

ÜÇ SERBEST DERECELİ ENDÜSTRİYEL BİR ROBOTUN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE DENETİMİ

Murat SÖNMEZ¹ Mustafa NİL² Uğur YÜZGEÇ³ İsmet KANDİLLİ⁴

^{1,3}Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü

²Elektrik Mühendisliği Bölümü

Mühendislik Fakültesi

Kocaeli Üniversitesi, 41040, Kocaeli

⁴Kocaeli Üniversitesi, KMYO. Endüstriyel Elektronik Bölümü 41500 Kocaeli

¹e-posta: mrsonmez@kou.edu.tr

²e-posta: mnil@kou.edu.tr

³e-posta: uyuzgec@kou.edu.tr

⁴e-posta: kandilli@kou.edu.tr

Anahtar sözcükler: Robot, Yapay Sinir Ağları, Kinematik

ÖZET

Bu çalışmada, üç serbest dereceli endüstriyel bir robotun denetimi verilmiştir. Öncelikle robot eklemleri için kinematik ve ters kinematik hesaplamaları yapılmış ve denetim için yapay sinir ağı (YSA) yöntemi önerilmiştir. Ters kinematik probleminde robotun uç noktasının gideceği yerin koordinatları girdi olarak verilmiştir. Robotun kinematik ve ters kinematik hesaplamaları Matlab 6.0 kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

1. GİRİŞ

Robotlar, programlanarak taşıma yada yer ve yön değiştirme işlemlerini gerçekleştiren sistemler şeklinde tanımlanır[1]. Taşıma işlemi, gövde boyutlarına oranla uzak bir mesafeye olan hareketlerdir. Manipülatör, birden fazla eklemin birbirine bağlandığı kollardan oluşmuştur. Eklemlerin hareketleri motor ile sağlanmaktadır.

Robot, mekanik bölümler, hareketlendiriciler ve kontrol birimlerinden oluşmaktadır. Robotun mekanik bölümleri: yapısal parçalar, güç ileten parçalar, taşıyıcılar ve kuplajlama bölümleri olarak sınıflanır. Motorlar pnömatik yada hidrolik olabildiği gibi elektriksel olarak da hareket edebilirler. Modern robotlarda kontrol üniteleri PC tabanlıdır ve gelişmiş yapıları mevcuttur.

Günümüzde robotların kullanım alanları artmıştır. Özellikle endüstriyel ortamlarda, üretim montaj ve benzer işler için çok sayıda robot kullanılmaktadır[2]. Ayrıca ortam özellikleri hızlı değiştiği için gerçek dünyada robotlar karşılaştıkları engellere çarpmadan istenilen hedefe ulaşmaları istenir. Robotlar, kullanılan kontrol tekniğine ve içerdikleri eklem

türlerine göre ikiye ayrılırlar. Kontrol tekniği açısından adaptif robotlar, adaptif olmayan ve akıllı robotlar şeklinde sınıflamak mümkündür[12]. Robotlarda eklem türlerine göre döner, prizmatik, silindirik, küresel ve düzlemsel olmak üzere gruplandırılır.

Son yıllarda endüstride değişik üretim aşamalarında akıllı sistem uygulamalarına rastlamak mümkündür. Bu akıllı sistemler gelecekte planlanan yeni gelişmelerle endüstri, sağlık ve otomasyon sektöründe önemli bir yer tutacaktır.

Bu çalışmada, 3 eksenli endüstriyel robot manipülatörünün dinamik davranışı ile, eklemler arası robot kol konfigürasyonu zamanla değişimi ele alınmış, matematiksel kinematik modelleri verilmiş eklemlerin yapay sinir ağı modeli kullanılarak denetimi gerçekleştirilmiştir.

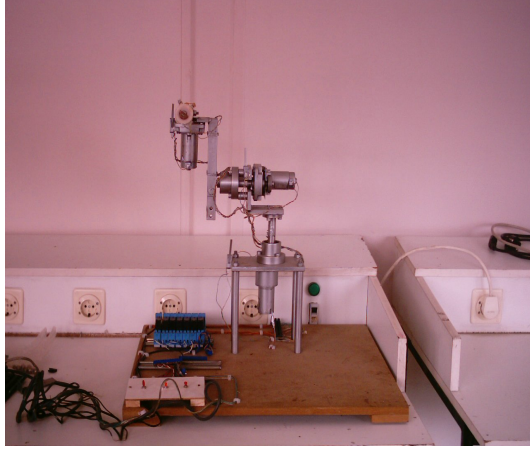
2. ÜÇ SERBEST DERECELİ ROBOT MANİPULATÖR MODELLEMESİ

2.1. Düz Kinematik

Robot hareketinde temel problem, robot ucunu o anki başlangıç değerinden istenilen bir son değere taşımaktır. Bu harekette, robot kolunun hem yönü hem de pozisyonu değişmektedir[4-6]. İki geçiş noktası arasındaki hareketin süresi de yol tanımlanırken verilebilir. Robotta, ani hareketler mekanizmayı yıpratır ve robotta rezonansa yol açarak titreşimlere neden olur. Bunu engellemek için fonksiyonun kendisi ilk türevi ve ikinci türevi izlenir.

Kinematik, robot manipülatör sistemin hareket denklemleri olarak tanımlanır. Kinematikte yön ve pozisyon girdileri önem taşır. Robot kinematığı

robotun pozisyonun belirlemesi için gereklidir[5]. Bir başka açıdan kinematik, kuvvet ve moment uygulamaksızın robot kolunun tüm hareketlerini planlamada kullanılır.



Şekil 1: Üç serbest dereceli robot

Kinematik iki kısımda ele alınabilir.

- Düz Kinematik
- Ters Kinematik

Robot manipülatörlerinde, düz kinematik robot kolunun pozisyonundan faydalanarak eklem açılarının belirlenmesinde kullanılır[7-8]. Bu amaçla, eklem uzayından gerçek uzayın elde edildiği bir haritadan faydalanılır. Şekil 1'de verilen üç serbest dereceli robot manipülatör simülasyon modelinde düz kinematik ve robot dinamikleri kullanılmıştır.

Robotta ters kinematik problemi, uygun alt problemlere indirgenerek çözülebilir. Bu yöntem ilk kez Paden[3] tarafından sunulmuştur ve Kahan'ın yayınlanmamış çalışması üzerine bina edilmiştir.

Şekil 1'de verilen üç serbest dereceli robot manipülatörünün düz kinematik denklemleri aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned}
 x &= l_3(\cos\theta_1 \cdot \cos\theta_3 - \sin\theta_1 \cdot \cos\theta_2 \cdot \sin\theta_3) + l_1 \cos\theta_1 \\
 &+ l_2 \sin\theta_1 \cdot \sin\theta_2 \\
 y &= l_3(\sin\theta_1 \cdot \cos\theta_3 + \cos\theta_1 \cdot \cos\theta_2 \cdot \sin\theta_3) + l_1 \sin\theta_1 \\
 &+ l_2 \cos\theta_1 \cdot \sin\theta_2 \\
 z &= l_3 \cdot \sin\theta_2 \cdot \sin\theta_3 + l_2 \cos\theta_2
 \end{aligned} \quad (1)$$

2.2. Robot Dinamiği

Robot kol hareketi eklemler üzerindeki kuvvetle belirlenir. Bu yüzden eklemler üzerindeki zamana bağlı kuvvet ve moment değişiminden hız ve ivme bilgilerine ulaşılabilir[9-10]. Bu verilere robot manipülatörünün dinamik analizleri kullanılarak tespit

edilebilir. Bu amaçla robot manipülatörünün dinamik denklemlerini elde etmek için bazı yöntemler kullanılır.

Bu yöntemler;

- Lagrange-Euler (L-E)
- Newton-Euler (N-E)
- Recursive Lagrange (R-L)
- Genelleştirilmiş D'Alembert' dir.

2.2.1 Lagrange-Euler Yöntemi

Bu yöntem sistemdeki toplam enerji ve iş ile tanımlanır. Bu işlemde potansiyel ve kinetik enerjiden faydalanılır. Üç serbest dereceli robot manipülatörünün dinamik modellenmesi Lagrange-Euler yöntemi ile yapılmıştır. Momentum; verilmiştir. Burada M momentum, L ise Lagrange fonksiyonu, q_i genelleştirilmiş eklemlere ait koordinat, \dot{q}_i is genelleştirilmiş hızdır.

Lagrange fonksiyonu

$$L = K - V \quad (3)$$

$$L = \left(\frac{1}{2} \sum_{i,j} d_{ij}(q) \dot{q}_i \dot{q}_j - V(q) \right) \quad (4)$$

burada K kinetik enerji V ise potansiyel energidir. ,

$$M_i = \left[\sum_j d_{kj}(q) \ddot{q}_j + \sum_{i,j} \frac{\partial d_{kj}}{\partial q_i} \dot{q}_i \dot{q}_j \right] - \left[\frac{1}{2} \sum \frac{\partial d_{ij}}{\partial q_k} \dot{q}_i \dot{q}_k - \frac{\partial V}{\partial q_k} \right]$$

$$M_k = \sum_j d_{kj}(q) \ddot{q}_j + \sum_{i,j} \left[\frac{1}{2} \frac{\partial d_{kj}}{\partial q_i} + \frac{\partial d_{ki}}{\partial q_i} - \frac{\partial d_{ij}}{\partial q_k} \right] \dot{q}_i \dot{q}_j + \frac{\partial V}{\partial q_k}$$

$$M = D(q) \ddot{q} + h(q, \dot{q}) + G(q) \quad (7)$$

$$\begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ M_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & d_{13} \\ d_{21} & d_{22} & d_{23} \\ d_{31} & d_{32} & d_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{q}_1 \\ \ddot{q}_2 \\ \ddot{q}_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} A & B & C \\ D & E & F \\ G & H & K \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \\ \dot{q}_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{bmatrix} \quad (8)$$

3.ROBOT MANİPÜLATÖRÜNÜN YSA İLE DENETİMİ

3.1 Yapay Sinir Ağları

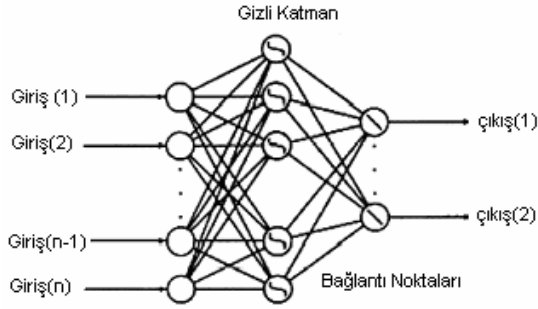
Yapay sinir ağları, insan beyninin öğrenme şeklinin uygulanmaya çalışıldığı bir yöntemdir. Bir yapay sinir ağı, nöron adı verilen bilgi işleme elemanlarından oluşmaktadır. Bağlantı noktaları- nın kendine özgü bir

ağırlığı vardır. Hesaplanabilen bu ağırlıklar bilgiyi doğrudan iletirler. Genellikle bilgi ağ boyunca dağıldığından bağlantı noktalarını önceden belirlemek mümkün değildir. Bu sebeple, ağırlıkların değiştirildiği bir öğrenme algoritmasına ihtiyaç vardır.

Eğitici ve eğitici öğrenme şeklinde sınıflandırılan öğrenmeden maksat bağlantı nokta ağırlıklarının hesaplanmasıdır[13]. Pek çok durumda ağ, giriş çıkış çiftleri kullanılarak eğitilir. Bu öğrenme işleminin performansı eğitim kümesi kullanılarak istenen sonuca ulaşılabilmesi ve eğitilen ağı genelleştirilebilmesiyle ölçülür.

3.2 Çok Katmanlı İleri Beslemeli Ağ

Eğitici öğrenme, en basit ağ yapısı bir giriş ve bir çıkış katmanı bulunan iki katmanlı ileri beslemeli bir ağıdır. Çıkış katmanındaki her bir nöron yeniden hesap edilebilen ağırlıklar ile bütün giriş nöronlarından işaret alır. Şekil 2’de bir çok katmanlı ileri beslemeli ağı şematik yapısı görülmektedir. Ağda giriş katmanı gizli katman ve çıkış katmanı olmak üzere üç katman bulunur.



Şekil 2: Şematik çok katmanlı ileri beslemeli ağ

Yapay sinir ağlarında giriş vektörünü bir kez tanımladıktan sonra ağırlıklar öğrenme işlemine göre ayarlanır. Bu çalışmada geriye yayılım algoritması kullanılmıştır.

Geriye yayılım algoritması yapay sinir ağlarında en çok kullanılan algoritmadır. Geriye yayılım öğrenmesi sırasında ağ, her giriş örüntüsünü çıkış nöronlarında sonuç üretmek üzere gizli katmanlardaki nöronlardan geçirir. Daha sonra çıkış katmanındaki hataları bulabilmek için beklenen sonuçla elde edilen sonucu karşılaştırır. Bundan sonra çıkış hatalarının türevi çıkış katmanından geriye doğru gizli katmanlara geçirilir. Hata değerleri bulunduğundan sonra nöronlar kendi hatalarını azaltmak için ağırlıklarını ayarlarlar. Ağırlık değiştirme denklemleri ağdaki ortalama hata karesini en küçük yapacak şekilde düzenlenir. Öğrenme algoritması aşağıda verilen notasyonla belirtilir. n. iterasyonda, j. Nöronun çıkışındaki hata işareti, j. Nöron çıkış katmanında ise;

$$e_j(n) = d_j(n) - y_j(n) \quad (9)$$

şeklinde tanımlanır.

Bu çalışmada, yerel gradyenlerin hesabında aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır. Söz konusu YSA algoritması Matlab 6.0 Neural Network Toolbox kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Giriş çıkış verilerinin yakınsama ve öğrenme işlemi açısından oldukça önemlidir. Sigmoid fonksiyonun özelliğinden dolayı, ağı çıkışı 0 ile 1 arasında olmaktadır[11]. Bu sebeple giriş çıkış verilerinin ağ eğitilmeden önce normalize edilmesi gerekir. Bu çalışmada giriş ve çıkış verileri 0-1 arasında kalacak şekilde normalize edilmiştir.

4. SİMÜLASYON

Üç serbest dereceli robot manipülatörünün simülasyonu için gerekli verilerin bulunduğu tablo aşağıda verilmiştir.

Tablo 1: Simülasyonda kullanılan veriler

$$\begin{aligned} m_1 = m_2 = m_3 &= 0.1 \text{ kg} \\ I_1 = I_2 = I_3 &= 50 \text{ kgm}^2 \\ l_1 = l_2 = l_3 &= 0.2 \text{ m} \\ l_{c1} = l_{c2} = l_{c3} &= 0.1 \text{ m} \\ g &= 9.8 \text{ m/sn}^2 \end{aligned}$$

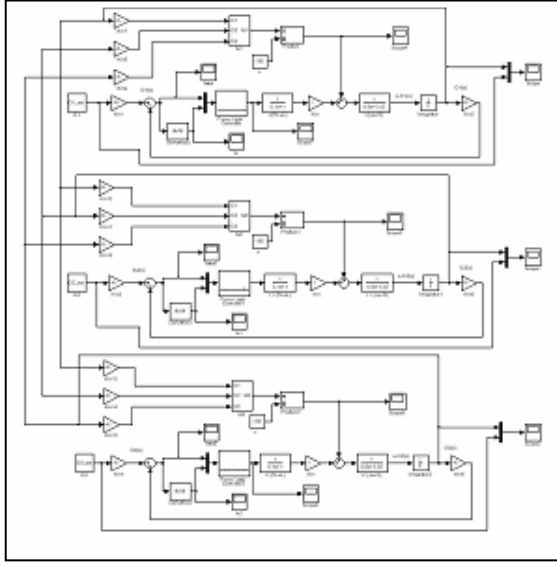
Simülasyon, ayırık zamanda gerçekleştirilmiştir. Toplam simülasyon zamanı olarak 40 saniye seçilmiştir. Robot manipülatörün kolların açılma set değerleri her bir eklem için farklı olarak girilmiştir.

Robot manipülatörlerin denetimi için yeni kontrol teknikleri geliştirilmiştir. Robot manipülatör denetiminde en önemli öge, istenilen yörüngeyi takip etmesidir. Simülasyonda YSA ile gerçekleştirilen robot denetimi şekil 3’de verilmiştir.

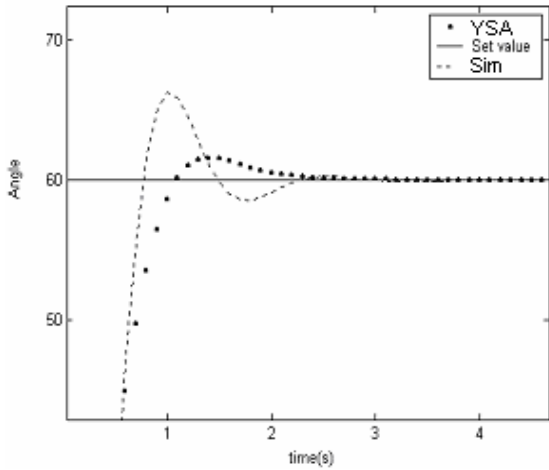
Denetim algoritmasında kullanılan YSA girdisi olarak robot manipülatörün eklemlerine ait normalize edilmiş açılar raydan olarak verilmiştir. YSA çıkışı ise robot kolları için monte edilmiş motorlara uygulanacak kontrol gerilimleridir. Geriye yayılım algoritması uygulanan ağ için 8*8*1 üçlü katman kullanılmıştır. Robot denetim çıkışları ise şekil 5’te gösterilmiştir.

5. SONUÇLAR

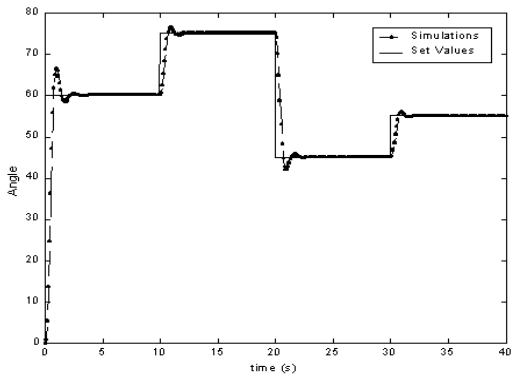
Robot dinamikleri ve düz kinematik denklemleri ile verilmiş üç serbest dereceli robot manipülatörünün denetimi YSA ile gerçekleştirilmiştir. Robot manipülatör denetimleri birden çok farklı yöntemlerle yapılmaktadır. Bununla birlikte robot manipülatör denetiminin YSA ile yapılmasıyla denetim elemanı yeterli doğrulukta öğrenme algoritması kullanılarak sisteme adaptiflik kazandırılmış, robot eklem açılarının konum ve yer bilgileri sensör kullanmadan belirlenebilmiştir.



Şekil 3: YSA kullanılarak robot manipülâtörün simülasyonu



Şekil 4: YSA kullanılarak robot manipülâtörün simülasyon sonuçları



Şekil 5: Robot manipülâtörün simülasyon sonuçları

KAYNAKLAR

- [1] Bailin C.,Huitang C.,ASME J DSMC 1993;115:566-569
- [2] Mills K.J Robotic manipulator control genarilazed contact force and position.IEEE Trans on SMAC 1994;24{3} p:523-531
- [3] T. Lozano-perez, "Robot Programming", *Proceedings of The IEEE*, vol.71, no.7, 821-841,1983
- [4] J.S. Nielsen, "Learning Mobile Robot Navigation: a Behavior-Based Approach", *Int.Conf. on Systems , Man and Cybernetics* 1994.
- [5] D.E. Whitney, "The Mathematics of Coordinated Control of Proshetics Arms and Manipulators", *Journal of Dynamics Systems, Measurement and Control*, 303-309,1972.
- [6] M.O. Efe and O.Kaynak, " A Comparative Study of Soft Computing Methodologies in Identification of Robotic Manipulators,," *Proc. 3rd Int. Conf. On Advanced Mechatronics, ICAM'98*, vol.1,pp.21-26, Okayama, Japan,1998
- [7] Kürüm,H., Aydın S., "The Analysis of Permanent Magnet Brushless D.C. Motor" *Seventh International Ansys Conference and Exhibition*, pp.3.153-156,1996
- [8] M. Spong ,and M. Vidyasagar, *Robot Dynamics and Control*, John Wiley& Sons, New York, 1989
- [9] D .S.Yoo, M.J. Chung and Z.Bien, Real Time Implementation and Evolution of Dynamic Control Algorithms for Industrial Manipulators , *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, Vol.38, No.1 ,26-31,1991
- [10] H.Asada, H. Takumaru, "Inverse Dymanics of Flexible Robot Arms: Modelling and Computation for Trajectory Control", *ASME Journal of Dynamic Systems Masurement and Control*, Vol.112,s.177-185,1990
- [11] O.Efe, O.Kaynak, "Yapay sinir Ağları ve Uygulamaları", Bogaziçi Uni.,İst., 2000
- [12] G.Oke, Y.Istefanopulos, "Gradient Descent Baseb Trejectory Planning for Regulation of a Two Link Flexible Robotic Arm" *Int. Conf.on Advanced Intelligent Mechatronics*, vol.2, s.948-952,2001
- [13] S.Haykın, "Neural Networks",Macmillan College Printing Company,New Jersey, 1994