Öznitelik vektörleri kullanılırsa, iki katılımcı arasındaki uzaklık:

$$d_{\text{katılımcılar arası, } \mathfrak{D}}^{\text{öznitelikler}}(p_1, p_2) = \frac{1}{N_k} \sum_k d_{\mathfrak{D}}(\mathbf{v}_{p_1,a}\{k\}, \mathbf{v}_{p_2,a}\{k\}) \quad (9)$$

Bir katılımcının diğer bütün katılımcılara ortalama uzaklığı:

$$d_{\text{ort-katılımcı, } \mathfrak{D}}^{\text{işaretler/öznitelikler}}(p) = \frac{1}{N_p - 1} \sum_{p_1 \neq p} d_{\text{katılımcılar arası, } \mathfrak{D}}^{\text{işaretler/öznitelikler}}(p, p_1) \quad (10)$$

Diğer katılımcılarla kendisi arasında ortalama olarak en küçük uzaklık bulunan katılımcı, yani aktiviteleri geri kalan katılımcılara göre en yakın ya da benzer biçimde gerçekleştiren katılımcı, zaman bölgesindeki işaretler ya da öznitelikler cinsinden “en iyi” katılımcı olarak kabul edilmiştir:

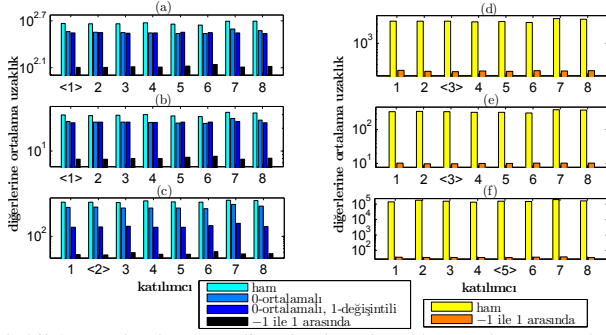
$$\text{En İyi Katılımcı}_{\mathfrak{D}}^{\text{işaretler/öznitelikler}} = \arg \min_p d_{\text{ort-katılımcı, } \mathfrak{D}}^{\text{işaretler/öznitelikler}}(p) \quad (11)$$

DZB uzaklığını hesaplamak, diğer uzaklık ölçütlerine göre çok daha uzun sürdüğünden, hesaplamaları hızlandırmak için bu çalışmada verilerin %5'i kullanılmıştır. Bu durumda 5 dakikalık (7,500 örneklemlili) özgün işaretlerin ilk 15 saniyesi (ilk 375 örneklemlili) alınmıştır. Öznitelik vektörleri içinse verinin % r = %5'lik kısmı kullanılmak istendiğinde, her katılımcının her aktivitesi için yalnızca ilk $\bar{N}_k = \lceil 60 \frac{r}{100} \rceil = 3$ bölüte karşılık gelen ilk üç öznitelik vektörü alınmıştır.

Bu çalışmadaki hesaplama yöntemleri, verinin tümünü kullanacak şekilde verilmiştir. Veri kümesini kısmen kullanmak için, Bölüm 4'teki denklemlerde n indisi sınırlandırılmalı ve N_k değışkeni \bar{N}_k ile değıştirilmelidir.

Elde edilen sonuçlar, Şekil 1'de gösterilmiştir. Zaman bölgesinde -1 ile 1 arasında olacak şekilde düzgelelenmiş işaretler, mutlak ve Öklit uzaklıkları kullanılarak karşılaştırıldığında 1. katılımcı [Şekil 1 (a), (b)], DZB yöntemiyle karşılaştırıldığında ise 2. katılımcı [Şekil 1 (c)] “en iyi” olarak belirlenmiştir. Öte yandan, -1 ile 1 arasında düzgelelenmiş öznitelik vektörleriyle karşılaştırma yapıldığında, “en iyi”ler, 3. ve 5. katılımcılar olmuştur [Şekil 1 (d)–(f)]. Şekilde, kullanılan verinin düzgelelenmesinin sonuçlara etkisi de görülmektedir. Düzgeleme yapılması, özellikle DZB yöntemi kullanıldığında, bir katılımcının işaretlerinin diğer katılımcılarınkilerine olan ortalama uzaklığını 5,000 kata kadar azaltmaktadır. Çünkü, DZB yönteminin, işaretleri birbirleriyle eşleştirerek doğru sonuçlar verebilmesi için, iki işaret de aynı ölçekte olmalıdır. İşaretlerin genlikleri ve ortalama değeri birbirinden çok farklı olduğunda, DZB yöntemi işaretler arasındaki şekil benzerliklerini bulamamaktadır. Bu yüzden, şekilde de görüldüğü gibi, DZB yöntemi yalnızca düzgelelenmiş verilere uygulanmalıdır.

Burada kullanılan yöntemde, en iyi olarak belirlenen katılımcı, aktiviteleri en doğru biçimde yapan kişi olmamasına karşın, katılımcı sayısı az olmamak kaydıyla, tüm katılımcılar arasında en “ortada”



Şekil 1 : Her katılımcının diğer katılımcılara olan ortalama (a), (d): mutlak, (b), (e): Öklit ve (c), (f): DZB uzaklığı. -1 ile 1 arasında düzelenmiş veriye göre en küçük uzaklığa sahip katılımcının numarası parantez içinde yazılmıştır.

bulunan kişi olduğundan, en iyi seçilen katılımcının, aktiviteleri yanlış yapan bir kişi olma olasılığı düşüktür. Örneğin, veri kümesi sadece yürüme aktivitesinden oluşsaydı ve katılımcılar yalnızca yürüme hızları bakımından farklılık gösterseydiler, bu yöntemle, ortalamaya en yakın hızda yürüyen kişi, en iyi katılımcı seçilecekti.

Öte yandan, bir kişinin bir başkasına bir dans figürünü, spor hareketini ya da bir cihazı kullanmayı öğrettiği durumlarda ya da bir hastaya rehabilitasyon hareketlerinin öğretilmesinde bu yöntem çok yararlı olabilir. Bu çerçevede, eğitmenin hareketi doğru yapmasına karşın öğrenmekte olan kişilerin fiziksel hareketi ilk başta düzgün bir şekilde yapamamaktadır. Burada kullanılan başarı ölçütleri, öğrenen kişilerin doğru hareketten ne kadar saptıklarını göstermek için kullanılabilir. Örneğin inme sonrası rehabilitasyonda, DZB yönteminin bir varyasyonu, hareketlerin doğruluğunu ölçmek için üst ekstremite üzerine yerleştirilen gerinim duyucularından elde edilen ölçümlere uygulanmıştır [7]. Fakat, kişilerin fiziksel özellikleri de sonuçları önemli ölçüde etkileyebileceğinden, mümkün olduğunda, eğitilen hastaların ilk başta dışarıdan müdahale edilerek doğru hareketi yapmaları sağlanabilirse, kendilerinden kaydedilen veriler referans olarak kullanılabilir. Böylelikle, kişiler arası farklılıkların başarıyı düşürmesi engellenmiş olur. Bir başka çözüm olarak, ilerki çalışmalarda katılımcıların fiziksel özelliklerinden kaynaklanan farklılıkların telafi etmek için bir kalibrasyon yöntemi geliştirilebilir.

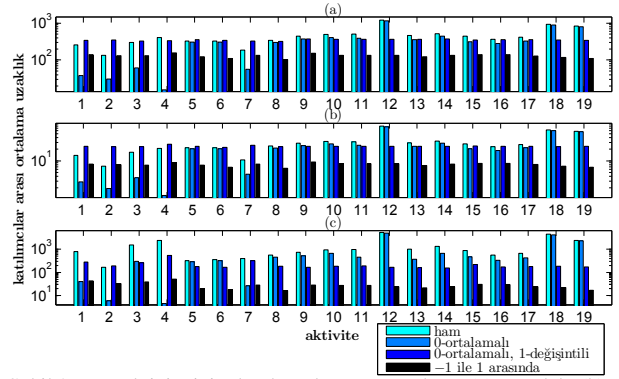
5. AKTİVİTELERE GÖRE KATILIMCILAR ARASI UZAKLIKLAR

Aktivitelere göre katılımcılar arası ortalama uzaklıkları bulmak amacıyla, her aktivite için, her iki farklı katılımcı arasındaki ortalama uzaklık değerleri hesaplanmıştır :

$$d_{\text{ort-aktivite}, \mathfrak{D}}(a) = \frac{1}{N_p(N_p - 1)} \times \sum_{p_1} \sum_{p_2 \neq p_1} \frac{1}{N_u N_s} \sum_u \sum_s d_{\mathfrak{D}}(x_{p_1, a, u, s}[n], x_{p_2, a, u, s}[n]) \quad (12)$$

Burada, ikinci toplam işlemin içindeki ifade, a aktivitesi için p_1 ve p_2 katılımcıları arasındaki ortalama uzaklığı belirtmektedir. Bu ortalama uzaklık, birbirinden farklı her iki katılımcı için hesaplanır ve tüm katılımcı çiftleri üzerinden ortalaması alınarak a aktivitesinin katılımcılar arası ortalama uzaklığı bulunur. Bu işlem, tüm aktiviteler için tekrarlanır.

Sonuçlar, ham ve düzelenmiş veri için, farklı uzaklık ölçütlerine göre Şekil 2'de gösterilmiştir. Bazı aktivitelerin ham ve düzelenmiş veri için olan katılımcılar arası ortalama uzaklıkları birbirine daha yakındır çünkü o aktivitelerde işaretlerin ortalama değerleri kişilere göre fazla değişmemektedir. Ancak, A1-A4 gibi görece durağan aktiviteler, düzelenmiş veride ham veriye göre çok daha küçük ortalama uzaklık değerlerine sahiptir. Bunun nedeni, bu aktivitelerde işaretlerin neredeyse sabit olması ve katılımcılar arasında fazla farklılık olmaması, fakat yanlışlıklar nedeniyle değerlerin hatalı ölçülmesidir. Düzelenmemiş



Şekil 2 : Her aktivite için, katılımcılar arası ortalama (a): mutlak, (b): Öklit, (c): DZB uzaklığı. Zaman bölgesindeki ham ve düzelenmiş işaretler kullanılmıştır.

işaretler DZB yöntemini yanılttığından, ham ve düzelenmiş veri arasındaki fark, DZB uzaklık ölçütü kullanıldığında daha fazladır.

Şekil 2'de, ayrıca, A12, A18 ve A19 aktivitelerinin katılımcılar arası ortalama uzaklıkları, diğer aktivitelerle göre daha yüksektir. Bunun nedeni, bu aktivitelerin önemli olmaması ve diğerlerine göre daha rastgele yapıda olmasıdır. Rastgele işaretler arasında zaman bölgesinde yapılan karşılaştırmalar, işaretlerin evrelerinin birbiriyle uyuşmaması ve sıklıklarının az da olsa birbirinden farklı olması nedeniyle doğru sonuçlar vermemektedir. Bunun yerine, öznel vektörleri ile yapılan karşılaştırmalar, bu tür aktiviteler için daha iyi sonuç vermektedir.

6. HER KATILIMCI, ÜNİTE VE DUYUCU İÇİN AKTİVİTELER ARASI ORTALAMA UZAKLIK

Bu bölümde, katılımcılar, üniteler ve duyucular aynı tutularak farklı aktiviteler arasındaki uzaklıklar, zaman bölgesinde sıfır-ortalama işaretler kullanılarak hesaplanmıştır. \mathfrak{D} uzaklık ölçütü, (a_1, a_2) aktivite çifti; p , s ve u , sırasıyla katılımcı, ünite ve duyucu endeksleri olmak üzere, aktiviteler arası uzaklık değerleri

$$d_{\text{aktiviteler arası}, \mathfrak{D}}(p, a_1, a_2, u, s) = d_{\mathfrak{D}}(x_{p, a_1, u, s}[n], x_{p, a_2, u, s}[n]) \quad (13)$$

olarak hesaplanmıştır. Yukarıdaki denklemle hesaplanmış toplam 61,560 uzaklık değeri (8 katılımcı \times 171 aktivite çifti \times 5 ünite \times 9 duyucu) bulunduğundan, uzaklık değerleri, katılımcı, ünite ve duyucuları karşılaştırmak için ayrı ayrı özetlenmiştir.

19 aktivite için oluşturulan 19×19 boyutundaki simetrik uzaklık matrisinde köşegen elemanlar, aynı işaretler arasındaki uzaklığa karşı geldiğinden her zaman sıfırdır. Bu nedenle, hesaplamalarda matrisin yalnızca üst üçgenel kısmındaki $\frac{19(19-1)}{2} = 171$ elemanı kullanılmaktadır. p katılımcısı, u ünitesi ve s duyucusu için, sözü edilen matrisin (a_1, a_2) 'nci elemanı :

$$(\mathbf{D}_{\text{aktivite çifti}, p, u, s})_{a_1, a_2} = d_{\text{aktiviteler arası}, \mathfrak{D}}(p, a_1, a_2, u, s) \quad (14)$$

(Burada uzaklık ölçütü \mathfrak{D} , açıkça gösterilmemiştir.) Bu matrisin üst üçgenel kısmının ortalaması

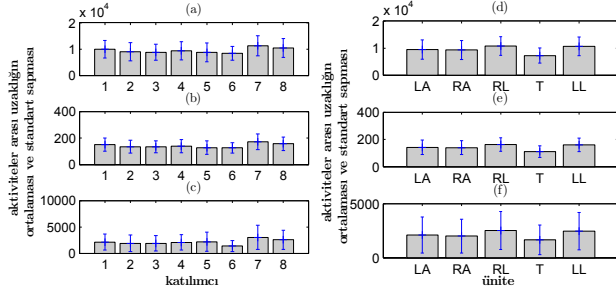
$$\bar{D}_{\text{aktivite çifti}, p, u, s} = \frac{1}{N_a(N_a - 1)} \sum_{a_1} \sum_{a_2 \neq a_1} (\mathbf{D}_{\text{aktivite çifti}, p, u, s})_{a_1, a_2} \quad (15)$$

$$(\check{\mathbf{D}}_{\text{aktivite çifti}, p, u, s})_{a_1, a_2} = (\mathbf{D}_{\text{aktivite çifti}, p, u, s})_{a_1, a_2} - \bar{D}_{\text{aktivite çifti}, p, u, s} \quad (16)$$

olmak üzere standart sapması

$$\check{D}_{\text{aktivite çifti}, p} = \sqrt{\frac{1}{N_a(N_a - 1)} \sum_{a_1} \sum_{a_2 \neq a_1} (\check{\mathbf{D}}_{\text{aktivite çifti}, p, u, s})_{a_1, a_2}^2} \quad (17)$$

her katılımcı, ünite ve duyucu için hesaplanmıştır.



Şekil 3 : Sıfır ortalamalı veride (a)-(c) : aktiviteler arası ve (d)-(f) : üniteler arası (a), (d) : mutlak, (b), (e) : Öklit, (c), (f) : DZB uzaklığının katılımcılara göre ortalaması ve standart sapması.

6.1. Katılımcılara Göre Aktiviteler Arası Uzaklık

Sonuçları katılımcılara göre özetlemek için, her katılımcının farklı ünitelerine ve duyucularına ait aktiviteler arası uzaklık ortalamalarının ve standart sapmalarının o katılımcı için ortalamaları alınır :

$$\bar{D}_{\text{aktivite çifti}, p}^{\text{ort.-katılımcı}} = \frac{1}{N_u N_s} \sum_u \sum_s \bar{D}_{\text{aktivite çifti}, p, u, s} \quad (18)$$

$$\tilde{D}_{\text{aktivite çifti}, p}^{\text{ort.-katılımcı}} = \frac{1}{N_u N_s} \sum_u \sum_s \tilde{D}_{\text{aktivite çifti}, p, u, s} \quad (19)$$

Sonuçlar Şekil 3(a)-(c)'de sunulmuştur. 6. katılımcının en küçük aktiviteler arası uzaklığa sahip olduğu görülmektedir. Şaşırtıcı bir şekilde, Bölüm 4'te bu kişi "en iyi" katılımcı olarak belirlenmiştir.

6.2. Ünitelere Göre Aktiviteler Arası Uzaklık

Sonuçları ünitelere göre özetlemek için, farklı katılımcıların ve farklı duyucuların aktiviteler arası uzaklık ortalamalarının ve standart sapmalarının her ünite için ortalamaları alınmıştır :

$$\bar{D}_{\text{aktivite çifti}, u}^{\text{ort.-katılımcı}} = \frac{1}{N_p N_s} \sum_p \sum_s \bar{D}_{\text{aktivite çifti}, p, u, s} \quad (20)$$

$$\tilde{D}_{\text{aktivite çifti}, u}^{\text{ort.-katılımcı}} = \frac{1}{N_p N_s} \sum_p \sum_s \tilde{D}_{\text{aktivite çifti}, p, u, s} \quad (21)$$

Sonuçlar Şekil 3(d)-(f)'de sunulmuştur. Beklendiği gibi, en çok, sırasıyla sağ ve sol bacakta bulunan 3 ve 5 numaralı ünitelerin işaretlerinin aktiviteden aktiviteye değiştiği gözlenmektedir. En az değişen ise, göğüse yerleştirilmiş olan 4. ünite dir.

6.3. Duyuculara Göre Aktiviteler Arası Uzaklık

Sonuçları duyuculara göre özetlemek için, farklı katılımcıların farklı ünitelerinin aktiviteler arası uzaklık ortalamalarının ve standart sapmalarının her duyucu tipi için ortalamaları alınmıştır :

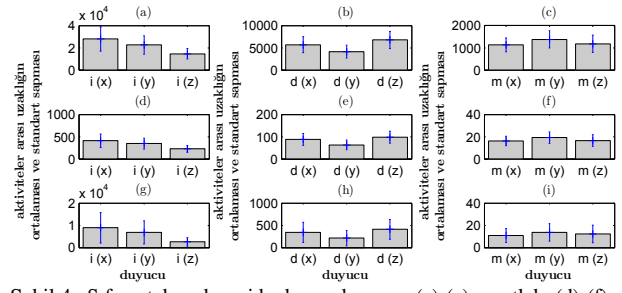
$$\bar{D}_{\text{aktivite çifti}, s}^{\text{ort.-katılımcı}} = \frac{1}{N_p N_u} \sum_p \sum_u \bar{D}_{\text{aktivite çifti}, p, u, s} \quad (22)$$

$$\tilde{D}_{\text{aktivite çifti}, s}^{\text{ort.-katılımcı}} = \frac{1}{N_p N_u} \sum_p \sum_u \tilde{D}_{\text{aktivite çifti}, p, u, s} \quad (23)$$

Sonuçlar Şekil 4'te sunulmuştur. Farklı türdeki duyucuların birimleri, duyarlılıkları ve kaplamaları birbirinden farklı olduğundan, sonuçlarda 100 kata kadar fark ortaya çıkmıştır. Şekil, ayrıca, duyucuların hangi eksenlerinin aktiviteler arasında daha çok değiştiğini, yani aktivite ile ilgili daha çok bilgi verdiğini de göstermektedir. İvmeölçerlerde x ekseninin, dönüölçerlerde z ekseninin, manyetometrelerde ise y ekseninin en büyük aktiviteler arası uzaklığa sahip olduğu görülmektedir.

7. KAPANIŞ

Bu çalışmada, kaynak [1]'de aktivite tanıma için kullanılan ve %99'a varan bir başarımla elde edilen veri kümesi, aktiviteler ve katılımcılar arası



Şekil 4 : Sıfır ortalamalı veride duyucular arası (a)-(c) : mutlak, (d)-(f) : Öklit, (g)-(i) : DZB uzaklığının duyuculara göre ortalaması ve standart sapması. Duyucu endeksleri şekil boyunca soldan sağa 1-9'dur. (i : ivmeölçer, d : dönüölçer, m : manyetometre)

farklılıkların incelenmesinde kullanılmıştır. Veri kümesinde birbirinden farklı katılımcıların işaretleri arasındaki uzaklıklar, aktiviteler göre ve katılımcılara göre ortalamaları alınarak sunulmuş, bundan yola çıkılarak "en iyi" katılımcılar saptanmıştır. Ayrıca, aktiviteler arası uzaklıkların katılımcılara, ünitelere ve duyuculara göre ortalamaları ve standart sapmaları hesaplanmış ve sunulmuştur. Bu hesaplamalar, zaman bölgesindeki ham ve üç farklı şekilde düzelenmiş veri ile ham ve düzelenmiş öznitelik vektörleri kullanılarak yapılmış ve sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır. İşaretlerin karşılaştırılmasında üç farklı uzaklık ölçütü karşılaştırmalı olarak kullanılmıştır. Uzaklık ölçütlerinin ve düzelenmenin sonuçlara etkileri tartışılmıştır.

8. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, COST-MOVE IC0903 aksiyonuna dahil olan TÜBİTAK 109E059 projesi ile Erciyes Üniversitesi FBA-11-3579 projesi tarafından desteklenmiştir.

9. KAYNAKÇA

- [1] K. Altun, B. Barshan, O. Tunçel, "Comparative study on classifying human activities with miniature inertial and magnetic sensors," *Pattern Recogn.*, 43(10):3605-3620, Oct. 2010.
- [2] K. Altun, B. Barshan, "Human activity recognition using inertial/magnetic sensor units," *Int. Workshop Human Behaviour Understanding*, 22 August 2010, Istanbul, Turkey. A. A. Salah et al. (Eds.): HBU 2010, LNCS 6219:38-51. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2010.
- [3] J. K. Aggarwal, M. S. Ryo, "Human activity analysis: A review," *ACM Comput. Surv.*, 43(3):1-43, April 2011.
- [4] Y. Sheikh, M. Sheikh, M. Shah, "Exploring the space of a human action," *Tenth IEEE Int. Conf. Computer Vis.*, vol. 1, pp. 144-149, 17-21 Oct. 2005.
- [5] A. Veeraraghavan, R. Chellappa, A. K. Roy-Chowdhury, "The function space of an activity," *IEEE Computer Society Conf. Computer Vis. Pattern Recogn.*, vol. 1, pp. 959-968, 2006.
- [6] M. L. Moy, K. Matthes, K. Stolzmann, J. Reilly, E. Garshick, "Free-living physical activity in COPD: Assessment with accelerometer and activity checklist," *J. Rehabil. Res. Dev.*, 46(2):277, 2009.
- [7] P. Tormene, T. Giorgino, S. Quaglini, M. Stefanelli, "Matching incomplete time series with dynamic time warping: An algorithm and an application to post-stroke rehabilitation," *Artif. Intell. Med.*, 45(1):11-34, Jan. 2009.
- [8] A. Yurtman, B. Barshan, "Inter- and intra-subject variations in activity recognition using inertial sensors and magnetometers," *Proc. 5th Int. Conf. Cognitive Syst.*, 22-23 Feb. 2012, Vienna, Austria.