



Çok İşlevli Protez El Deney Düzenegi Tasarımı Multifunctional Hand Prosthesis Setup Design

Mehmet Serdar Çelik¹, Cengiz Tepe¹, Hasan Baş² İlyas Eminoğlu¹

¹Elektrik-Elektronik Müh. Böl., Biyomedikal Araştırma Lab. (BAL-LAB), Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, Türkiye
Endüstri Mühendisliği Böl.

mehmetserdar.celik@omu.edu.tr, ctepe@omu.edu.tr, hsnbas@hotmail.com, ilyaseminoglu@hotmail.com

Özetçe—Bu çalışmada biyomedikal ve kontrol mühendisliği bölümleri laboratuvarında deney düzenegi olarak kullanılmak üzere iki kanallı, çok işlevli bir mayo-elektrik denetimli (MEDEP) el tasarlanmış ve uygulanmıştır. Triceps ve biceps kaslarından alınan yüzey EMG (yEMG) işaretlerine çeşitli analog işaret işleme adımları uygulanmıştır. Daha sonra mikrodenetleyiciye aktarılan işaretler, belirli bir eşik değeriyle karşılaştırılmıştır. Triceps kasından alınan işaret beş farklı işlevden hangisinin seçileceğine karar verirken, biceps kasından alınan işaret, seçilen işlevin çalıştırılmasını sağlar. Farklı konularda pek çok mühendislik uygulamasını içinde barındıran bu çalışma ile öğrencilerin teorik ve pratik bilgilerini geliştirmek hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler — yüzey EMG, EMG yükseltici, işaret işleme, protez el, çok işlevli protez.

Abstract—In this study, two channels, multifunctional myoelectric prosthesis hand is designed and operated for biomedical and control engineering departments laboratory as experiment apparatus. Various analog signal processing steps are implemented to the surface EMG signals which received on the triceps and biceps muscles. After that signals are conveyed to microcontroller and compared with a threshold value. One function of five different functions is selected by the received signal from triceps muscles and this function is activated by the biceps muscles. The goal of this study is, which includes different types of engineering issues, improving the theoretical and practical knowledge of engineering students.

Keywords — surface EMG, EMG amplification, signal processing, prosthesis hand, multifunctional prosthesis hand.

I. GİRİŞ

Yüzey elektromiyogram (yEMG), kasların kasılması sonucu kas hücreleri tarafından üretilen elektrik potansiyelinin deri yüzeyi üzerinden tespit edilmesidir. Bu potansiyel, kas üzerindeki deri yüzeyine yerleştirilen elektrotlar sayesinde algılanabilir. yEMG işaretin genliği kas grubuna ve elektrotların yerleşim konumlarına göre değişmekle birlikte, genellikle 20-2000 μ V (tepeden tepeye) aralığındadır.

Protez organların yEMG işaretleriyle denetimine 70'li yıllarda başlanmıştır. Günümüzde yEMG denetimli protez el ve kolu ticari olarak satan bazı firmalar (Otto Bock, Utah

Arm, RSL Steeper) bulunmaktadır. Ayrıca MEDEP el denetimi ve işaret işleme uygulamaları eğitimi için Quanser firması tarafından tek kanallı bir el düzenegi ticari olarak üretilmektedir [1].

yEMG ile denetlenen bir protez tasarımı bazı alt parçalara bölünebilir. Bunlar yüzey EMG işaretinin alınması, yüzey EMG işaretinin işlenmesi, mekanik parçaların tasarımı ve üretilmesi, denetleyici ve algoritmasının tasarlanması olarak verilebilir. Böyle bir tasarım ve uygulama çalışması biyomedikal, kontrol, işaret işleme gibi pek çok daldan örnekleri içerisinde barındırmaktadır. Dolayısıyla, bu uygulama süreci, eğitimde mühendisliğe özendirilecek ve öğrencinin eğitimine pek çok konudan kazanacağı bilgi ve tecrübeyle katkı sağlayacaktır.

Bu çalışmada öncelikle iki kanallı geri beslemeli yükselteç devresi tasarlanmıştır. Bu devre sayesinde yEMG işareti koldaki biceps ve triceps kaslarından alınmış ve işlenmiştir. Elin 5 farklı işlevi yerine getirmesi istenmiştir. Bunun için triceps kasıyla alınan veri, işlevler arası geçişte anahtarlar için kullanılırken, biceps kasından alınan veri, seçilen bu işlevin yerine getirilmesinde kullanılmıştır. İşlev seçimi ve rc servo motor denetimi için ATMEGA 328p mikrodenetleyicisi içeren Arduino Uno kiti kullanılmıştır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

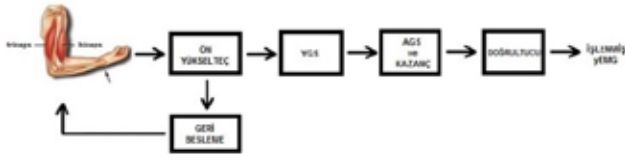
Çok işlevli el için tasarlanan düzenegin veri alım katını elektrotlar ve veri kabloları oluşturmaktadır. Elektrot olarak maliyeti az, tek kullanımlık Ag/AgCl yüzey elektrotları tercih edilmiştir. Elektrotlardan alınan işaretin işaret işleme katına, istenmeyen işaret girişimlerini engelleyerek göndermek için, ekranlı ve örgü kafesli kablo kullanılmıştır. İşaret işleme katı ise ön yükselteç, süzgeç ve doğrultma devrelerinden oluşmaktadır. Çalışmada yükselteç olarak maliyeti uygun, ortak kip bastırma oranı yüksek INA118 enstrumantasyon yükseltici kullanılmıştır.

yEMG işaretindeki kullanılabilir bileşenler genellikle 50 ile 500 Hz frekans bandı arasında bulunur. Genliği çok küçük olduğundan işaret, elektronik parçaların yapısından kaynaklanan gürültülerden, ortamdaki elektromanyetik yayılımdan kaynaklanan girişimlerden ve elektrotlar ile kabloların hareketlerinden kaynaklanan gürültülerden kolayca etkilenir. İşaretteki bu gürültülerden kurtulmak ve genliği küçük olan yEMG işaretini yükseltmek için bazı

Cihaz Tasarımı 2

2. Gün / 28 Ekim 2016, Cuma

analog işaret işleme yöntemleri uygulanmıştır. Uygulanan yöntemlerin öbek çizgesi Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1 İşaret işleme adımları

A. Süzgeç ve Kazanç Katları

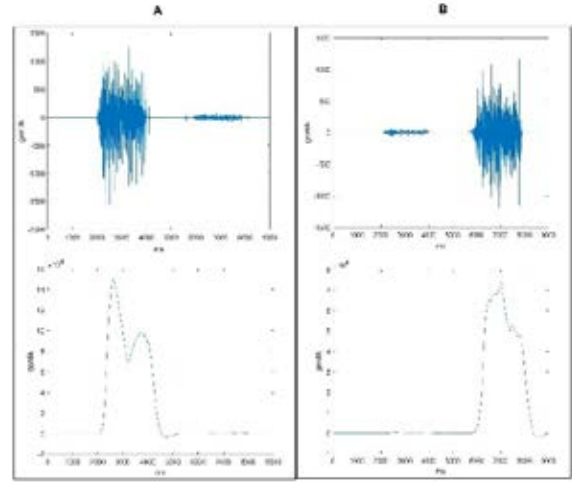
Bu çalışmada şebeke ve harmonikleri frekanslarındaki gürültüleri minimize edecek, ortak kip bastırma oranı yüksek bir geri besleme katı kullanılmıştır[5]. Gürültü, geri besleme olduğu durumda, olmadığı duruma göre gözle görülür seviyede bastırılır. Geri beslemenin bağlandığı ön yükselteç katında yaklaşık olarak 20 kat kuvvetlendirilen işaret, öncelikle kesim frekansı 50 Hz olan birinci dereceden yüksek geçiren süzgeçten ve daha sonra ise kesim frekansı 150 Hz olan birinci dereceden alçak geçiren süzgeçten geçirilir. Ayrıca işaret bu katta 150 kat daha kuvvetlendirilir. Dolayısıyla toplamda işaret 3000 kat kuvvetlendirilmiş olur. Süzgeç çıkışındaki doğrultucu katında işaretteki eksi bileşenler artı bileşenlere çevrilir. Denetim mikrodenetleyici üzerinden gerçekleştirileceğinden işaretin zarfının alınması gerekmektedir. Bu nedenle işarete 2 Hz'lik alçak geçiren süzgeç uygulanarak zarfı alınmıştır. Ham yEMG işareti ve tüm bu işlemlerden sonraki işlenmiş yEMG işareti Şekil 2'de gösterilmiştir.

B. Eşikleme, Anahtarlama ve Denetim Yöntemleri

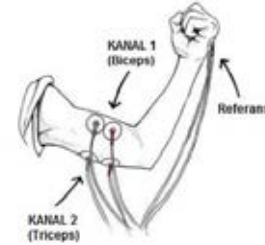
Şekil 2'de verilen zarfı alınmış işaret mikrodenetleyicinin analog girişinden alınır. Kullanılan Atmega 328p mikrodenetleyicisinde 10 bit çözünürlüklü A/D dönüştürücü kullanıldığından, 0 ile 5V aralığındaki analog veri 0 ile 1023 arasındaki sayısal karşılığına atanır. Her bir kas işareti için bireye özel, deneysel bir eşik değeri belirlenmiştir. Bu eşik değerinin aşılması o kanalların o süre zarfında aktif olacağını belirtir. Şekil 3'te kanallar ve elektrotların yerleşimi gösterilmiştir.

Deneysel olarak belirlenen eşik değerleri 1.kanal için yaklaşık olarak 1,7 V; ikinci kanal için ise yaklaşık olarak 1,1 V'tur. İşaretler belirlenen bu eşikleri geçtiklerinde, o kanalla ilişkili sayısal mikrodenetleyici çıkışı aktif olur. Bu süreç, her bir kanal için Şekil 4'te gösterilmiştir.

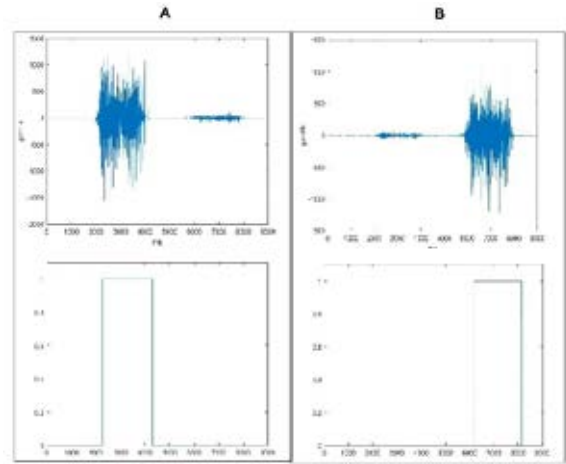
Protezler uzuv eksikliği yaşayan insanlar için kullanıldığından denetimde kullanılacak kas sayısı da sınırlı olacaktır. Bu da sınırlı sayıda veriden farklı işlevleri yerine getiren bir protez yapılmasını zorlaştırmaktadır. Çok işlevli protezler için literatürde bahsedilen ve ticari uygulamalarda kullanılan bazı farklı yöntemler bulunmaktadır.



Şekil 2. 1.kanal için (A) ve 2. kanal için (B) ham ve zarfı alınmış işaret



Şekil 3. Elektrotların konumu

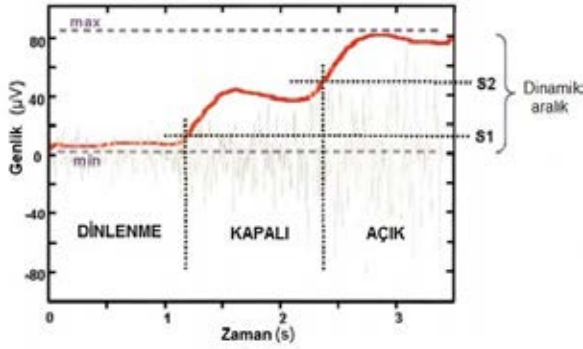


Şekil 4. 1.kanal (A) için ve 2.kanal (B) için ham veriler ve eşiklenme sonrası mantık çıkışları

Kullanılan yöntemler tek kanal ya da çift kanal kullanıldığında değişmektedir. Tek kanallı yöntemlerden biri Şekil 5'de gösterilmiştir. Burada tek kanal işaret için iki farklı eşik değeri belirlenmiştir. Eğer işaret eşik değeri altında ise protez dinlenme konumundadır. İlk eşik aşıldığında protez kapanmakta, ikinci eşik aşıldığında ise protez açılmaktadır.

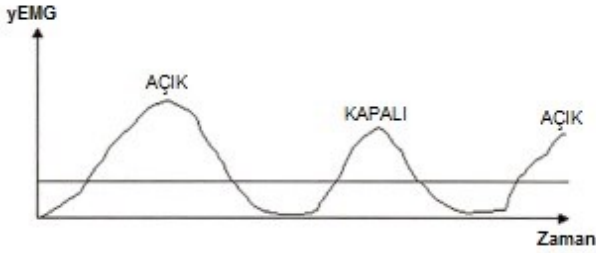
Cihaz Tasarımı 2

2. Gün / 28 Ekim 2016, Cuma



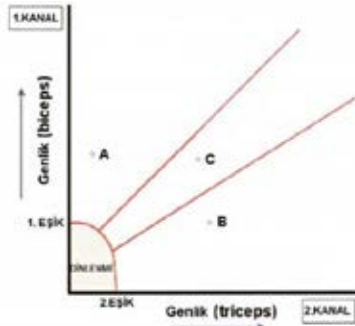
Şekil 5. Tek kanallı denetim yöntemlerinden biri [2]

Bir diğer tek kanallı denetim yöntemlerinden biri Şekil 6'da gösterilmiştir. Bu yöntemde ilk işlev kullanıcı tarafından belirlenir. Örneğin eşik değerini aşan bir kasma sonucu protezin açıldığını varsayalım. Bir sonraki başarılı kasmada protez kapanacaktır. Eğer tekrar başarılı bir kasma olursa protez yeniden açılacaktır. Her başarılı kasma için bu sıralama bu şekilde devam edecektir.



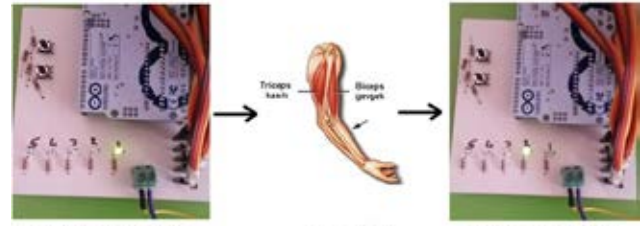
Şekil 6. Sıralı denetim yöntemi

Çift kanallı ticari MEDEP el ve kollarda en sık kullanılan yöntemlerden biri ise Şekil 7'de gösterilmiştir. Bu yöntemde triceps kasından gelen veri eşik aşarsa ve biceps kasından alınan veri eşik altında kalırsa (A Bölgesi) protez açılmaktadır. Eğer triceps kasından alınan veri eşik altında kalır ve biceps kasından alınan veri eşik geçerse (B Bölgesi) protez kapanmaktadır. Her iki kas da eşik aşacak şekilde kasılırsa (C Bölgesi), bu işaret anahtarlar olarak kullanılmakta ve işlevler arası geçiş olarak değerlendirilmektedir [2].



Şekil 7. Çift kanallı denetim yöntemlerinden biri [2]

Bu çalışmada ise yapılan protez elin 5 farklı işlevi yerine getirmesi istenmektedir ve bu 5 işlev, parmakları misina ipler aracılığıyla hareket ettiren rc servo motorlar tarafından gerçekleştirilmektedir. Daha önce de belirttiği gibi 2.kanal işlevler arası geçişte anahtarlar olarak kullanılırken, 1.kanal işlevi seçilen işlevin gerçekleşmesini sağlamaktadır. 2. kanalın kasılmasıyla kaslarda oluşan işaret eğer eşik değerini aşıyorsa 1,2,3,4,5 işlevlerinden birinin seçimi gerçekleştirilmektedir. İşlevler arası geçiş artarda gerçekleşir. Örneğin başlangıçta 1. işlevde olan elde eğer 2.kanal kasılırsa 2. işleve geçilir. Eğer 5. işlevde olan elde 2. kanal kasılırsa tekrar 1. işleve dönülmektedir. İşlevler arası geçiş Şekil 8'de gösterilmiştir.



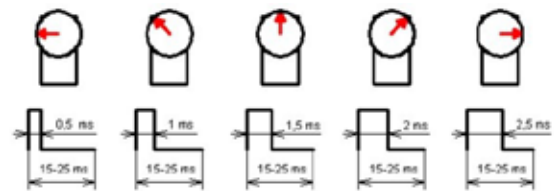
Şekil 8. Protez el işlevler arası geçiş denetimi

İşlev seçimi 2.kanalla yapıldıktan sonra o işlevin harekete geçmesi için 1.kanalın kasılması gerekir. Eğer 1.kanal kasılır ve eşik değeri geçerse, seçilmiş olan işlev yerine getirilir.

C. Motorların Sürülmesi ve Yazılım

Her bir parmağın birbirinden bağımsız hareketini sağlayabilmek için beş ayrı rc servo motor kullanılmıştır. Rc servo motorlar mikrodenetleyici üzerinden darbe genişlik modülasyonu yöntemi kullanılarak denetlenmiştir. Şekil 9'da darbe genişlik sürelerine göre motor rotorunun konumları gösterilmiştir. Uygulanan 0,5-2,5 ms darbe genişlik süresi aralığı ile motor rotoru -180° ile +180° arasında konum değiştirmektedir. Bu darbe genişlik sinyalleri Atmega 328p mikrodenetleyicisinin sunduğu PWM pinleri ile kolaylıkla elde edilebilmektedir.

Mikrodenetleyicinin yazılım algoritması oldukça basittir. İşlenmiş yEMG işaretlerini A/D girişlerinden alınarak sayısallaştırılır ve her kanal kendi eşik değeri ile karşılaştırılır. Birinci kanal aktif olur ise o anda seçili olan işlevi yerine getirecek şekilde motorlar sürülür. Eğer ikinci kanal aktif ise o anki seçili olan işlevden bir sonraki işleve geçilir.



Şekil 9. Farklı darbe genişlikleri için rotor konumları [3]

Cihaz Tasarımı 2

2. Gün / 28 Ekim 2016, Cuma

D. Mekanik Tasarım

Protez elin parçaları açık kaynak tasarımlar kullanılarak [5] 3 boyutlu yazıcılarda basılmıştır. Ham madde olarak kolay işlenebilir olması ve kaliteli olması nedeniyle powerABS filamenti tercih edilmiştir. Basılan her bir parmak, kol içerisine yerleştirilen hobi tipi rc servo motorlara misina ipleriyle bağlanmıştır. Böylece her bir parmağın bir servo motor ile hareket ettirilmesi mümkün olmuştur. Basılan el ve kol Şekil 10'da gösterilmiştir.



Şekil 10. El-kol, basım aşaması ve bağlantısı

III. TARTIŞMA

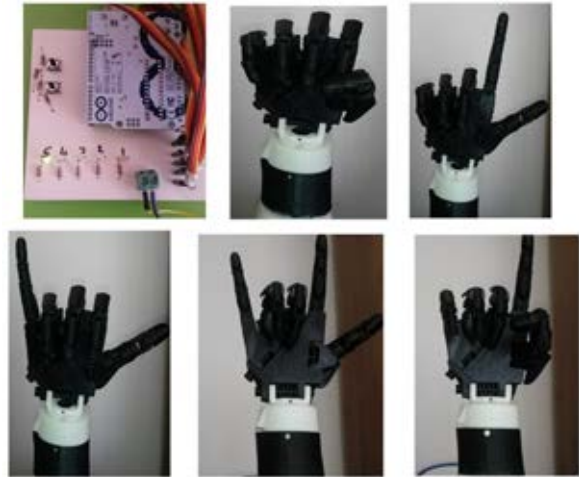
Bu çalışmada OMÜ Mühendislik fakültesi elektrik-elektronik mühendisliği bölümü linsans öğrencileri bitirme projeleri [4] genişletilerek kontrol mühendisliği anabilim dalı laboratuvarına maliyeti düşük, geri beslemeli iki kanallı ve çok işlevli bir MEDEP el deney düzeneği kazandırılmıştır.

Ton-Tai ve ark. [6] çalışmalarında, tek kastan alınan EMG işaretini ile protez eli denetlemişlerdir. Aynı kastan alınan veri hem el açma hem de kapama hareketini denetlemektedir. Bu protez el sadece el aç ve el kapa hareketi yapabilmekte ve parmaksız bir yapıdadır. Kullandıkları tek kanallı yükselteç devresinde geri besleme bulunmamaktadır. Benzer şekilde Tepe ve Eminoglu [5] çalışmalarında, ön kol kaslarından alınan EMG işaretini ile protez eli denetlemişlerdir. Bir kastan alınan veri eli açarken diğer kastan alınan veri ise eli kapatmaktadır. Kullandıkları protez el çok işlevli ve parmaklı yapıda değildir. Bu çalışmada ise şebeke ve harmonikleri frekanslarındaki gürültüleri minimize eden geri beslemeli iki kanallı yükselteç devresi kullanılmıştır. EMG işaretini iki kanallı olarak biceps ve triceps kaslarından alınmıştır.

Triceps kasından alınan veri hareketler arası geçiş sağlarken biceps kasından alınan veri ise denetim işaretini üretmektedir. Protez el el olarak çok işlevli parmaklı el kullanılmıştır. Protez elin beş parmağında birbirinden bağımsız olarak EMG işaretini denetimli olarak hareket ettirilebilmektedir. Düzeneğin son şekli ve yaptığı işlevler Şekil 11'de gösterilmiştir.

III. SONUÇLAR

Bu çalışma ile biyomedikal ve kontrol mühendisliği bölüm laboratuvarlarına maliyeti düşük, geri beslemeli, iki kanallı ve çok işlevli bir MEDEP el düzeneği kazandırılmıştır. Bu düzeneğin üzerinde çeşitli denetleme algoritmaları, işaret işleme yöntemleri ve farklı el-kol işlevleri denenebilecektir. Düzenekteki parmak hareketleri rc servo motorlara bağlı misina ipleriyle sağlandığından parmaklar üzerindeki denetim kabiliyeti sınırlıdır. Bu nedenle gelecek çalışmada doğrudan dc motor ile hareketi sağlanan parmaklı bir protez el tasarlanacaktır



Şekil 11. Deney düzeneği ve işlevleri

KAYNAKÇA

- [1] Available: www.quanser.com.
- [2] D.F. Lovely, "Signals and Signal Processing for Myoelectric Control", Editor: Muzumdar A., *Powered Upper Limb Prostheses*, Springer, Berlin, Germany, 35-54.
- [3] Tepe, C. ve Eminoglu, İ. "Düşük Maliyetli Mayo-Elektrik Denetimli Protez El Projesi: Kontrol Mühendisliği Laboratuvarı Deney Düzeneği Tasarımı", Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, TOK2014, 11-13 Eylül 2014, Kocaeli, Türkiye.
- [4] Kılıç, T. ve Pınarlı Mustafa "EMG Yükselteci ve Protez El Denetimi", Lisans Bitirme Tezi, Ondokuzmayıs Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, 2015.
- [5] Available: <http://inmoov.fr/hand-and-forarm> August 2004.
- [6] P.Ton-Tai et al., "Mechatronic Experiments Course Design: A Myoelectric Controlled Partial-Hand Prosthesis Project", IEEE Transactions on Education, Vol.47, No.3, August 2004.