

**T.C.**  
**TRAKYA ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**5 EKSENLİ ROBOT KOLUNUN YÖRÜNGE PLANLAMASI**  
**ve DENEYSEL UYGULAMASI**

**Kenan KILIÇASLAN**

**DOKTORA SEMİNERİ**  
**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**  
**YÖNETİCİ**  
**Yrd.Doç.Dr. Hilmi KUŞÇU**

**EDİRNE 2011**

## ÖZET

Günümüzde bilgisayar sistemlerinin gelişimine paralel olarak bilgisayar destekli tasarım (C.A.D.) ve üretim (C.A.M.) sistemleri de gelişme göstermiştir. Bilgisayar destekli üretim sistemlerinde genellikle bir bilgisayar tarafından denetlenen bir veya birden fazla robot kolu (manipülator) ve bunlara bağlı uç işlevcileri kullanılmaktadır.

Bu çalışmada; beş eksenli bir robot kolunun yörünge planlaması ve deneysel uygulaması ele alınmıştır. Bu amaçla Trakya Üniversitesi'nde bulunan robot kolu üzerinde uygulama yapılmış, bu robot konunun yörüngesi LabView 2010 Student Edition ve Matlab2010a Student Edition yazılımları ile program yapılarak yörünge planlaması yapılmış ve kol çalıştırılmıştır.

Bu yazılım ile robot koluna bir başlangıç ve bir de varış koordinatı üç boyutlu kartezyen koordinat sistemi verilmiş ve uygulama çalıştırılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** manipülator, robot kolu, konum kontrolü, ileri kinematik, ters kinematik

**ABSTRACT**

Parallel to the development of computer systems today computer aided design (CAD) and computer aided manufacturing (CAM) systems have also developed. In Computer Aided Manufacturing systems one or more than manipulators end functions attached to these are generally used.

In this study, a five-axis robot arm trajectory planning and its experimental application have been studied. For this reason, the application has been made on the robot arm at Trakya University, 2010 Student Edition of LabView and the robot trajectory subject software program with Matlab 2010a Student Edition planning has been done and the arm has been operated.

With this software robot and a column from an initial three-dimensional Cartesian coordinate systems are given and the application is operated.

**Keywords:** manipulator, robot arm, location counter, forward kinematics, inverse kinematics.

## ÖNSÖZ

Teknoloji insanların gündelik ve iş hayatındaki gereksinimleri sonucu ortaya çıkmış ve bu gereksinimler sonucu gelişmeye devam etmektedir. Bilgisayarın icadı ile birlikte Bilgisayar Destekli tasarım ve Üretim teknolojisi gelişmiştir.

Robot teknolojisi de sanayi devriminden sonra makineleşmeye dayalı olarak üretim hatlarındaki üretim süresini azaltmak, standart ürünler üretebilmek, insan hayatı için tehlikeli ve bulunması imkânsız yerlerde işlem ve üretim yapabilmek amacıyla geliştirilmiştir. Üretim ortamları öncelikle klasik üretim tezgâhları daha sonra kam kontrollü ve pim kontrollü üretim tezgâhlarından oluşmaktaydı ve üretim hızı ve kalitesi arttırılmaya çalışılmıştır. Robot teknolojisinin gelişmesiyle birlikte üretim ortamları en az insan bağımlı, standart ürünler çıkaran, neredeyse yüzde sıfır hatayla üretim yapabilen, insanoğlunun zorlukla yapabileceği işlerin yapılabildiği üretim bantlarına dönüşmüş ve üretim ortamları bütünüyle insandan bağımsız düşünüp kontrol edilebilen üretim sistemlerine dönüşmeye doğru gitmektedir. Bu nedenle robot teknolojisinin önemi yakın gelecekte daha da artarak devam etmektedir.

Bu çalışma ülkemizdeki robot kolu konum kontrolü üzerine yapılan çalışmalara bir alternatif sunmaktadır.

## TEŞEKKÜR

Bu çalıőmamın baőından sonuna kadar emeği geçen ve beni bu konuya yönlendiren, engin bilgi ve tecrubesini benimle paylaőan saygıdeğer hocam ve danıőmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Müh. Hilmi KUŐŐU ‘ya tüm katkılarından ve hiç eksiltmediği desteğinden dolayı teşekkür ederim. Ayrıca, bu çalışma sayesinde bilgim çok daha arttı.

Bu çalışmada bana yardımcı olan ilköğretim đrencisi oğlum Alper KILIÇASLAN’a da teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>ii</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>iv</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>v</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>vi</b>
<b>SİMGELER</b> .....	<b>x</b>
<b>ŞEKİLLER</b> .....	<b>xi</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. MATERYEL VE METOD</b> .....	<b>2</b>
2.1. İleri Kinematik .....	2
2.1.1. Bir çerçevenin genel tanımı .....	3
2.1.1.1. Konumun tanımı .....	3
2.1.1.2. Yönelimin tanımı .....	4
2.1.2. Kartezyen çerçevesinde dönüşüm .....	6
2.1.2.1. Euler açıları .....	7
2.1.2.2. Roll-Pitch_Yaw açıları .....	10
2.1.2.3. Dönüşüm vektörü ve dönüşüm açısı .....	10
2.1.3. Homojen dönüşümler .....	11
2.1.4. Denavit-Hartenberg metodu .....	13
2.1.4.1. Koordinat sisteminin eklemlere yerleştirilmesi .....	14

2.2. Ters Kinematik.....	16
2.2.1. Ters kinematiğin analitik çözümü.....	16
2.3. LabVIEW ile Programlama.....	18
2.3.1. LabVIEW veri tipleri .....	19
2.3.2. LabVIEW fonksiyonları.....	20
2.3.3. LabVIEW’de diziler.....	21
2.3.4. Döngüler ve yapılar.....	22
2.3.4.1. For Döngüsü.....	22
2.3.4.2. Mantıksal uç olan for döngüsü.....	22
2.3.4.3. While döngüsü .....	22
2.3.4.4. Case yapısı .....	23
2.3.4.5. Shift Register.....	23
2.3.4.6. Feedback Node.....	24
2.3.4.7. MathScript Yapısı .....	24
2.3.4.8. Matlab Script Yapısı .....	25
2.3.5. SubVI (Alt VI belgesi).....	25
2.3.6. LabVIEW Kablo Renkleri .....	26
2.4. Projede Kullanılan Matlab Fonksiyonları .....	27
2.4.1. inv fonksiyonu.....	27
2.4.2. fsolve fonksiyonu .....	27
<b>3. HESAPLAMALAR.....</b>	<b>28</b>

3.1. Çalışmaya Konu Olan Robot Kol .....	28
3.2. Projede Kullanılan Kontrol Yazılımı .....	28
3.3. Robot Kolun İleri ve Ters Kinematik Hesabı .....	29
3.3.1. Robot kolun ileri kinematik hesabı .....	29
3.3.2. Ters Kinematik hesaplama .....	33
3.3.2.1. Matlab ile Örnek uygulama .....	42
<b>4. PROGRAM KODLARI .....</b>	<b>46</b>
4.1. İleri Kinematik İçin Gerekli Matrisleri Oluşturmak .....	46
4.1.1. T01.vi Dosyası .....	46
4.1.2. ilerikinematik.vi Dosyası .....	50
4.2. Ters Kinematik Hesaplama İle İlgili Fonksiyonlar .....	52
4.2.1. terskinematik.vi Fonksiyonu .....	52
4.2.1.1. terskinematik.vi İçindeki Matlab Kodu .....	54
4.2.2. terskinematik2.vi fonksiyonu .....	56
4.2.2.1. terskinematik2.vi Matlab Kodu .....	59
4.2.3. terskinematik3.vi fonksiyonu .....	60
4.2.3.1. terskinematik3.vi içindeki Matlab kodu .....	62
4.2.4. xyzhesap.vi fonksiyonu .....	66
4.3. LabVIEW Programında Kullanılan Diğer Fonksiyonlar .....	68
4.3.1. Analog – Sayısal veri toplama kartı sürücülerini .....	68
4.3.1.1. Veri toplama kartının fonksiyonlarının programa eklenmesi .....	68



4.3.1.2. Veri toplama kartının sürücüsünün fonksiyonları.....	70
4.3.1.2.1. aio3320_initial .....	70
4.3.1.2.2. aio3320_close.....	71
4.3.1.2.3. aio3320_info .....	71
4.3.1.2.4. aio3320_set_point .....	71
4.3.1.2.5. aio3320_read_point.....	72
4.3.1.2.6. aio3320_out_DA_data .....	72
4.4. Ana Program .....	72
4.4.1. İleri Kinematik Hesaplama .....	74
4.4.2. Ters Kinematik Sekmesi .....	77
4.4.2.1. “Ters Kinematik” sekmesindeki blok diyagramları.....	80
4.4.3. Yörünge Sekmesi .....	84
4.4.3.1. Yörünge sekmesi kaba kodu .....	86
4.4.3.2. “Yörünge” sekmesi diyagramları.....	87
<b>5. SONUÇ.....</b>	<b>94</b>

**SİMGELER**

- $\theta_i$  : Eklem açıları  
 $\mathbf{p}$  : Konum vektörü  
 ${}^bT_a$  : a dan b'ye dönüşüm matrisi  
 $a_i$  : Kol uzunluğu  
 $\alpha_i$  : Eksen açısı  
 $d_i$  : Eklem kaçıklığı  
 $R_{Euler}$  : Euler dönüşümü  
 $R_{RPY}$  : Roll- Pitch- Yaw dönüşümü  
 $\alpha, \beta, \gamma$  : Euler ve Roll- Pitch- Yaw açıları  
 $M$  : Ters kinematikte birinci taraf çarpım matrisi  
 $N$  : Ters kinematikte ikinci taraf çarpım matrisi  
 $I$  : Birim matris  
 $R$  : Dönme matrisi  
 $P_x$  : Konum vektörünüm  $x$  eksenini değeri  
 $P_y$  : Konum vektörünüm  $y$  eksenini değeri  
 $P_z$  : Konum vektörünüm  $z$  eksenini değeri

## ŞEKİLLER

Şekil 2.1 İki parçalı mekanizma planı.....	2
Şekil 2.2 Sağ el temel kartezyen sistem.....	3
Şekil 2.3 3D uzayda gövdenin konumu .....	5
Şekil 2.4 $\pm 900$ için temel dönüşüm.....	8
Şekil 2.5 İki temel dönüşümün serisi .....	9
Şekil 2.6 Temel çerçevede P gövde konumu .....	12
Şekil 2.7 Homojen dönüşümlerim serisi .....	13
Şekil 2.8 D-H parametreleri (link I = eksen i, link I+1= eksen i+1).....	14
Şekil 2.9- Puma robotun aynı noktaya 4 ayrı şekilde ulaşması.....	16
Şekil 2.10 Örnek LabVIEW diyagramı.....	19
Şekil 2.11 Örnek while loop ve case yapısı .....	23
Şekil 2.12 Shift register örneği.....	24
Şekil 2.13 Feedback node örneği .....	24
Şekil 2.14 MathScript penceresi .....	25
Şekil 2.15 MATLAB Script penceresi.....	25
Şekil 4.1 T01.vi Blok Diyagramı (Enum değeri T1 için) .....	48
Şekil 4.2 T01.vi Blok Diyagramı (Enum değeri T2 için) .....	49
Şekil 4.3 T01.vi Blok Diyagramı (Enum değeri T3 için) .....	49
Şekil 4.4 T01.vi Blok Diyagramı (Enum değeri T4 ve T5 için) .....	50

Şekil 4.5 İleri kinematik.vi Blok Diyagramı .....	52
Şekil 4.6 Ters kinematik2.vi Blok Diyagramı .....	58
Şekil 4.7 Ters kinematik3.vi Blok Diyagramı .....	62
Şekil 4.8 xyz hesap.vi Blok Diyagramı .....	68
Şekil 4.9 Call Library Node .....	69
Şekil 4.10 Call Library Node .....	70
Şekil 4.11 aio3320_initial .....	71
Şekil 4.12 aio3320_close .....	71
Şekil 4.13 aio3320_info .....	71
Şekil 4.14 aio3320_set_point .....	72
Şekil 4.15 aio3320_read_point .....	72
Şekil 4.16 aio3320_out_DA_data .....	72
Şekil 4.17 “Güç Kaynağını Kapat/Aç” butonu False ise blok diyagramı .....	73
Şekil 4.18 Güç kaynağı durumunu bildiren blok şeması .....	73
Şekil 4.19 Güç kaynağı durumunu bildiren blok şeması .....	74
Şekil 4.20 “İleri Kinematik Hesap” sekmesindeki hesaplama diyagramı .....	76
Şekil 4.21 “İleri Kinematik Hesap” sekmesinde kolun hareket ettirilmesi .....	77
Şekil 4.22 “Ters Kinematik” açıları bulma ve bilinen açıya göre diğer açıları bulmak .....	81
Şekil 4.23 “Ters Kinematik” ters kinematik.vi ile hesaplanan açıları düzeltme .....	82
Şekil 4.24 “Ters Kinematik” sekmesinde bilinen açılara göre bulunan değer göre grafik çizimi .....	82

Şekil 4.25 “Ters Kinematik” sekmesinde hesaplanan açıların “İleri Kinematik Hesap” sekmesine gönderilmesi .....	83
Şekil 4.26 “Ters Kinematik” sekmesinde robot kolunun hareket ettirilmesi.....	84
Şekil 4.27 “Yörünge” sekmesinde başlangıç ve varış açılarının hesabı .....	87
Şekil 4.28 “Yörünge” sekmesinde başlangıç ve varış açılarının düzeltilmesi .....	88
Şekil 4.29 “Yörünge” sekmesinde kullanılan for döngüsü .....	88
Şekil 4.30 “Yörünge” sekmesinde robot kol hareket etme koşulu.....	89
Şekil 4.31 “Yörünge” sekmesinde A ve B pozisyonlarındaki açıların farklarının ve büyük veya küçüklüğünün tespiti .....	89
Şekil 4.32 For döngüsü içinde açıların değişim sayısının tanımlanması .....	90
Şekil 4.33 For döngüsünden, döngü sonlanmadan çıkış .....	91
Şekil 4.34 t1 açısını t1A konumundan t1B konumuna götüren .....	91
Şekil 4.35 t2 açısını t2A konumundan t2B konumuna götüren .....	92
Şekil 4.36 t3 açısını t3A konumundan t3B konumuna götüren .....	92
Şekil 4.37 t4 açısını t4A konumundan t4B konumuna götüren .....	93

## RESİMLER

Resim 2.1 LabVIEW genel görünümü.....	18
Resim 2.2 .....	20
Resim 2.3 Matris fksiyonları.....	21
Resim 2.4 Dizi fksiyonları .....	21
Resim 3.1 Çalışmaya konu olan robot kolu .....	28
Resim 3.2 Dört serbestlik dereceli robot kolunun matematik modeli.....	29
Resim 3.3 .....	43
Resim 3.4 .....	43
Resim 3.5 .....	44
Resim 3.6 .....	45
Resim 4.1 T01.vi Front Panel görünümü .....	46
Resim 4.2 ilerikinematik.vi front panel görünümü .....	51
Resim 4.3terskinematik.vi Blok Diyagramı.....	53
Resim 4.4 terskinematik.vi Blok Diyagramı.....	54
Resim 4.5 terskinematik2.vi Front Panel görünümü.....	57
Resim 4.6 terskinematik3.vi Front Panel görünümü.....	61
Resim 4.7 xyzhesap.vi Front Panel görünümü.....	67
Resim 4.8 Call Library Function, Function sekmesi.....	69
Resim 4.9 Call Library Function, Parameters sekmesi .....	70

Resim 4.10 “İleri Kinematik Hesap” sekmesinin görünümü .....	74
Resim 4.11 “Ters Kinematik” sekmesinin görünümü.....	78
Resim 4.12 “Yörünge” sekmesinin “Front Panel” görünümü .....	86

**TABLULAR**

Tablo 2.1 LabVIEW veri tipleri .....	20
Tablo 2.2 LabVIEW kablo renkleri .....	26
Tablo 4.1 T01.vi terminal uçları ve açıklamaları .....	47
Tablo 4.2 ilerikinematik.vi terminal uçları ve açıklamaları .....	51
Tablo 4.3 terskinematik.vi fonksiyonu giriş çıkış parametreleri.....	53
Tablo 4.4 Matlab script giriş çıkış parametreleri .....	55
Tablo 4.5 terskinematik2.vi fonksiyonu giriş çıkış parametreleri.....	57
Tablo 4.6 Matlab script giriş çıkış parametreleri .....	59
Tablo 4.7 terskinematik3.vi fonksiyonu giriş çıkış parametreleri.....	61
Tablo 4.8 Matlab script giriş çıkış parametreleri .....	62
Tablo 4.9 terskinematik3.vi fonksiyonu giriş çıkış parametreleri.....	67
Tablo 4.10 “İleri Kinematik Hesap” sekmesindeki kontrol ve indikatörler.....	75
Tablo 4.11 “İleri Kinematik Hesap” sekmesindeki kullanılan fonksiyonlar .....	75
Tablo 4.12 “Ters Kinematik” sekmesinde kullanılan fonksiyonlar .....	78
Tablo 4.13 “Ters Kinematik” sekmesindeki kontrol ve indikatörler .....	79
Tablo 4.14 “Yörünge” sekmesinde kullanılan fonksiyonlar .....	85