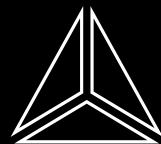


BEYİN BİLGİSAYAR ARAYÜZÜ ARAŞTIRMALARINDA YENİ BİR TEKNOLOJİ: İŞLEVSEL YAKIN KIZILALTI SPEKTROSKOPİ




thinktech
STM Teknolojik Düşünce Merkezi

PERSPEKTİF



İşbu eserde yer alan veriler/bilgiler, yalnızca bilgi amaçlı olup, bu eserde bulunan veriler/bilgiler tavsiye, reklam ya da iş geliştirme amacına yönelik değildir. STM Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Ticaret A.Ş. işbu eserde sunulan verilerin/ bilgilerin içeriği, güncelliği ya da doğruluğu konusunda herhangi bir taahhüde girmemekte, kullanıcı veya üçüncü kişilerin bu eserde yer alan verilere/bilgilere dayanarak gerçekleştirecekleri eylemlerden ötürü sorumluluk kabul etmemektedir. Bu eserde yer alan bilgilerin her türlü hakkı STM Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Ticaret A.Ş.'ye aittir. Yazılı izin olmaksızın işbu eserde yer alan bilgi, yazı, ifadenin bir kısmı veya tamamı, herhangi bir ortamda hiçbir şekilde yayımlanamaz, çoğaltılamaz, işlenemez.



 Dr. Sinem Burcu ERDOĞAN

Acıbadem Mehmet Ali Aydınlar Üniversitesi

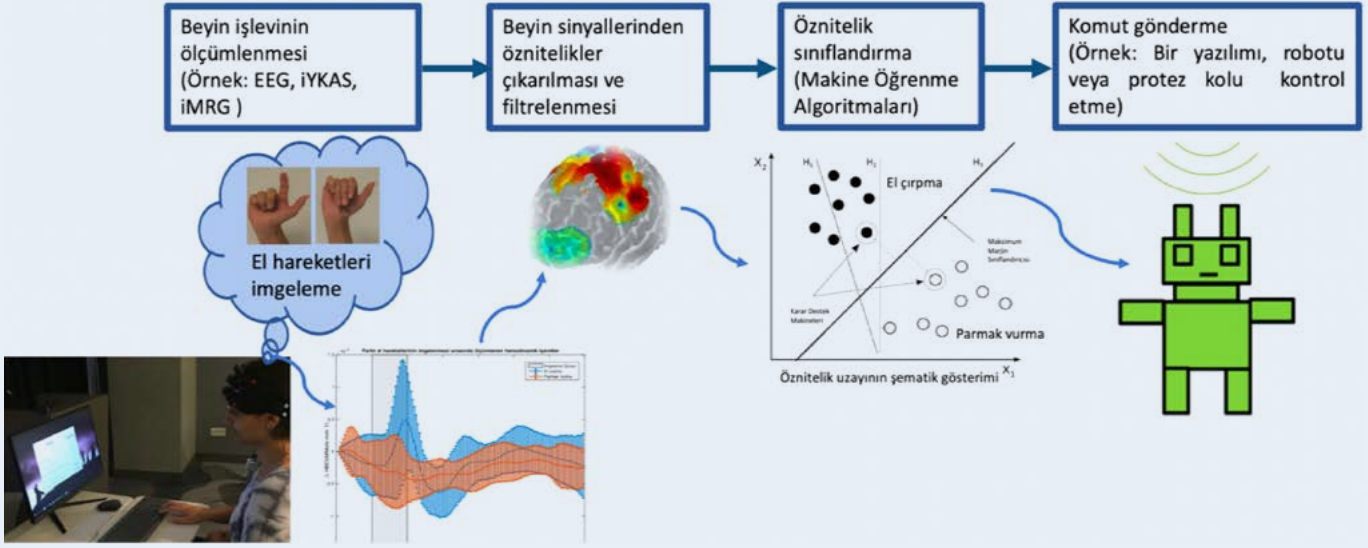
Beyin bilgisayar arayüzleri (BBA), zihinsel süreçlerin karşılığı olan beyin aktivitesine dair biyolojik sinyalleri doğrudan beyinden toplayabilen ve bu sinyalleri çözümlenip bir bilgisayara, sinirsel proteze veya hasta destek cihazına komut olarak gönderebilen sistemlerdir. BBA geliştirmenin ardında yatan temel motivasyon, amyotrofik lateral skleroz (ALS), felç veya tetrapleji hastaları gibi bilişsel işlevlerini koruyan, fakat motor sinir hücrelerinde oluşan hasar sebebiyle fiziksel uyarılara kas hareketiyle cevap veremeyen insanların zihinsel süreçlerini çözümlenip bir komuta çevirmek ya da bu çözümlenmeyi rehabilitasyon süreçlerinde geribildirim olarak kullanarak hastaların sinirsel işlevlerini geri kazanmasına katkı sağlamaktır.

Yeni ölçüm ve analiz yöntemlerinin keşfedilmesi, motor işlev bozukluğu olan hastaların yaşam kalitesinin artırılmasında ve dış dünyayla iletişim kurmalarında kritik öneme sahiptir. BBA sistemleri, motor işlev kaybı olan hastaların ayna sinir hücrelerini etkinleştirmelerini sağlayacak sinirsel geribildirim protokolleriyle birleştirilerek, bu sinirlerin yeniden eski işlevlerini kazanmasına da katkı sağlama potansiyeline sahiptir. Yakın gelecekte bu sistemler vasıtasıyla elde edilen nörofizyolojik ölçümlerin hassaslaşmasıyla sağlıklı kişilerin düşünce tahmininin yapılması ve harici cihazların, beyin sinyallerinin

çözümlemesiyle eller kullanılmadan, kontrolü mümkün olacaktır.

BBA sistemlerinde harici bir cihaza gönderilecek bilgi, kimi zaman el, kol, ayak, bacak gibi bir uzuv hareketinin imgenmesi, kimi zaman da bir soruya evet/hayır şeklinde düşünerek verilen bir zihinsel cevabın veya bir aritmetik işlemin yürütülmesi gibi zihinsel bir faaliyet sırasında oluşan beyin sinyallerinin nörofizyolojik ölçümlerle toplanması ve bu bilginin yapay zekâ algoritmaları kullanılarak doğru çözümlenmesiyle elde edilir. Geçtiğimiz 10 yılda, zihinsel faaliyetlerin ve süreçlerin BBA'larla çözümlenmesinde, beyin sinyallerini toplama amaçlı yeni fizyolojik ölçüm yöntemlerinin geliştirilmesi kadar, bu ölçümlerin hassas biçimde hangi komuta ait olacağının sınıflandırılması amacıyla farklı mimarilere sahip yapay zekâ algoritmalarının geliştirilmesi ve bu algoritmaların büyük veri kümeleriyle eğitilerek hassaslaştırılması önem kazanmıştır.

İdeal bir BBA sisteminde beyin etkinliğine dair fizyolojik bilginin, kişiye minimal rahatsızlık verecek şekilde elde edilmesi ve veri toplanırken gerçek zamanlı bir şekilde anlamlandırılması istenir. Dolayısıyla ideal bir BBA sisteminde aranılan özellikler hafif, taşınabilir ve giyilebilir olma, doğal ortamlarda kişinin beyin işlevine dair bilginin istenilen sıklıkta ve süre boyunca toplanmasına



Şekil 1: İşlevsel yakın kızılaltı spektroskopisi (İYKAS) temelli bir beyin-bilgisayar arayüzünün genel iş akışı.

olanak sağlama, düşük işletim maliyeti ve minimal sürede veri toplayarak zihinsel faaliyetlerin çözümlemesini yapabilecek yazılıma sahip olmasıdır.

Son 20 yılda yapılan çeşitli sinirbilim araştırmalarında, kafalarına mikroelektrotlar yerleştirilen insan denekler, robot ve protez kollarını kontrol edebilecekleri şekilde başarıyla eğitilebilmişlerdir. Bu bulgular, girişimsel BBA'ların umut vadeci yönünü ortaya koyarken, beyne mikroelektrotlar yerleştirmedeki doğal tıbbi riskler göz ardı edilememiştir. Bu sebeple aynı başarıyı, girişimsel olmayan beyin işlevi görüntüleme yöntemleriyle elde etmek önemli bir hedef olmuştur. Geçtiğimiz 10 yılda elektroensefalogram (EEG), işlevsel yakın kızılaltı spektroskopisi (İYKAS), işlevsel manyetik rezonans görüntüleme (iMRG) ve magnetoensefalogram (MEG) yöntemleri, kişilerin zihinsel durumlarına dair nörofizyolojik bilgiyi çözümlenmek amacıyla yoğun bir biçimde araştırılmıştır. Bu yöntemler arasında EEG ve İYKAS, taşınabilir ve giyilebilir olmaları, kısa kurulum süresi ve görece düşük ekipman maliyeti gibi olumlu özellikleri sebebiyle girişimsel olmayan BBA geliştirmede en uygun aday yöntemler olarak öne çıkmıştır.

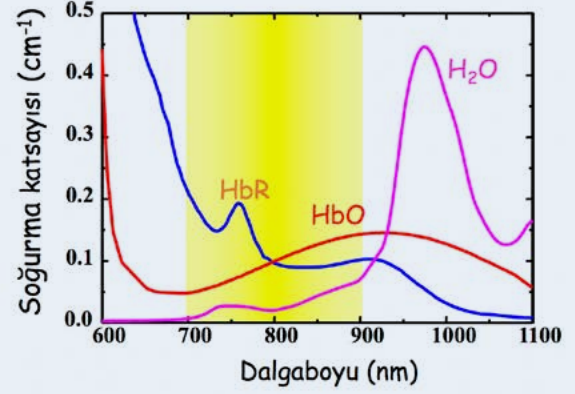
EEG, kafa derisi üzerine yapıştırılan elektrotlarla ölçüm bölgesine yakın sinir hücresi gruplarının sinaps sonrası elektriksel aktivitelerinin sebep olduğu voltaj salınımlarını ölçümleyen ve uzun süredir klinikte kullanım alanları araştırılan bir yöntemdir. Beyin elektriksel

aktivitesine dair bilgi veren EEG yönteminin, göz kırpması ve hareket kaynaklı sinyal bozulmalarına çok hassas olması, doğal gündelik ortamlarda uzun süreli sinyal gü-rültü oranı yüksek ölçüm alma ihtimalini düşürmektedir.

İşlevsel yakın kızılaltı spektroskopisi (İYKAS); kortikal beyin dokusuna kafa derisi üzerinden çok düşük şiddette (~30 mW) ve yakın kızılaltı dalga boyu aralığında oksijenli ve oksijensiz hemoglobin moleküllerine seçici hassas iki farklı dalga boyunda gönderilen ve ışığın beyin dokusundaki emilimindeki değişiklikleri ölçümleyerek bölgesel oksijenlenme dinamikleri hakkında bilgi veren oldukça yeni ve girişimsel olmayan bir beyin görüntüleme yöntemidir. İYKAS sistemleri, LED ya da lazer tabanlı ışık kaynakları ve ışık algılayıcılarının bulunduğu kafa derisi üzerine yerleştirilen bir prob ve veri toplama ünitesine sahiptir. Çoğunlukla sinirbilim araştırmalarında kullanılan bu sistemler kablolu, tüm kafa yüzeyini kapsayan ya da kablosuz ve sadece belirli bir beyin bölgesine odaklanan minyatür ergonomik tasarımlarla kullanıcıya sunulabilmektedir. İYKAS yöntemi, kullanıcıya rahatsızlık vermeden beynin fiziksel veya bilişsel uyarılara verdiği hemodinamik cevapları ölçer ve gerçek zamanlı olarak beynin işlevsel etkinlik haritalarının çıkarılmasına olanak verir. Bu yöntemin en önemli olumlu özelliği, girişimsel olmaması ve kişiye zarar vermeden istenilen sıklıkta ve süre boyunca beyin işlevine dair ölçümlerin doğal ortamlarda alınmasına olanak vermesidir.



Yakın kızılaltı dalgaboyu aralığında ışık, su moleküllerinin düşük soğurma katsayısı sebebiyle biyolojik dokular tarafından tamamen emilmez. Doku gönderilen fotonların bir kısmını geçirir.



Su, HbO₂ ve HbR'nin görünür, yakın kızılaltı ve kızılaltı dalgaboylarında ışık soğurma katsayılarının karşılaştırılması. İYKAS yönteminde, dokuya HbO₂ ve HbR'ye duyarlı iki farklı dalgaboyunda ışık gönderilir. Gönderilen ve toplanan ışığın yoğunluk farkı sürekli ölçümlenir ve bu ölçümler HBO ve HBR'nin bölgesel yoğunluğunun zamana bağlı değişimi hakkında bilgi verir.



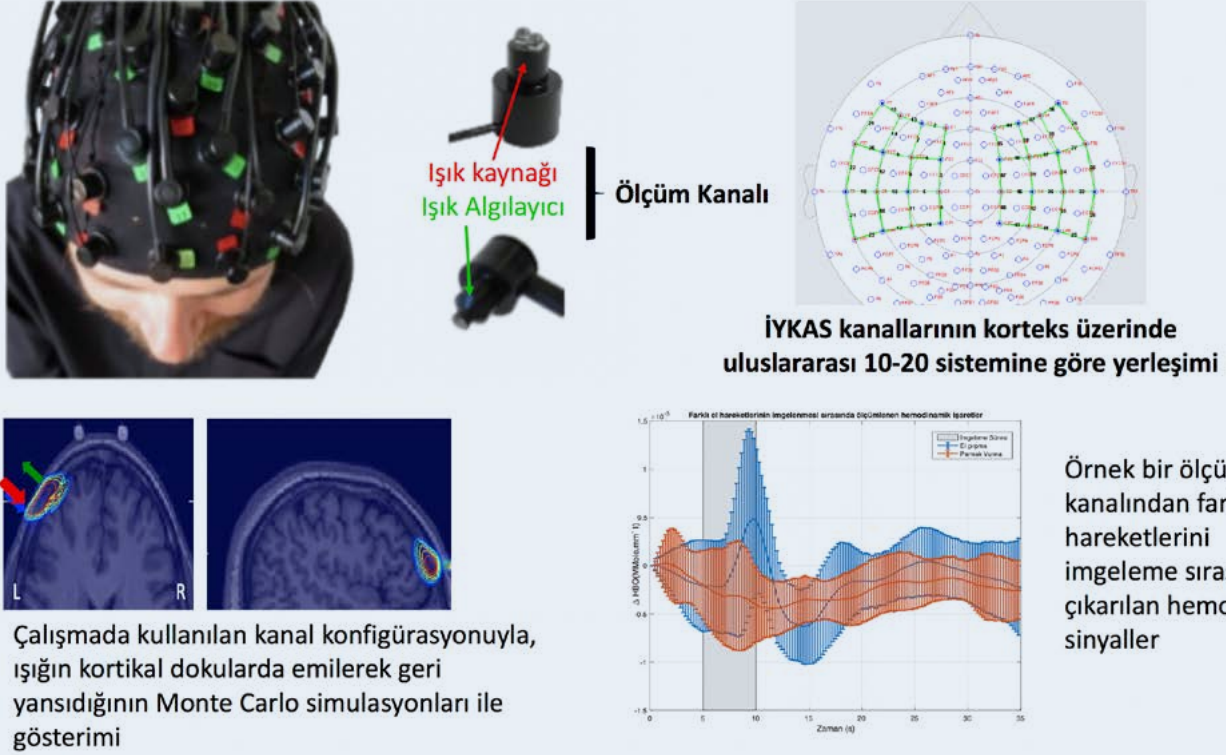
Şekil 2: İYKAS ile biyolojik doku görüntülemenin temel prensipleri.

İYKAS ile kortikal beyin dokusundaki hemodinamik değişkenlikleri görüntüleme, kafa derisi üzerine yerleştirilen probun içinde bulunan ışık kaynağından gönderilen ışığın geçtiği doku katmanlarında emilimindeki zamansal değişimin ölçülmesi prensibine dayalıdır (Şekil 3). Biyolojik dokularda yakın kızılaltı dalga boyu aralığındaki (650nm-950nm) ışığı soğuran esas kromoforlar HbO ve HbR'dir. Her bir kromofor için farklı bir dalga boyunda ışık yapan kaynaktan gönderilen ışık, geçtiği dokularda, o dalga boyundaki ışığı soğurmaya duyarlı kromoforun yoğunluğuyla orantılı miktarda emilir ve ışık algılayıcıya geri yansıyan fotonlar deri üzerine yerleşmiş probun içindeki

algılayıcı tarafından toplanır. Gönderilen ve toplanan ışığın yoğunluk bilgisi, modifiye edilmiş Lambert-Beer kanununa girdi olarak verilerek HbO ve HbR'nin zamana bağlı bölgesel yoğunluk değişimi hesaplanır. Bu iki kromoforun konsantrasyon değişimi bilgisine toplam hemoglobin, oksijen satürasyonu, oksijen tüketim hızı ve bölgesel kan akış hızı gibi değişimleri hesaplamak mümkün olur. Hesaplanan tüm bu hemodinamik değişkenlerle biyolojik dokunun fizyolojik durumu ve bölgesel oksijen tüketimi hakkında gerçek zamanlı bilgi toplanması mümkündür.

Acıbadem Mehmet Ali Aydınlar Üniversitesi Tıp Mühendisliği Bölümü bünyesindeki Nöroteknoloji





Şekil 3: Örnek bir İYKAS probunun kafa derisi üzerine yerleşimi ve ölçümlenen sinyal grafiği.

Araştırma Grubu ve İstanbul Medipol Üniversitesi Tıp Fakültesi bünyesindeki Bilişsel Sinirbilim Araştırma Grubunun ortaklaşa yürüttüğü çalışmalarda, kurulan İYKAS sistemleriyle çeşitli bilişsel ve zihinsel faaliyetler esnasında beyin aktivasyonuna dair bilgiler başarılı bir şekilde elde edilmektedir. Sağlıklı insanların, belirli uyarı durumlarına verdikleri hemodinamik tepki haritalarının çıkarılması ve bu haritaların herhangi bir nörolojik, psikiyatrik veya nörodejeneratif olguya sahip hasta gruplarının beyin haritalarından farklarının niceliklendirilmesiyle İYKAS sistemleri klinik uygulamalarda yer edinmeye başlamıştır.

İki üniversitenin araştırma gruplarının ortaklaşa yürüttüğü bir çalışmada, farklı el hareketlerinin imgelemesi ve bu hareketlerin icra edilmesi sırasında, İYKAS yöntemiyle pariyetal, motor ve frontal korteks yüzeyinden bölgesel beyin aktivitesinin karşılığı olan sinyaller toplandı. Bu sinyaller hemodinamik cevaplara dönüştürüldü. Hemodinamik cevaplardan elde edilen beyin etkinliğine dair parametre haritaları incelendiğinde, bir motor işlemin hayal edilmesiyle gerçekten icra edilmesinin, frontal beyin bölgelerinde birbirlerine zamansal ve uzamsal olarak çok benzeyen sinyaller ürettiği gözlemlendi. Bu

gözlemin 10 sağlıklı deneyin her biri için geçerli olduğu görüldü. Bu bulgudan yola çıkılarak, periferik uzuvlarını motor kortekste sinir hücrelerinin hasarı sebebiyle hareket ettiremeyen hastalardan belirli hareketleri imgelemeleri sırasında frontal korteks gibi hasar görmemiş beyin bölgelerinden İYKAS ile toplanacak hemodinamik ölçümlerin, sağlıklı insanlardan belirli motor hareketler esnasında toplanacak hemodinamik ölçümlerle karşılaştırılarak kişinin hangi hareketi imgelediğinin tahmin edilebileceği önerildi. *Journal of Neural Engineering* adlı dergide yayımlanan öncül çalışmada, sekiz farklı motor hareketin yürütülmesi ve imgelemesi sırasında İYKAS ile toplanan beyin sinyalleri, karar destek makineleri, rasgele ormanlar ve yapay sinir ağları adlı üç tane makine öğrenmesi algoritmasını eğitmede kullanıldı ve bu algoritmalar yüzde 93 üzeri doğrulukla hangi el hareketinin kişi tarafından imgelendiğini tahmin edebildi. Bu çalışmada sunulan temel yenilik, kullanılan sınıflandırma algoritmalarının ilk defa popülasyon genelinde elde edilen İYKAS verilerinin birleştirilmesiyle eğitilmesi ve her harekete özgü sinyal karakteristiklerinin grup seviyesinde tanımlanmasıdır. Kullanılan makine öğrenmesi algoritmalarının grup seviyesinde çıkarılan özniteliklerle eğitimi



sonucunda elde edilen el hareketlerini doğru sınıflandırma performansı, her kişi için algoritmaların ayrı ayrı eğitilmesi sonucu elde edilen tek denek seviyesinde çıkarılan performansa çok yakın olmuştur. Şimdiye kadar yapılan İYKAS ve EEG temelli BBA çalışmalarında, farklı makine öğrenmesi algoritmaları her bir denekten elde edilen sinyallerden çıkarılan özniteliklerle kişi bazında eğitilmiştir. Bu yaklaşım, BBA'nın kullanımı öncesi yapay zekâ algoritmalarını beslemek için her hareketin imgenmesi için her kullanıcıya özgü ayrı uzun süreli eğitim verisi toplanmasını gerektirir. Motor kortekste sinir hasarı olan hastalar için bir yapay zekâ algoritmasını eğitmek maksatlı ölçümler almak pratik hayatta çok elverişli ve uygulanabilir değildir. Önerilen yaklaşımda özellikle yüksek karmaşıklıkta bilişsel işlevlerin yürütülmesinden sorumlu prefrontal korteks gibi bölgelerden toplanan

İYKAS temelli beyin sinyallerinden, her zihinsel duruma özgü kişiler arası ortak karakteristik özellikler çıkarılabileceği ve bu özniteliklerin ilk defa veri toplanan bir denegin beyin sinyallerinin hangi hareketin imgenmesine ait olduğunu sınıflandırmada kullanılabileceği gösterilmiştir.

Yapılan çalışmalar, İYKAS temelli BBA'ların, bilişsel becerilerini muhafaza ederken periferal uzuvlarını sınırlı kullanabilen yahut hiç kullanamayan, yoğun bakım hastaları, ALS veya tetrapleji, felç gibi hasta gruplarının farklı zihinsel durumlarını çözümlemede ve dış dünyayla iletişim kurmalarını sağlamada umut vadeci olduğunu göstermektedir. İki üniversitenin ortaklaşa yürüttüğü beyin araştırmaları, İYKAS ve yapay zekâ temelli taşınabilir ve gündelik hayatta kullanılabilir BBA sistemleriyle duygu-durum ve niyet tahmini ve takibi yapma gibi hedeflere doğru yönelmektedir.



www.stm.com.tr

[in](#) [t](#) [f](#) [@](#) [v](#) /STMDefence



thinktech.stm.com.tr

[in](#) [t](#) [@](#) /STMThinkTech