



Fizyolojik Sinyaller ile Kullanıcıların Rehabilitasyon Egzersizlerine Katılımının Değerlendirilmesi Evaluation of Involvement of Subjects in Rehabilitation Exercises using Physiological Signals

Fatih ÖZKUL, Yunus PALASKA, Engin MAŞAZADE ve Duygun EROL BARKANA
Elektrik-Elektronik Mühendisliği

Yeditepe Üniversitesi
İstanbul, Türkiye

fatihozkul85@gmail.com, yunuspalaska@gmail.com, engin.masazade@yeditepe.edu.tr, duygunerol@yeditepe.edu.tr

Özetçe—Hastaların egzersize aktif katılımı rehabilitasyon programlarının sürdürülmesinde önemli bir faktördür. Bu çalışmada her bir birey için zorluk seviyesini adaptif olarak değiştiren kısmi sıralı küme yönetici algoritması, ve geleneksel algoritma (bir seferde tek seviye artırma/azaltma) olmak üzere iki yöntem değerlendirilmiştir. 20 sağlıklı kullanıcıdan oluşan küçük bir çalışma grubundan bu iki adaptif yöntem de kullanılarak bir robot destekli rehabilitasyon sistemi ile meyve toplama oyununu oynamaları istenmiştir. Bu iki algoritma ile kullanıcıların performanslarına (skor) göre oyunun zorluğu dinamik olarak değiştirilerek kullanıcıya uygun zorluk düzeyi belirlenmiştir. Bu iki algoritma fizyolojik sinyallere, performansa (skor) ve öznel raporlara (uyarılma/değerlik) bakılarak kullanıcıları motive etmeleri açısından değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler — Robot destekli rehabilitasyon sistemi, insan-robot etkileşiminde motivasyon, fizyolojik sinyaller

Abstract—Active participation of patients in exercise is an important factor in maintaining rehabilitation programs. In this study, an adaptive algorithm called partially ordered set master (POSM), and a traditional algorithm (increment/decrement one level at a time) that change the difficulty levels of rehabilitation tasks adaptively for each individual have been evaluated. A small working group of 20 healthy subjects are asked to play a fruit-assisted rehabilitation system with the use of these two adaptive methods. The difficulty of the game is dynamically changed according to the performances (score) of the subjects with these two algorithms. The physiological signals, performance (score), and subjective reports (arousal/valence) are used to evaluate these two algorithms in terms of engaging the subjects.

Keywords — robot-assisted rehabilitation system, engagement in human-robot interaction, physiological signals

I. GİRİŞ

Rehabilitasyonun faydalarını en üst düzeye çıkarabilmek için hastaların rehabilitasyon sürecine dahil olmaları istenmektedir [1]. Rehabilitasyon süreçlerinin ve terapi çıktılarının iyileştirilmesi için kullanıcıların motivasyonu ve katılımı önemli etkenler olarak kabul edilir [2], [3]. Hasta katılımının önemi robot destekli rehabilitasyon ile ilgili bir çok çalışmada da gösterilmiştir [4]. Ayrıca, uygun zorlukta bir rehabilitasyon görevinin kullanıcıların motivasyonunu ve katılımını arttırdığı da daha önceki çalışmalarda gösterilmiştir

[5]. Terapi seansları esnasında rehabilitasyon görevlerindeki çeşitliliğin performans ve öğrenmeyi geliştirdiği de gözlenmiştir [6]. Rehabilitasyon çıktısını maksimize etmek amacıyla deneği motive, ve katılımı yüksek bir durumda tutabilmek için rehabilitasyon görevinin zorluk seviyesinin ayarlanması önemlidir.

Bu çalışmada üst ekstremité robot destekli rehabilitasyon sistemi kullanılarak meyve toplama oyunu oynanırken zorluk seviyesini ayarlamak için kısmi sıralı küme yönetici (KSKY) ve bir seviye artırma/azaltma (BSAA) algoritmaları kullanılmıştır. Her iki algoritma da katılımının performansına (skor) göre oyunun zorluğunu dinamik olarak değiştirerek en uygun zorluk düzeyini bulmak amaçlanmıştır. KSKY algoritması [7] ile gözlemlerden öğrenerek uygun zorluk ayarını tahmin edilmektedir. KSKY algoritması çevrimdışı eğitime ihtiyaç duymamakta, herhangi bir göreve kolay bir şekilde entegre edilebilmekte, ve uygun ayarları öğrenene kadar yapacağı maksimum hata sayısını garanti edebilmektedir. BSAA algoritmasında ise zorluk düzeyinin skor değişim değerlerine bakılarak zorluk seviyesi bir seviye artırılır, bir seviye azaltılır, veya aynı seviyede tutulur. Bu algoritmaların kullanımı sırasında hastaların katılım seviyesini değerlendirmek de önemli bir konudur.

Öznel olabilen, farklı terapistler için değişebilen, hastaların terapi devamsızlıklarını, işlevsellik düzeyini ve duygusal işlevselliğini kullanan bir katılım değerlendirme skalası daha önceki bir çalışmada sunulmuştur [8]. Ayrıca ,elektromiyografi (EMG) sinyalleride kullanıcıların motor katılımını ölçmek için daha önce kullanılmıştır [9]. Bilişsel katılımı ölçmek amacıyla kullanıcıların konsantrasyon düzeylerini anlamak için elektroensefalografi (EEG) sinyallerinden alfa, beta ve gama dalgalarına bakılmıştır [9]. Duygusal katılım terapi esnasındaki duygusal ilgi (pozitif/negatif (depresyon, korku, vb.)) olarak tanımlanmıştır [9]. Kullanıcıların kendi hislerini değiştirme durumuna karşın genellikle fizyolojik sinyaller pozitif/negatif duygularını belirlemek içinde kullanılmıştır [10]. Kalp atış hızı, kan hacmi atımı, elektrodermal aktivite (deri iletkenliği (SC)) ve EEG kullanıcıların duygu durumlarını anlamak için yaygın şekilde kullanılan fizyolojik ölçümlerdir. Fizyolojik ölçümler önceki çalışmalarda kullanıcıların psikolojik durumlarını (heyecanlı, sıkılmış, vb.) belirlemek ve rehabilitasyon terapisi



esasnda kullanıcıların motivasyon, ve katılımını maksimize etmek amacıyla robot davranışını adapte etmek için de kullanılmıştır [11]. Bu çalışmada, kullanıcılar zorluk seviyesinin KSKY ve BSAA algoritmaları ile değiştirildiği rehabilitasyon görevini gerçekleştirirken, katılım düzeyini değerlendirebilmek için deri iletkenliği (Dİ), deri sıcaklığı (DS) ve kan hacmi atımı (KHA) gibi fizyolojik sinyalleri kullanılmıştır.

Bu çalışmada, fizyolojik ölçümlere, performans (skor) ve öznel raporlara (anket) bakılarak her bir kullanıcının katılımını arttırmak için uygun zorluk düzeyini bulan algoritmaya karar verilmiştir. Mevcut çalışma fizyolojik sinyallere, ve performansa (skor) ek olarak uyarılma/değerlik öz rapor ölçülerini de içermektedir. Likert tipi derecelendirmeler formunda öz rapor ölçüleri bireyin verilen görevi gerçekleştirirken öznel algısı hakkında da bilgi vermektedir.

II. METODLAR

A. Robot Destekli Rehabilitasyon Sistemi

Bu çalışmada, eksoskeleton tabanlı bir robot destekli rehabilitasyon sistemi kullanılmıştır (Şekil 1). Robotik eksoskeleton cihaz üst ekstremitelere (omuz fleksiyon/ekstansiyon, omuz rotasyon, ön kol pronasyon/supinasyon ve dirsek fleksiyon/ekstansiyon) aktif hareket yardımı sağlayarak geri sürülebilir. Robotik sistem farklı boylarda ve kol uzunluklarına sahip kullanıcılar için ayarlanabilir bir mekanik altyapıya sahiptir (Şekil 1).

B. Fizyolojik Ölçümler ve Öznitelikler

Bu çalışmada, hafif ve giyilebilir Dİ, KHA ve DC biyogeribildirim algılayıcıları (Thought Technology Ltd) kullanılmıştır. BVP Flex-Pro sensörü KHA' yı kaydetmek için sol el orta parmağa yerleştirilmiştir (Şekil 1). Dİ'nin elektrotları işaret parmağı ve yüzük parmağının orta falanksına yerleştirilmiştir (Şekil 1). DS, başparmak parmak ucuna yerleştirilen cilt tipi bir algılayıcı kullanılarak kaydedilmiştir. Fizyolojik sinyaller Procomp Infnite Encoder ve Matlab yazılımı kullanılarak 100 Hz frekansında örneklenmiştir. Ham fizyolojik sinyallerden öznitelikler çıkarılmıştır. Kalp atış hızı (HR) KHA algılayıcısından elde edilir. Atım arası aralıkların (IBI) ortalama ve standart sapması atım aralıklarından elde edilir, ve sırasıyla $Mean_{IBI}$ ve Std_{IBI} olarak isimlendirilmiştir. Ek olarak KHA verisinin ortalama ve varyansı sırasıyla $Mean_{bvp}$ ve Var_{bvp} olarak elde edilmiştir. Ayrıca ham KHA algılayıcı verisinin türevinin ortalaması $Deriv_{bvp}$ olarak bulunmuştur. Kalp atış hızı değişkenliğini (HRV) bulmak için takip eden atım tepe aralıkları arasındaki atım arası aralıkları sayılmıştır. 0-0,05 Hz - çok düşük frekans (VLF), 0,05-0,15 Hz - düşük frekans (LF) ve 0,15-0,4 Hz - yüksek frekans (HF) komponentlerini hesaplamak için HRV sinyalinin Fourier transformu alınarak HRV spektrumu elde edilmiştir. LF/HF ve (VLF+LF)/HF değerleri de elde edilmiştir. Çok düşük frekansın yüzde oranı (per_{VLF}) BVP toplam gücünü (BVP_{tp}), çok düşük frekansın toplam gücüne bölündüğünde elde edilmiştir. Düşük frekansın ve yüksek frekansın yüzde oranları (per_{LF} , per_{HF}) da benzer şekilde elde edilmiştir. Toplam gücün düşük frekansının düşük-yüksek frekans toplam güce oranı

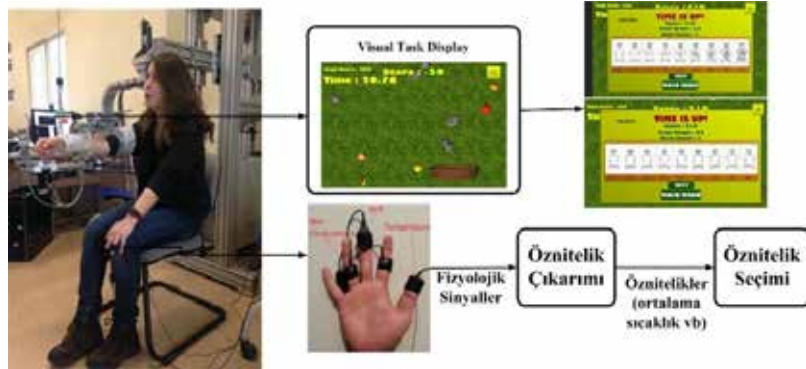
düşük frekans normunu (LF_{norm}), toplam gücün yüksek frekansının düşük-yüksek frekans toplam güce oranı yüksek frekans normunu (HF_{norm}) vermektedir. SCR bir eşik altında bir tepeden diğerine olan toplam artış sayısıdır. Dİ değerinin ortalaması ($Mean_{SC}$) ve varyansı (Var_{SC}) verilen 180 saniyelik bir periyotta Dİ algılayıcısı ile kaydedilmiştir. Deri iletkenliğinin ilk türevinin ortalaması ($Deriv_{SC}$) olarak bulunmuştur. Son olarak ortalama sıcaklık ($Mean_{temp}$), sıcaklık değerinin varyansı (Var_{temp}), ve sıcaklığın ilk türevinin ortalaması ($Deriv_{temp}$) sıcaklık algılayıcısında elde edilmiştir.

C. Uygulama- Meyve Toplama Görevi

Çeşitli zorluk seviyelerinde dirsek fleksiyon/ekstansiyon görevi sağlayan meyve toplama oyunu seçilmiştir. Meyve toplama oyunu sepet, meyveler ve kayalardan oluşur (Şekil 1). Meyve toplama görevi serebral palsi, inme ve ya travmatik beyin hasarı olan hastalarda gerekli olan dirsek fleksiyon/ekstansiyon egzersizlerini taklit etmektedir. Oyun süresince kullanıcıları motive etmek için anlık skorları kullanıcıya gösterilmiştir. Oyun Unity [12] oyun motoru kullanılarak geliştirilmiştir. Kullanıcılardan verilen bir zaman içerisinde kayalardan sakınarak meyveleri toplaması beklenmektedir (Şekil 1). Kullanıcıların amacı sepeti sağa ve sola kaydırarak puan kazanmak için meyveleri toplamak, ve puan kaybetmemek için kayalardan uzak durmaktır. Kullanıcılar sepeti hareket ettirmek için robot-destekli rehabilitasyon sistemi ile dirsek fleksiyon ve ekstansiyon hareketlerini gerçekleştirir. Kullanıcılar dirsek fleksiyon hareketini gerçekleştirdiğinde sepet sola, ekstansiyon hareketini gerçekleştirdiğinde ise sepet sağa doğru hareket eder. Sepet başlangıçta ekranın sağ tarafındadır bu yüzden kullanıcılar 90° dirsek ekstansiyon pozisyonunda göreve başlamaktadır.

D. Zorluk Seviye Adaptasyonu için Algoritmalar

Kısmi sıralı küme yönetici (KSKY) algoritması kullanılarak görev süresince yapılan gözlemler (kullanıcı performansı) öğrenilerek uygun zorluk seviyesi tahmin edilmektedir. KSKY "daha zor" şeklinde bir ilişkiyi modeller. Kullanıcılar oyunu oynarken birbirini takip eden üç aşamayı tamamlar: ilk aşamada yönetici bir zorluk seviyesi tahmin eder, ikinci aşamada kullanıcı bir periyot boyunca belirlenen zorluk seviyesinde görevi gerçekleştirir, ve son aşamada yönetici belirlenen zorluk ayarının kullanıcıya ne kadar uyduğunu anlamak için verilen bilgilerden birini içeren bir geri bildirim alır. Bu adımlar görev sonuna kadar tekrar etmektedir. Yöneticinin amacı devamlı olarak kullanıcıya uygun zorluk ayarını sağlamaktır. Sonlu sayıdaki kısmi sıralı olası ayarlar kümesinden (K, \geq) uygun zorluk ayarı KSKY tarafından tahmin edilmektedir. Sıralama $\forall i, j \in K$ için eğer $i > j$ ise i, j' den daha zor olacak şekildedir. Algoritmanın gözlemediği olası cevaplar şunlardır: i) zorluk düzeyi "sıkılma" durumunda ise +1, ii) zorluk düzeyi "motive" durumunda ise 0, ve iii) zorluk düzeyi "aşırı zorlanma" durumunda ise -1. KSKY algoritması her bir zorluk ayarının doğruluk katsayısını (w_i) düzenler, ve "sıkılma" ya da "aşırı zorlanma" cevaplarını gözlemediğinde bu katsayıyı güncellemektedir. Algoritmanın adımları şunlardır:



Şekil 1. Önerilen Sistemin Genel Kontrol Mimarisi

Ön tanımlar: $\beta \in (0, 1)$, K zorluk ayarı kümesi, K üzerinde kısmi sıralanma \geq , gözlemler dizisi o_1, o_2, \dots

$$\begin{aligned} \forall k \in K: w_1(k) &= 1 \text{ olsun} \\ \text{Döngü } t &= 1, 2, \dots \\ \forall k \in K: A_t(k) &= \sum_{x \in K, x \geq k} w_t(x) \\ \forall k \in K: B_t(k) &= \sum_{x \in K, x \leq k} w_t(x) \\ \text{Tahmin } k_t &= \operatorname{argmax}_{k \in K} \min\{B_t(k), A_t(k)\} \\ \text{Gözlem } o_t &\in \{-1, 0, 1\} \\ \text{Eğer } o_t &= +1 \text{ ise} \\ \forall k \in K: w_{t+1}(k) &= \begin{cases} \beta w_t(k), & k \leq k_t \\ w_t(k), & \text{aksi halde} \end{cases} \\ \text{Koşul sonu} \\ \text{Eğer } o_t &= -1 \text{ ise} \\ \forall k \in K: w_{t+1}(k) &= \begin{cases} \beta w_t(k), & k \geq k_t \\ w_t(k), & \text{aksi halde} \end{cases} \\ \text{Koşul sonu} \\ \text{Döngü sonu} \end{aligned}$$

A_t mevcut zamandaki geçerli ayardan daha zor olarak bilinen ayarların doğruluk katsayılarının toplamını, ve B_t ise daha kolay olarak bilinenlerin toplamıdır. Eğer gözlem çıktısı “sıkılma” ise, zorluk düzeyinin yükseltilmesi gerekir, mevcut ayar ve ondan daha kolay olan ayarların doğruluk katsayısı güncellenir. Eğer gözlem çıktısı “aşırı zorlanma” ise zorluk düzeyi düşürülmelidir, mevcut ayar ve ondan daha zor olan ayarların doğruluk katsayısı güncellenir. Tahmin edilecek zorluk seviyesi (k) en kötü durum güncellemesindeki ($\min\{B_t(k), A_t(k)\}$) en iyiyi verecek şekilde seçilmektedir.

Bir Seviye Arttır-Azalt (BSAA) algoritması skor değişimlerine bakarak zorluk düzeyini artırır, azaltır ya da aynı seviyede tutar. BSAA algoritması önceki 10 saniyelik periyotlardaki skor farklarına bakarak aksiyona karar verir. Skorlar arasında fark 30 puan ve altında ise “Düşük”, 40 ve 60 puanları arasında olması “Orta”, 60 puan ve üzerinde olması ise “Yüksek” anlamına gelmektedir. Bu skor aralıkları oyunun durumuna göre değiştirilebilmektedir.

III. DENEYLER

Bu çalışmaya sağlıklı 20 denek (10 kadın, 10 erkek) katılmıştır. Katılımcıların yaşları 20-37 aralığındadır. Tüm bu deneylerin gerçekleştirilebilmesi için etik kurul onayı almıştır. İmzalı onay formu alındıktan sonra deneklerin deneylere katılımına izin verilmiştir. Her bir denekten bir alıştırmaya ve birbirinden farklı beş deney egzersizi yapmaları istenmiştir. İlk önce KHA, Dİ ve DS algılayıcılardan bazal verileri almak için deneklerden rahatlamaları, ve 3 dakika gözlerini kapatmaları istenmiştir. Ardından deneklerden ekranda görüntülenen öz değerlendirme (SAM) anketini

tamamlamaları istenmiştir. SAM anketi tamamlandıktan sonra deneklere 2 dakikalık bir ara verilmiş, ve alıştırmaya egzersiz başlatılmıştır. Alıştırma egzersizi başlangıçta deneklerin sisteme ve göreve alışmaları için sunulmuştur. Alıştırma egzersizini tamamladıktan sonra deneklerden SAM anketini tamamlamaları istenmiştir, ve 2 dakikalık bir ara verilmiştir. Ardından deneklerden 3 dakika süren aynı görevi 5 kez tekrarlamaları istenmiştir. Bir deneme bittikten sonra 2 dakikalık ara, ve SAM anketinin doldurulmasından sonra diğeri otomatik olarak başlamaktadır. 10 denegin (5 kadın ve 5 erkek) ilk hafta KSKY algoritmasını, ve ikinci hafta ise BSAA algoritmasını kullanarak deneyleri tamamladığı çapraz bir çalışma tasarlanmıştır. Diğer 10 denek (5 kadın ve 5 erkek) ilk hafta BSAA algoritması ile ikinci hafta ise KSKY algoritması ile deneyleri tamamlamıştır.

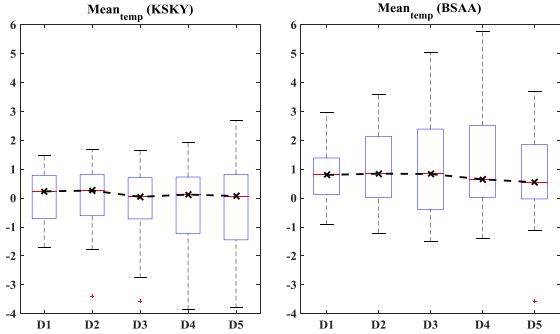
IV. SONUÇLAR

A. Niceliksel Analiz

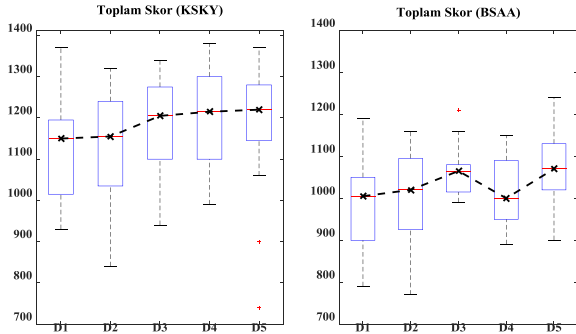
Bu çalışmada KSKY ve BSAA algoritmaları arasındaki ayırt edici öznelikleri çıkarmak için ardışık ileri yönde seçim kullanılmıştır. Ayırt edici öznelikler $Mean_{temp}$, $Deriv_{SC}$, $Deriv_{temp}$ ve per_{VLF} olarak bulunmuştur. Katılımcılar içinde ($N=20$), KSKY (Ortalama = -0.13, Standart Sapma = 0.33) ve BSAA (Ortalama = 0.88, Standart Sapma = 0.72) ($t(20)=-2.16$, $CI (-2.14; -0.30)$; ($p < 0.05$)) algoritmaları arasındaki en belirgin istatistiksel fark (Cohen’ in etki büyüklüğü, $d = .50$) yalnızca $Mean_{temp}$ özneliğinde bulunmuştur. $Mean_{temp}$ hem KSKY hem de BSAA’ da deneme 1’ den 5’e doğru düştüğü gözlenmiştir. Bunun sebebi deneklerin başlangıçta oyun için yeterli deneyimleri olmaması ya da verilen görevi aşırı zorlayıcı bulmaları ve daha sonra deneklerin oyuna alışmış, ve oyunu motive edici bir zorlukta bulmalarıdır. BSAA’daki zorluk seviyesi seçimlerinin zorlanma durumuna yol açmasından dolayı $Mean_{temp}$ değerinin BSAA’da KSKY’ a göre daha yüksek olduğu da görülmüştür (Şekil 2).

Aşırı zorlanma durumunda deneklerin katılımını ve motivasyonlarını değerlendirmek için oyunda elde ettikleri skor sonuçları da hesaplanmıştır. KSKY ile elde edilen toplam skorun (ortalama = 1160.84, standart sapma = 15.32) BSAA ile elde edilen ile benzer olduğu gözlemlenmiştir (ortalama = 1021.26, standart sapma = 230.34). Bu nedenle KSKY ve BSAA için toplam skorlar daha detaylı araştırılmış, ve her bir deneme için toplam skorlara da bakılmıştır (Şekil 3). Deneklerin olasılıkla motive olduğu görevi tamamlamak için

katılımlarının arttığı KSKY’de skorların arttığı gözlemlenmiştir. Ek olarak BSAA’ da toplam skorun KSKY’dekine göre daha düşük olduğu görülmüştür. Bu da BSAA’da daha fazla zorlandığı (KSKY’ye göre BSAA’ daki $Mean_{temp}$ değerlerinin daha yüksek olması bunu doğruluyor), ve görevi tamamlamak için deneklerin motivasyonlarını kaybettikleri anlamına gelmektedir.



Şekil 2. KSKY ve BSAA’ da her bir deneme için $Mean_{temp}$ değerlerinin ortalamaları ile değer grafikleri. Kutular denek gelen verilerin %50’ sinin olduğu aralığı temsil eder. I şekli ortalama ve standart sapma dahilindeki karşılık gelen tüm veriyi temsil eder. + aykırı değerleri göstermektedir



Şekil 3. KSKY ve BSAA’ da her bir deneme için toplam skorların ortalamaları ile kutu grafikleri

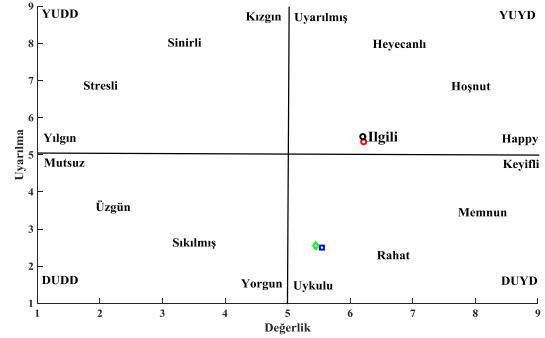
B. Öznel Değerlendirme

Katılım, denekler tarafından SAM anketinin uyarılma, değerlik ve baskınlık dereceleri aracılığıyla öznel olarak da ölçülmüştür. Normalize edilmiş uyarılma-değerlik derecelerini Şekil 4’de görülmektedir. Bu çalışmada verilen görevin KSKY ve BSAA kullanılarak uygulanması deneklerin bazal değeri ile karşılaştırıldığında uyarılma ve değerlikte bir artış ile ilişkilendirilebilir. Tüm öznel derecelendirmelerde KSKY ile BSAA arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır. KSKY, deneklerin motive olduğu Yüksek Uyarılma Yüksek Değerlik (YUUD) içindedir. Bu, Bölüm IV-A’ da her bir çalışma için toplam skor ve $Mean_{temp}$ değerleri ile de doğrulanmıştır.

V. TARTIŞMA VE SONUÇ

Rehabilitasyon tedavisi sırasında deneklerin motivasyon ve katılımını arttırmak için dinamik zorluk ayarı birçok çalışmanın odağı haline gelmiştir. Bu çalışmanın amacı, kısmi sıralı küme yöneticisi (KSKY) olarak adlandırılan adaptif bir algoritmayı kullanan robot destekli rehabilitasyon sisteminin hem fizyolojik sinyaller ve performans (skor) gibi nesnel ölçümleri hem de anket raporları gibi öznel ölçümleri

kullanarak katılımı iyileştirmede nasıl yararlı olabileceğini araştırmaktır. Bu çalışmada hedef kullanıcının gücünü iyileştirmek değil, kullanıcının terapiye katılımını artırma durumunu araştırmaktır. Ek olarak, bu çalışmanın uzun dönemli hedefi robot destekli rehabilitasyon sırasında otomatik olarak rehabilitasyona katılımı arttırmak için sadece performansı değil fizyolojik sinyalleri de kullanarak görev zorluk seviyesinin kapalı döngü kontrolünün geliştirilmesidir.



Şekil 4. Her seans için değerlik ve uyarılma raporları Russel’ in çembersel modeli üzerinde gösterilmiştir. Normalize Edilmiş Uyarılma Değerlik Dereceleri (Kırmızı çember: KSKY, Siyah çember: BSAA, Mavi kare: Bazal KSKY, Yeşil dörtgen: Bazal BSAA)

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından 114E614 no’lu proje kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] A. H. Lequerica and K. Kortte, “Therapeutic engagement: a proposed model of engagement in medical rehabilitation,” American journal of physical medicine & rehabilitation, 89(5): 415–422, 2010.
- [2] A. Henderson, N. Korner-Bitensky, and M. Levin, “Virtual reality in stroke rehabilitation: a systematic review of its effectiveness for upper limb motor recovery,” Topics in stroke rehabl., 14(2): 52–61, 2007.
- [3] G. Kwakkel, B. J. Kollen, and H. I. Krebs, “Effects of robot-assisted therapy on upper limb recovery after stroke: a systematic review,” Neurorehabilitation and neural repair, 22(2):111-121, 2007.
- [4] X. L. Hu, K.-y. Tong, R. Song, X. J. Zheng, and W. W. Leung, “A comparison between electromyography-driven robot and passive motion device on wrist rehabilitation for chronic stroke,” Neurorehabilitation and Neural Repair, 23(8):837–846, 2009.
- [5] R. Rienen and M. Muni, “Guest editorial special section on rehabilitation via bio-cooperative control,” IEEE Trans. on Neural Systems and Rehabilitation Engin., 4(18):337–338, 2010.
- [6] L. Marchal-Crespo and D. J. Reinkensmeyer, “Review of control strategies for robotic movement training after neurologic injury,” Journal of neuroengineering and rehabilitation, 6(1):20, 2009.
- [7] L. Ilici, J. Wang, O. Missura, and T. G’artner, “Dynamic difficulty for checkers and chinese chess,” IEEE Conference on Computational Intelligence and Games, pp. 55–62, 2012.
- [8] C. Li, Z. Rusak, I. Horvath, and L. Ji, “Development of engagement evaluation method and learning mechanism in an engagement enhancing rehabilitation system,” Engin. Appl. of Artif. Intel., 51:182–190, 2016.
- [9] D. Novak, B. Beyeler, X. Omlin, and R. Riener, “Passive brain-computer interfaces for robot-assisted rehabilitation,” in Brain-Computer Interface Research, Springer, 2014, pp. 73–95.
- [10] C. Li, Z. Rusak, I. Horvath, A. Kooijman, and L. Ji, “Implementation and validation of engagement monitoring in an engagement enhancing rehabilitation system,” IEEE Trans. on Neural Systems and Rehabilitation Engin., 25(6):726-738, 2016.
- [11] L. Tiberio, A. Cesta, and M. Olivetti Belardinelli, “Psychophysiological methods to evaluate users response in human robot interaction: a review and feasibility study,” Robotics, 2(2):92–121, 2013.
- [12] Unity, “Game engine, tools and multiplatform,” <https://unity3d.com/unity>, 2017.