

BEŞ EKLEMLİ BİR ROBOT KOLUNA AİT İLERİ KİNEMATİK HESAPLAMA YÖNTEMİNİN YSA İLE ÇÖZÜMÜ

Aydın MÜHÜRÜCÜ¹

Burhanettin DURMUŞ²

^{1,2}Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Sakarya Üniversitesi, Esentepe Kampüsü 54187, Sakarya

¹e-posta: amuhurcu@sakarya.edu.tr

²e-posta: bdurmus@sakarya.edu.tr

Anahtar sözcükler: Yapay Sinir Ağı, İleri Kinematik, Robot Kol

ABSTRACT

In this work, there has been used Artificial Neural Networks (ANNs) for solution of forward kinematic of five axis articulated robot arm. The inputs are the five degrees ($\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5$) of the arm axis. There by the outputs are positions of x,y,z. The arm motions are made by servo motors. This type of motors needs only position knowledge for rotating. The results of the study clearly demonstrate the ANN results are very close to the observed values of forward kinematic.

1. GİRİŞ

Malzemeleri, parçaları, takımları hareket ettirmek, taşımak, onlara şekil vermek veya çeşitli özel işleri icra etmek için tasarlanmış programlanabilir çok fonksiyonlu makinelere robot denir. Robotların kullanım alanı daha çok seri üretim gerektiren sahalar, montaj işleri ve nükleer reaktör çekirdekleri gibi insanların çalışmasının mümkün olmadığı veya çok riskli olduğu yerlerdir. Güç gerektiren işlerde, sıcak, soğuk ve tehlikeli ortamlarda kolayca çalışabilmeleri, hızlı, emniyetli, seri, hassas ve ekonomik olmaları, çalışan elemanlar gibi sağlık, emniyet, mola gibi çeşitli ihtiyaçlarının olmayışları, tekrarlı ve monoton işlerin niteliğini değiştirme özellikleri gelişen endüstride robotların etkinliklerini artırmıştır. Günümüzde robotlar fabrika dışında; evlerde, ofislerde, bankalarda, restoranlarda ve yaşamın her sahasında kullanım alanları bulmaktadır.

Robot kolu, dönel veya kayar eklemlerle birbirine bağlanmış “uzuv” adı verilen eğilmez cisimlerden meydana gelen açık çevrimli bir zincirdir. Çevrimin bir ucu bir desteğe (temele) bağlanmış, diğer ucu ise serbesttir. Eklemler birbirlerine bağlı uzuvların izafi hareketine izin vermektedirler. Bu hareketlerin çözümü için robot kinematiklerinden yararlanır.

Kinematik kavramı robot biliminin temelini oluşturmaktadır. Robot kol kinematik hesabında iki farklı yol izlenmektedir. Birinci yöntem, sabit

ağırlıktan (en altta yer alan sabitleme kütlesi) başlayarak en uç noktaya ulaşmaya çalışmaktadır. Bu işleme ileri kinematik hesaplama yöntemi adı verilir. İkinci yöntemde ise en uç noktadan başlayarak sabite ulaşmaya çalışılmaktadır. Bu yöntemde ise ters kinematik hesaplama yöntemi adı verilir [1].

Bu çalışmada kullanılan yapay sinir ağının amacı, robot kol ileri kinematikinde kullanılan matematiksel Denavit Hartenberg algoritmasının sadeleştirilmesi ve kullanım kolaylığı getirilmesidir. Denavit Hartenberg algoritmasına dayalı ileri kinematik çözüm algoritması matrisel bir algoritmadır. Burada, giriş ekleme açısı değerlerine bağlı robot elinin koordinat sisteminde ulaşacağı xyz noktası hesaplanmaktadır. Bu algoritma 4x4 matrisel bir algoritmadır ve robot kolun ekleme açısı ile doğru orantıda artar. Eğer bir robot kolunun 5 eklemi var ise bu durumda, içinde açı değişkenleri barındıran beş adet 4x4 lük matrislerin çarpımı söz konusu olacaktır. Matris hesaplama işleminin karmaşıklığı yazılım geliştirme sürecini zorlaştırmakta ve güvenilirliğini azaltmaktadır. Bu eksiklik ysa kullanılarak giderilmiştir.

2. ROBOT KOLU İLERİ KİNEMATİĞİ

Robot kolunun yönlendirilmesinde her eklem hareket noktası başlangıç kabul edilip, hareket sonucunda oluşacak yeni konum en alttan en üsteki ekleme kadar takip edilmektedir. Üç eksenli bu yapıya her eklem için 3x3'lük bir matris tanımlanır. Eksenlere uygulanan dönme hareketini 3x3'lük matrise ilave edilerek 4x4'lük bir matris yapı elde edilir. Elde edilen 4x4'lük bu matrise, transformasyon matrisi adı verilir ve 4-4 matris elemanı daima 1 yapılır. Şekil 1' de gösterilmiştir. İlk olarak Denavit Hartenberg tarafından kullanılmıştır [2].

$$T = \begin{pmatrix} \mathbf{R}_{3 \times 3} & \mathbf{P}_{3 \times 1} \\ \mathbf{F}_{1 \times 3} & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{Dönme matrisi} & \text{Konum Vektörü} \\ \text{Perspektif Dönüşüm} & \text{Ölçek} \end{pmatrix}$$

Şekil-1. Homojen Transformasyon Matrisi

Bir robot kolun kinematik ve dinamik denklemlerini sistematik ve geliştirilmiş bir şekilde çıkarabilmek için, her bir (i) uzvuna cisim koordinat çerçevesi ($\bar{x}_i, \bar{y}_i, \bar{z}_i$) yerleştirilir. Komşu koordinat çerçeveleri arasında Denavit ve Hartenberg [3] tarafından geliştirilen dört parametre yardımı ile ilişki kurulmaktadır (Şekil 2). Bu parametreler aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır.

θ_i : \bar{z}_{i-1} eksenini etrafında \bar{x}_{i-1} ekseninden \bar{x}_i eksenine kadar olan eklem açısı (sağ el kuralı kullanılarak)

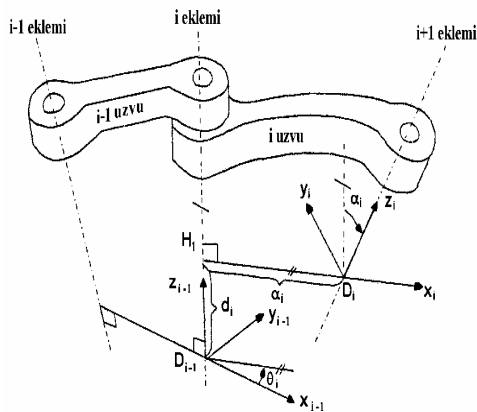
d_i : \bar{z}_{i-1} eksenini boyunca (i-1). koordinat çerçevesinin orijininin \bar{x}_i eksenine kadar olan mesafe

a_i : \bar{x}_i eksenini boyunca \bar{x}_i eksenini ile \bar{z}_{i-1} ekseninin kesişme noktasından (i). koordinat çerçevesinin orijinine kadar olan mesafe

(\bar{z}_{i-1} ve \bar{z}_i eksenleri arasındaki en kısa mesafe)

α_i : \bar{x}_i eksenini etrafında \bar{z}_{i-1} ekseninden \bar{z}_i eksenine kadar olan açı (sağ el kuralı kullanılarak)

Dönel eklem için d_i, a_i, α_i parametreleri sabit, θ_i parametresi değişkendir ve (i) uzvu (i-1) uzvuna göre döndüğünde değişmektedir. Kayar eklem için ise θ_i, a_i, α_i parametreleri sabit, d_i parametresi değişkendir.

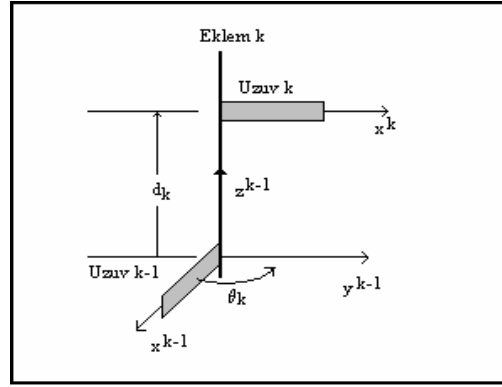


Şekil-2. Denavit-Hartenberg Notasyon [3]

3. KİNEMATİK PARAMETRELER

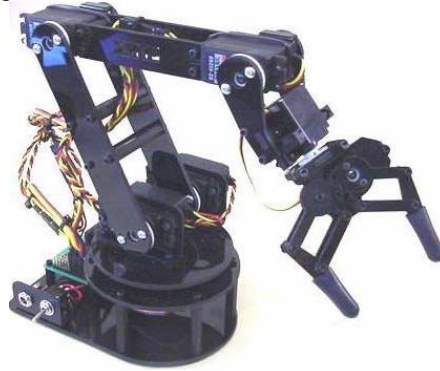
Bitişik eklem çiftleri birbirlerine dönel yada kayar eklemle bağlıdır. Ardışık iki uzvun birbirlerine

bağlı pozisyonları ve açıları uzuvların iki eklem parametresi ile belirlenir.



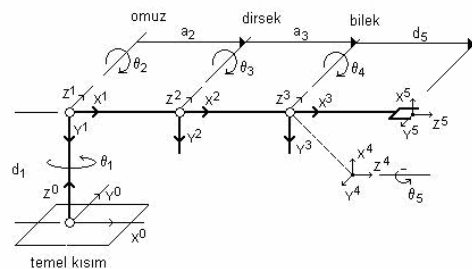
Şekil-3. Eklem açısı θ ve eklem uzunluğu d

Şekil 3'de gösterilen k eklemi, k-1 uzvunu k uzvuna bağlar. K eklemiyle ilgili parametreler, k eklem eksenini ile aynı hizada olan z^{k-1} yönüyle belirlenmektedir. İlk eklem parametresi olan θ_k açısına, eklem açısı denir. Bu açı, x^{k-1} eksenini ile x^k ekseninin paralel olması için z^{k-1} deki dönüş açısıdır. İkinci eklem parametresi olan d_k , eklem mesafesi adı verilir. Bu mesafe, x^{k-1} eksenini ile x^k ekseninin z^{k-1} deki kesişme mesafesidir. Her bir eklem için bu parametrelerden biri değişken iken diğeri sabittir. Değişken eklem parametresi eklem tipine bağlıdır. Bu çalışmada kullanılan beş eklemli mafsallandırılmış (RRR) robot kolun, Şekil 4, değişken parametreleri θ açı değerleridir.



Şekil-4. Beş eklemli mafsallandırılmış robot kolu[4]

Şekil 4'deki robot kola ait Denavit Hartenberg yöntemi kullanılarak, elde edilen robot kol uzuv koordinat diyagramı ve kol matrisi Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil-5. Robot kolu uzuv koordinat diyagramı

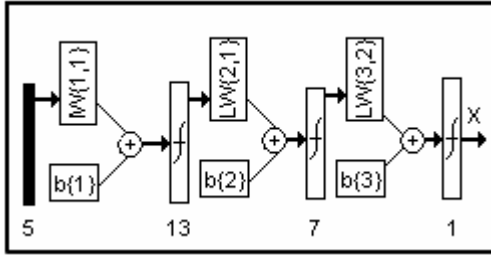
$$T_{\text{parmak temel_eksen}}^{\text{parmak}} = T_0^1 T_1^2 T_2^3 T_3^4 T_4^5 =$$

$$\begin{bmatrix} C_1 & 0 & -S_1 & 0 \\ S_1 & 0 & C_1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_2 & -S_2 & 0 & a_2 C_2 \\ S_2 & C_2 & 0 & a_2 S_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_3 & -S_3 & 0 & a_3 C_3 \\ S_3 & C_3 & 0 & a_3 S_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_4 & 0 & -S_4 & 0 \\ S_4 & 0 & C_4 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_5 & -S_5 & 0 & 0 \\ S_5 & C_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Şekil-6. Beş eklemlili robot koluna ait kol matrisi

4. YSA İLE YAPILAN UYGULAMA

Bu çalışmada, yapay sinir ağı kullanılarak [5] beş eklemlili robot koluna ait ileri kinematik hesaplama yöntemi gerçekleştirilmiştir. Yapay sinir ağının giriş parametreleri eklem açıları olup, elde edilen konum bilgisi olmuştur. Her bir konum bilgisi (x,y,z) için ayrı bir yapay sinir ağı kurulmuştur. Yapay sinir ağlarını eğitmek için geriye yayılma algoritması ve tanjant sigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Performans fonksiyonu olarak da MSE (ortalama karesel hata) seçilmiştir. Uygulamada kullanılacak yapay sinir ağı farklı tabaka ve nöronlar için denenmiştir. Sonuç olarak en iyi tahmini Şekil 7’de görülen ağ mimari sağlamıştır.



Şekil-7. x konumunu veren yapay sinir ağı modeli [6]

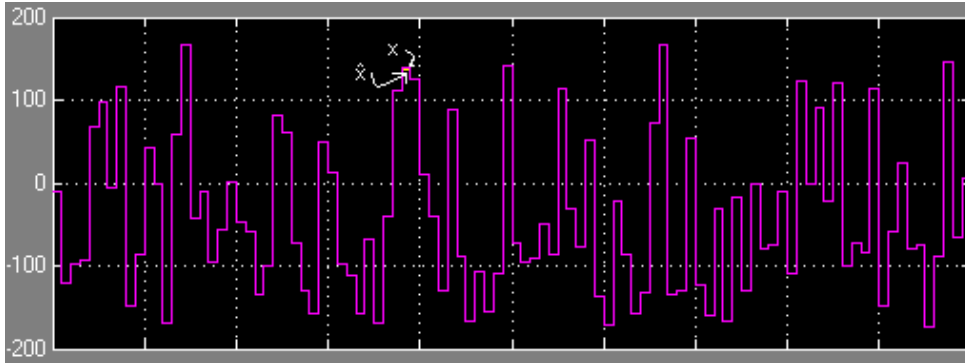
Yapay sinir ağının eğitimi, 10000 adet rasgele (random) data (beş eklem açısı bir data bloğu olmak üzere) blokları ile gerçekleştirilmiştir. Eğitim sonucunda, yapay sinir ağına girilen rasgele beş adet giriş açısına bağlı çıkış \hat{x} konumu ile hesaplanan x konum bilgisi Şekil 8’ deki grafikte yansıtılmıştır. Grafikte farkların daha açık gösterimi için; Şekil 9’ da fark grafiği, Şekil 10’ da fark yüzdelik olarak gösterilmiştir. Grafiklerde de görüldüğü gibi Denavit Hartenberg fomülasyonu ile hesaplanan x konum değeri ile YSA ile hesaplanan \hat{x} değeri arasında % 0,2 yi aşmayan farkların olduğu görülmüştür.

5. SONUÇ

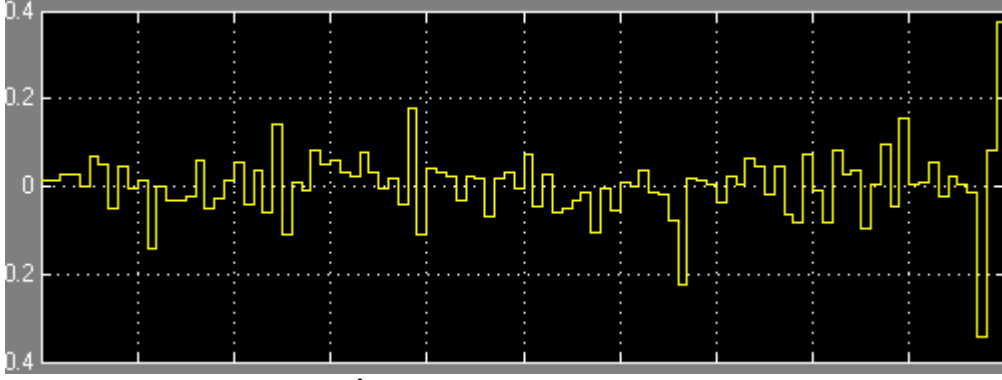
Bu çalışmada, yapay sinir ağının fonksiyon çıkışı 1 olan problemler için daha verimli olduğu görülmüştür. Fonksiyon çıkışının birden fazla olması durumunda yapay sinir ağının eğitimi zorlaşmıştır.

Robot kolu ileri kinematik çözümünde yapay sinir ağının kullanılması, hesap yükünün azalmasına sebep olmaktadır. Algoritma içerisinde trigonometrik hesaplamalar yapılmamasından dolayı giriş datalarına bağlı konum değerlerinin bulunması hızlanmıştır.

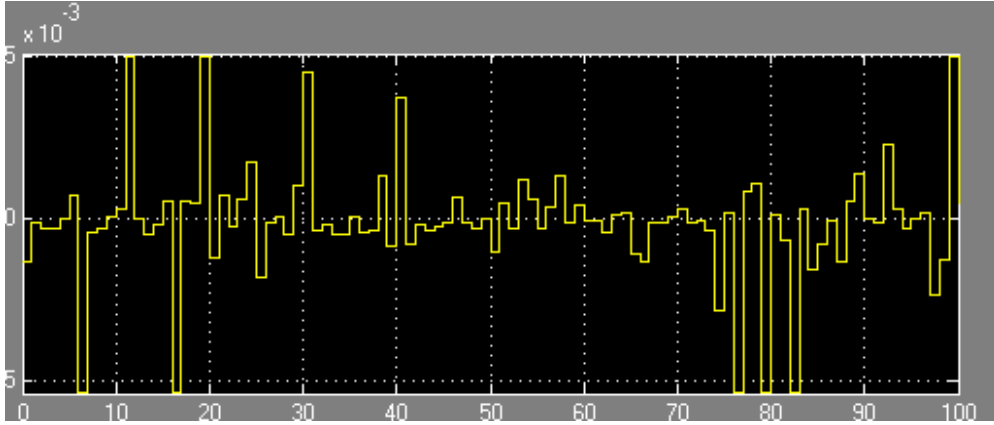
Hafıza ünitelerinin optimum kullanımı gerektiren mikrokontrolör yazılımında, Denavit Hartenberg matrisel metoduna karşın yapay sinir ağı robot kol ileri kinematiğin uygulamasında çok daha az hafıza alanına ihtiyaç duymuştur.



Şekil-8. 100 adet giriş datasına bağlı x ve \hat{x} konumlarına ait değerler



Şekil-9. x ve \hat{x} konumlarına ait değerlerin fark gösterimi



Şekil-10. x ve \hat{x} konumlarına ait değerlerin yüzdelik farkı

Mikrokontrolör yazılım geliştirme aşamasında yapay sinir ağına ait nöron altprogramı gerçekleştirilmesi durumunda, nörona ait katsayıların değişimi ile tüm ağın nöronları kolay bir şekilde kontrol altında tutulabilmiştir. Bu kolaylık, robot koluna ait kinematik çözümlerin daha güvenilir, esnek ve hızlı yazılım geliştirme olanağı sağlamıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Saeed B. Niko. Introduction to Robotics Analysis, Systems, Applications. NJ07458.
- [2] Robert J. Schilling. Fundamentals of Robotics Analysis & Control, ISBN 0-13-344433-3 Printice Hall.
- [3] DENAVIT, J., HARTENBERG, R. S., A Kinematics Notation for Lower-Pair Mechanisms, J. Applied Mechanics, Vol. 22, pp. 215-221, 1955.
- [4] <http://www lynxmotion.com>
- [5] Martin T. Hagan, Howard B. Demuth, Mark Beale. Neural Network Design. PWS Publishing Company.
- [6] Matlab 6p5, nntool gui.