

MELEZ ADAPTİF/ÖĞRENME DENETLEYİCİSİNİN GEREKSİNİMLERİNE UYGUN İSTENEN KONUM FONKSİYONU ÜRETİMİ

Hüseyin CANBOLAT

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Mühendislik Fakültesi
Mersin Üniversitesi, 33343, Çiftlikköy, Mersin
e-posta: huseyinc@mersin.edu.tr

Anahtar sözcükler: İstenen konum, Silkinme, Fonksiyon oluşturma, 4-6-4 ve 5-4-5 metodu

ÖZET

Bu bildiride, elektriksel tahrikli robot manipülatörleri için melez adaptif/öğrenme control stratejisinin gerektirdiği sürekli silkinmeli istenen konum fonksiyonları iki değişik yöntemle elde edilmiştir. Elde edilen fonksiyonların kendileri ve üçüncü mertebeye kadar türevleri sürekli dir. Her iki yöntemle elde edilen fonksiyonlar birbirine benzemekle birlikte, 545 metodunun ürettiği fonksiyonda hız ve ivme değerleri daha küçük kalmaktadır. Bu sonucun, yüksek control kazançlarını aşağıya çekmesi beklenmektedir.

1. GİRİŞ

Elektriksel tahrikli (RLED) robot manipülatörleri için tanımlanan melez adaptif/öğrenme denetleyicisinin teorikte periyodik bir istenen konum vektörü için belli sınırlar içinde çalışabileceği gösterilmiş, fakat simülasyon ve deneyi yapılamamıştı [1]. Bu sistemin simülasyonu sinüzoidal bir istenen konum vektörü için yapıldı [2]. Fakat robot manipülatörlerinin istenen konum fonksiyonları periyodik bile olsalar genelde sinüzoidal olmazlar. Bundan dolayı daha genel bir konum vektörünün seçilmesi gerekiyordu. En genel konum fonksiyonlarından biri robotun belli bir başlangıç konumundan bir varış konumuna yumuşak bir hareketle gidip, varış noktasında yapılması gereken işi belli bir sürede tamamladığı ve sonrasında da başlangıç konumuna döndüğü konum fonksiyonu bir çok görevde kullanılabilir. Örneğin, robotun belli malzemeleri bir noktadan alıp bir diğer noktaya taşınması gereken görevler, bir vidanın alınıp belli bir yuvaya sabitlenmesi gereken görevler bu tip bir istenen konum fonksiyonu gerektirirler. Bu çalışmada, Fu ve ark. [3] önerdiği istenen konumu bir kaç polinomun ard arda dizilmesine dayanan yöntemlerden ikisini hafifçe değiştirilerek elde edilen probleme uygulandı. Yöntemlerin modifikasyonu melez kontrol stratejisinin sürekli silkinmeli (sürekli üçüncü türevli) bir konum fonksiyonuna ihtiyaç duymasından [1] dolayı gerekliydi.

Bu bildiride, fonksiyonlar elde edilirken robot sisteminin fiziksel sınırlamaları dikkate alınmamıştır. Fakat elde edilen sonuçlar 5-4-5 yönteminin 4-6-4

yöntemine göre fiziksel sınırları daha az zorladığını göstermektedir.

2. DENETLEYİCİ DİZAYNI

Ele alınan denetleyicinin kullandığı n linkli robotun elektriksel ve mekanik dinamik denklemleri,

$$M(q)\ddot{q} + V_m(q, \dot{q})\dot{q} + G(q) + F_d\dot{q} = K_r I$$

$$L\dot{I} + RI + K_b\dot{q} = v$$

ile verilebilir.

Robotun izleyeceği periyodik $q_d(t)$ yolunun kendisi, 1., 2., ve 3. türevleri sürekli ve sınırlı olmalıdır.

Robot denkleminin sol yanı q_d cinsinden düzenlenirse

$$w(t) = M(q_d)\ddot{q}_d + V_m(q_d, \dot{q}_d)\dot{q}_d + G(q_d) + F_d\dot{q}_d$$

fonksiyonu elde edilir. İstenen uzuv pozisyonu, hızı ve ivmesi periyodik olduğundan $w(t)$ fonksiyonu da periyodiktir. Bu denklem bir lineer integral denklemi olarak aşağıdaki gibi yazılabilir [4]:

$$w(t) = \int_0^t K(t, \gamma)c(\gamma)d\gamma$$

Burada, $c(\gamma)$ mekanik alt sistemin parametre belirsizliği fonksiyonu ve $K(t, \gamma)$ Hilbert-Schmidt Kernel fonksiyonudur. Kernel fonksiyonu,

$$K(t, \gamma) = \frac{1}{\sigma(2\pi)^{1/2}} \exp\left(-\frac{(t-\gamma)^2}{2\sigma^2}\right)$$

olarak seçilebilir. Burada σ , pozitif dizayn sabitidir.

Canbolat ve ark. [1] kontrol girişini

$$v = Y_e \hat{\theta}_e + \|K_L\|_{i2}^2 \kappa^2 k_{n1} \eta_1 + k^4 k_{n2} \eta_1 + k_{n3} \eta_1 + k_{n4} \eta_1 + k_{n5} \eta_1 + \eta_1$$

olarak tanımlamışlardır. Bu denklemdeki sembollerin ayrıntılı tanımları [1]'de bulunabilir.

3. KONUM FONKSİYONLARI

Bir robot konum fonksiyonu belirli bir başlangıç noktasından başlayıp belli bir varış noktasında sona eren düzgün davranışlı bir fonksiyondur. İstenen özelliklere sahip fonksiyonlar üretmenin çeşitli yöntemleri vardır. İstenen konum fonksiyonunu üç ana parçaya ayırarak her bir kısmı sınırlardaki

sürekli koşulları sağlayan birer polinomla ifade edecek uygun katsayıları seçmek en çok kullanılan yöntemler arasındadır (Şekil 1).

Biz burada sürekli ikinci türevli (sürekli ivmeli) fonksiyonların üretiminde kullanılan 3-5-3 ve 4-3-4 spline metotlarını hafifçe modifiye ederek, 4-6-4 ve 5-4-5 metodlarını oluşturduk. 3-5-3 metodunda birinci ve üçüncü kısımlarda üçüncü dereceden, orta kısımda ise beşinci dereceden polinomlar, 4-3-4 yönteminde ise orta kısımda üçüncü dereceden dış kısımlarda ise dördüncü dereceden polinomlar kullanılır. Bunların ayrıntılı formülasyonları [3]'de bulunabilir.

Formülasyonda [3]'deki yöntem kullanıldı. Alt fonksiyonların başlangıç ve bitiş zamanlarına sırasıyla t_0, t_1, t_2, t_3 dersek (Şekil 2), $[t_{i-1}, t_i]$ aralığında

$$\tau = \frac{t - t_{i-1}}{t_i - t_{i-1}} \quad (1)$$

değişkeni tanımlandı. $t \in [t_{i-1}, t_i]$ için $\tau \in [0,1]$ olur. Böylece, fonksiyonları her aralık için $[0,1]$ üzerinde tanımlanabilir. Sınır koşulları $\tau=0$ ve $\tau=1$ 'deki koşullar olur. Süreklilik özelliklerinin sağlanmasıyla istenen konum fonksiyonu elde edilir.

$A_i = \frac{1}{t_i - t_{i-1}}$ olmak üzere, i -nci kısımdaki polinoma h_i ise,

$$\frac{dh_i}{dt} = \frac{dh_i}{d\tau} \frac{d\tau}{dt} = \frac{1}{t_i - t_{i-1}} \frac{dh_i}{d\tau} = A_i \frac{dh_i}{d\tau} \quad (2)$$

eşitliği sağlanır. Kullanılacak polinomlar en fazla altıncı dereceden olacağından, her bir $h_i(t)$ ve türevleri aşağıdaki gibi genelleştirilebilir:

$$\begin{aligned} h_i(\tau) &= a_{i6}\tau^6 + a_{i5}\tau^5 + a_{i4}\tau^4 + a_{i3}\tau^3 + a_{i2}\tau^2 + a_{i1}\tau + a_{i0} \\ h_i'(\tau) &= \frac{1}{t_i - t_{i-1}} (6a_{i6}\tau^5 + 5a_{i5}\tau^4 + 4a_{i4}\tau^3 + 3a_{i3}\tau^2 + 2a_{i2}\tau + a_{i1}) \\ h_i''(\tau) &= \frac{1}{(t_i - t_{i-1})^2} (30a_{i6}\tau^4 + 20a_{i5}\tau^3 + 12a_{i4}\tau^2 + 6a_{i3}\tau + 2a_{i2}) \\ h_i'''(\tau) &= \frac{1}{(t_i - t_{i-1})^3} (120a_{i6}\tau^3 + 60a_{i5}\tau^2 + 24a_{i4}\tau + 6a_{i3}) \end{aligned} \quad (3)$$

Başlangıç, ayrılma, yaklaşma ve varış noktalarındaki konumlar sırasıyla, q_b, q_a, q_y ve q_v olsun (Şekil 1). Bütün alt fonksiyonların ayrılma ve yaklaşma noktalarında sağlaması gereken sınır koşulları aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned} h_i(1) &= h_{i+1}(0) \\ h_i'(1) &= h_{i+1}'(0) \\ h_i''(1) &= h_{i+1}''(0) \\ h_i'''(1) &= h_{i+1}'''(0) \end{aligned} \quad (4)$$

(4) denkleminde $i=1,2$ olmalıdır. (4) katsayılar cinsinden 8 tane denklem verir. Başlangıç ve varış noktalarında ise

$$\begin{aligned} h_1(0) &= q_b \\ h_1'(0) &= h_1''(0) = h_1'''(0) = 0 \\ h_3(1) &= q_v \\ h_3'(1) &= h_3''(1) = h_3'''(1) = 0 \end{aligned} \quad (5)$$

koşulları sağlanmalıdır. (5) katsayılar cinsinden 8-tane denklem verir. Fakat fonksiyonlarda toplam 17

katsayı olduğundan ekstradan bir denkleme daha ihtiyaç vardır. Gerekli ekstra koşul ayrılma veya yaklaşma noktalarındaki konumlardan birinden elde edilebilir. Ayrılma noktası kullanılırsa

$$h_1(1) = q_a \quad (6)$$

denkleminde 17. denklem olarak kullanılabilir.

İstenen konum fonksiyonu periyodik olduğundan bir periyot içinde başlangıçtan varışa gitmeli ve varıştan başlangıca geri gelmelidir. Bundan dolayı yukardaki formülasyonu bir kez gidiş bir kez de dönüş olmak üzere iki kez yapmalıyız. Her iki formülasyonda seçilecek zaman aralıkları ve ayrılma ve yaklaşma konumları farklı olabileceği gibi, iki formülasyonda da farklı metodlar kullanılabilir. Bu çalışmada, gidişte izlenen başlangıç, ayrılma, yaklaşma ve varış noktalarını dönüşte aynı şekilde izleyerek bir periyot içinde simetrik olan istenen konum fonksiyonları bulundu.

(Şekil 2)'de görülebileceği gibi, bir periyot içinde 8-adet kritik nokta vardır. Zaman noktaları $t_0, t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6, t_7$ ve karşılık gelen $q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6, q_7$ konumları kritik noktalar. İlk dört konum q_0, q_1, q_2, q_3 sırasıyla gidişin başlangıç, ayrılma, yaklaşma ve varış noktalarıdır. Son dört nokta q_4, q_5, q_6, q_7 ise dönüşün başlangıç, ayrılma, yaklaşma ve varış noktalarıdır. Simetrik bir konum için $q_0=q_7, q_1=q_6, q_2=q_5, q_3=q_4$ olmalıdır. İstenen konumlar için, gidiş kısmında $q_b=0, q_a=0.08, q_y=0.92, q_v=1$ radyan, dönüş kısmında $q_b=1, q_a=0.92, q_y=0.08, q_v=0$ radyan değerlerini kullanıldı.

4-6-4 Yöntemi

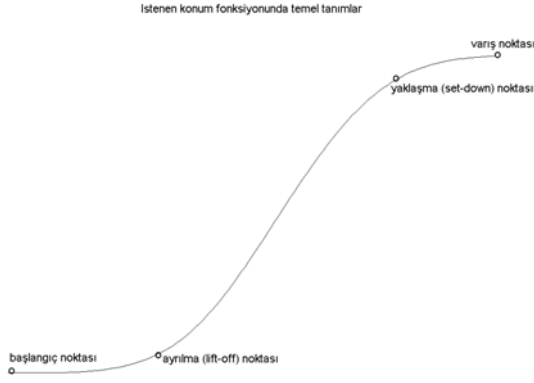
Bu yöntemde birinci ve üçüncü polinomlar dördüncü dereceden olduğundan, (3) denkleminde $a_{i6}=a_{i5}=0$ olmalıdır. Ayrıca (5) denkleminde başlangıç koşulları, $a_{i0}=q_b, a_{i1}=a_{i2}=a_{i3}=0$ (dönüş için $a_{i0}=q_b, a_{i1}=a_{i2}=a_{i3}=0$) eşitliğini gerektirir. (4) ve (5) denklemlerindeki diğer şartlar ve (6) denklemindeki şartın da eklenmesiyle yeterli sayıda lineer bağımsız denklem elde edilir ve katsayılar çözülebilir.

5-4-5 Yöntemi

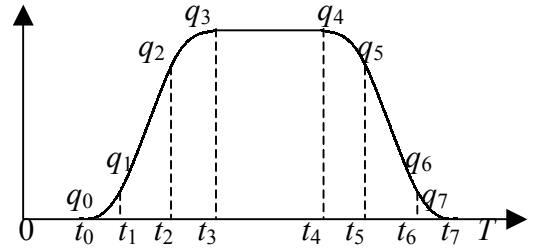
Bu yöntemde, (3) denkleminde birinci ve üçüncü polinomlar için $a_{i6}=0$ ve ikinci polinomda $a_{i6}=a_{i5}=0$ olmalıdır. Ayrıca (5) denkleminde başlangıç koşulları, $a_{i0}=q_b, a_{i1}=a_{i2}=a_{i3}=0$ (dönüş için $a_{i0}=q_b, a_{i1}=a_{i2}=a_{i3}=0$) eşitliğini gerektirir. (4) ve (5) denklemlerindeki diğer şartlar ve (6) denklemindeki şartın da eklenmesiyle 4-6-4 yöntemindekine benzer bir denklem sistemi elde edilir ve çözüm bulunabilir.

4. SONUÇ

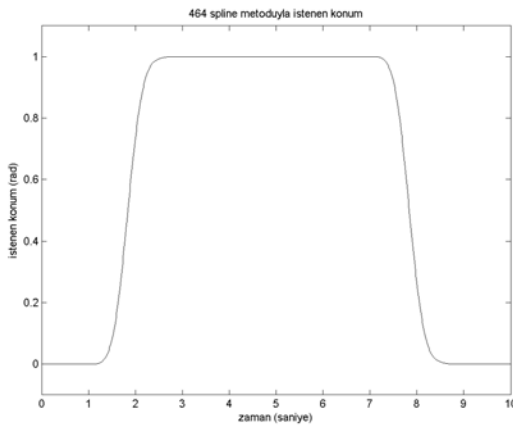
Bu çalışmada, RLED robot manipulatörleri için sürekli silkmeli (sürekli üçüncü türevli) istenen konum fonksiyonları elde edildi. Bu amaçla polinom kullanımına dayalı iki farklı metod kullanıldı. Metodların her ikisi de istenen özelliklerde fonksiyon üretmektedirler (Şekil 3 ve Şekil 4). Fakat 5-4-5 metoduyla elde edilen fonksiyonun hızı 4-6-4 fonksiyonun hızına oranla daha fazla olduğu Şekil 5



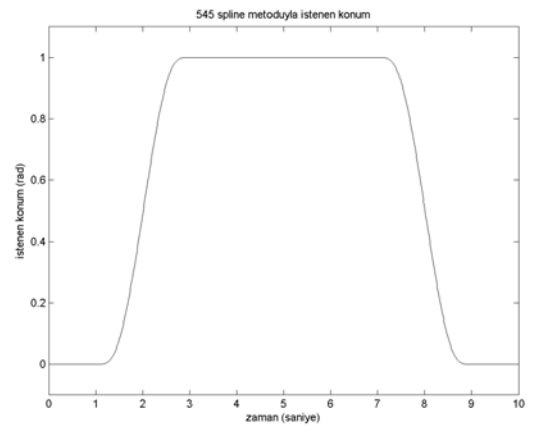
Şekil 1. İstenen konumda kritik noktaların tanımı



Şekil 2. İstenen fonksiyonun kritik noktaları



Şekil 3. 464 Metoduyla istenen konum



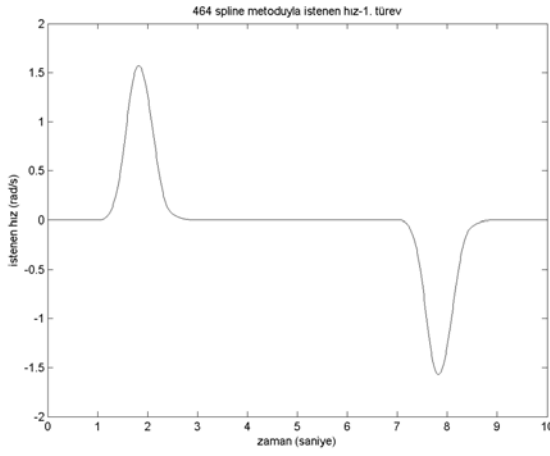
Şekil 4. 545 Metoduyla istenen konum

ve Şekil 6'dan kolaylıkla gözlemlenebilir. Diğer şekiller de benzer biçimde fiziksel sınırların 4-6-4 metodunda daha fazla zorlanacağı anlamına geliyor (Şekil 7, Şekil 8, Şekil 9, Şekil 10). Bundan dolayı 5-4-5 metodunun fiziksel kısıtlamaların önemli olduğu durumlarda tercih edilebilir olduğu söylenebilir. Bu sonuçları doğrulamak için her iki fonksiyonu kullanarak sistemin simülasyon çalışmaları sürdürmektedir.

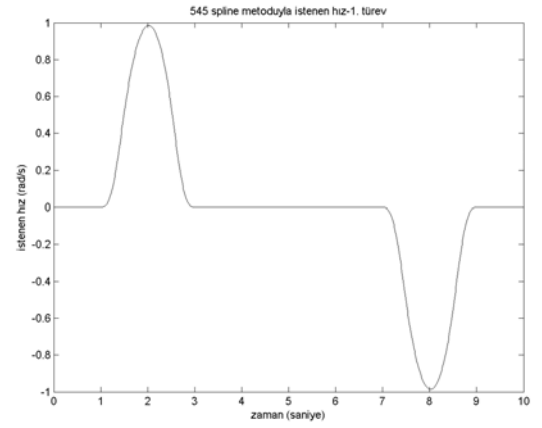
KAYNAKLAR

- [1] Canbolat, H., Hu, J. and Dawson, D.M., "A hybrid learning/adaptive partial state feedback controller for RLED robot manipulators", International Journal of Systems Science, Vol. 27, No. 11, pp.1123-1132, 1996.

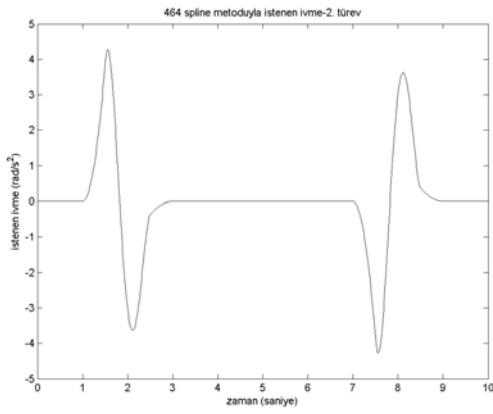
- [2] Uguz, H (2003), "Elektriksel Tahrikli Robot Manipulatorlerinin Öğrenme Kontrol Metoduyla Kontrol ve Simülasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Elektrik-Elektronik Müh. Böl., Mersin Üniv., 2003.
- [3] Fu, K.S., Gonzalez, R.C., Lee, C.S.G., "Robotics: Control, Sensing, Vision, and Intelligence", McGraw-Hill, New York, 1987.
- [4] Horowitz, R., Messner, W. and Moore, J. "Exponential convergence of a learning controller for robot manipulators", IEEE Trans. Automat. Contr., Vol. 36, pp.890-894, 1991.



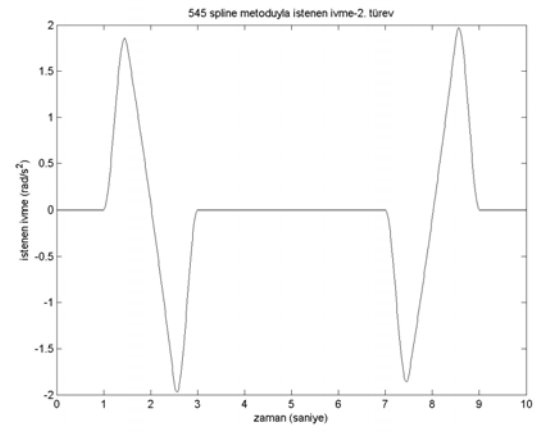
Şekil 5. 464 Metoduyla istenen hız



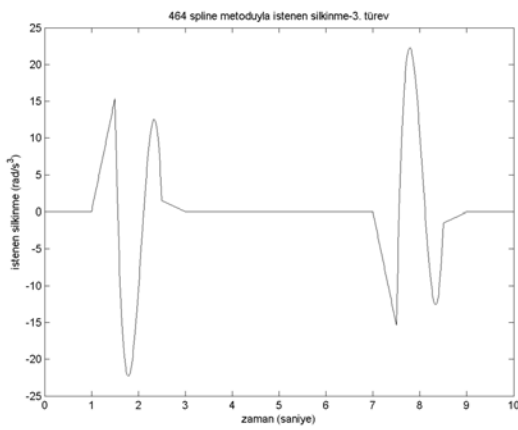
Şekil 6. 545 Metoduyla istenen hız



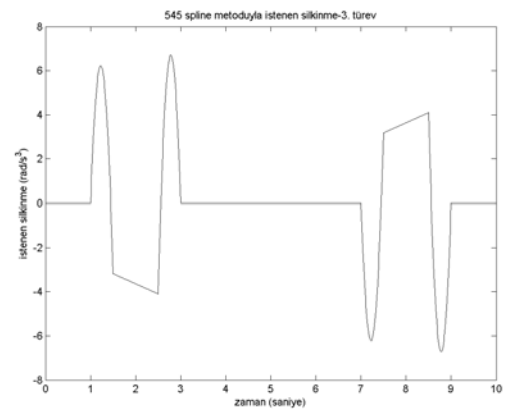
Şekil 7. 464 metoduyla istenen ivme



Şekil 8. 545 metoduyla istenen ivme



Şekil 9. 464 metoduyla istenen silkinme



Şekil 10. 545 metoduyla istenen silkinme