

Beş Eksenli Bilyalı Vidalı Mil Tahrikli Robot Kolun Tasarımı ve Mach3 Kartıyla Kontrolü

Savaş KOÇ¹ / Cengiz DOĞAN²

¹Harran Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Şanlıurfa, Savaskoc72@harran.edu.tr

²Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Şanlıurfa, cdogan@harran.edu.tr

Geliş Tarihi/Received
23.11.2016

Kabul Tarihi/Accepted
31.12.2016

Yayın Tarihi/Published
06.02.2017

ÖZ

İmalatta robot kullanımı, işçilik ve malzeme giderlerini azaltır, üretimde standardı sağlar ve kaliteyi artırır. Ürün artışı otomasyon ve esnek üretimle gerçekleşebilmektedir. Günümüzde mevcut olan robot uygulamalarında manipülatörlerin hareket ettirilmesinde redüktörlü servo motorlar kullanılmaktadır. Bu çalışmada redüktörlerin yerine itme-çekme kuvvetiyle hareketi sağlayan rulmanlı vidalı miller kullanılmıştır. Rulmanlı vidalı mil sisteminin mevcut yöntemlerden daha avantajlı olması ve kullanılan robot parçalarının hareketlerinden kaynaklı atalet momentlerinin etkisini azaltarak kontrolü kolay bir şekilde sağlar. Mach3 kontrol kartı, robot kolunun bilgisayarla denetlenebilmesi için kullanılmaktadır. Kontrol kartından alınan eksen değerlerle Matlab/Gui ara yüzünde kol uzunluklarını açısal değerlere dönüştüren hesaplamalar yapılmaktadır. Bu açılar ve kol uzunlukları kullanılarak ileri ve ters kinematik hesaplamalar yapılır. Kolun bir noktadan diğer noktaya hareketini sağlayan yörünge belirlenir. Yörüngede hareket etmesi için bulunan değerler kullanılarak G Kodları yazılır ve mach3 programında çalıştırılır.

Anahtar Kelimeler: Robot Tasarımı, Vidalı Mil, Kinematik Hesaplamalar, Mach3 Kontrol Kartı

Designing of Five Axis, Bearing Ball-Screw Driven Robot Arm and Controlling with Mach3 Card

ABSTRACT

That the utilization of robot in manufacturing reduces labor and material expenses providing standard in manufacturing, increases the quality. Increases in products can be achieved with automation and flexible production. Today, in the existing robot applications for moving manipulators servo motors with reducer are being used. In this study, instead of reducers ball-screws providing motion with roller thrust-tractive force have been used. The design provides a more advantageous way that is more economic when compared to the existing one and it will reduce the effect of moment of inertia stemming from moments of robot sections being used. Mach3 breakout board card is used for supervising robot arm with computer. With axis values received from breakout board card, calculations transforming arm length to angular values in the Matlab/Gui interface are done. Using these angles and arm lengths, forward and inverse kinematics calculations are performed. Trajectory which provides movement of arm from one point to another one is determined. G codes are written and operated in mach3 program by using the values for moving in the trajectory.

Key Words: Robot Design, Ball-Screw, Kinematic Calculations, Mach3 Breakout board Card

1. GİRİŞ

Günümüzde, rekabet ortamı, üretilen parçanın kalitesine ve uygulanan imalat yöntemine olan ilgiyi artırır. İmalatta robot kullanımı, işçilik ve malzeme giderlerini azaltır, üretimde standardı sağlar, kaliteyi artırır ve firmanın rakiplerine göre rekabet gücü artar. Robot kullanımı, insanları kaynak ve boyahane gibi zehirleyici etkileri olan, monoton ve ağır hacimli iş ortamlarından kurtarır, birçok işlemlerin dar alanlarda yapılmasına imkân sağlar. Ürün artışı, otomasyon ile anında üretim (just-in-time) ve esnek (flexible) üretim ile gerçekleşebilmektedir. Bugün az çalışarak yüksek bir refah seviyesinde yaşamak sanayi devriminin getirdiği makineleşme ve otomasyon günden güne artan robot kullanımı sayesinde gerçekleşmektedir. Üretimde esneklik ve üretim kapasitesinin yükseltilmesi, insan sağlığını tehdit eden bir tehlikenin bulunması, iş gücünün zor bulunması ve pahalı olması, üretimde bozuk parça sayısının azaltılması ve malzeme tasarrufu gibi nedenler robot kullanımını zorunlu hale getirir (Mühendis Forum, 2007).

Ülkemizde otomotiv sektöründe robotlar yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Robot kullanımı, üretim, yüksek kalite ve kalitenin de devamlılığı gibi avantajlar, imalat sektöründe robot kullanımına geçilmesini zorunlu hale getirmektedir. Robot tasarım ve imalatının ülkemizde yapılmaması, ithal edilen robot fiyatlarının çok yüksek olması, üreticilerin rekabet gücünü büyük oranda düşürmektedir. Ülkemizdeki yerli üreticiler, imal ettikleri ürünleri iç piyasaya satmakta güçlük çekmektedirler. Yurt dışı firmalarla rekabet edemeyen imalat sektörümüz her geçen gün güç kaybetmektedir. Bu durum teknolojinin nimetlerinden faydalanamayan genç nüfusu, yoksulluk ve sefaletle doğru itmektedir. Robot üretiminde kullanılan yabancı kökenli servo motorlar, sürücü üniteleri, bilgisayarlı kumanda sistemleri, sensörler (algılayıcılar) , redüktör (dişli kutusu) ve rulmanlar yurt dışında birçok firma tarafından çok ucuz fiyata temin edilebilmektedir. Yapılan araştırmalar piyasada üretimde kullanılan robotların bir benzerinin ülkemizde tasarlanıp imal edildiği takdirde, ithal robotların 1/50 fiyatı civarı üretilebileceği düşünülmektedir. Bu sayede ülkemizdeki imalat sektörünün birçok alanlarında robot kullanımına geçilmesi ile imalat sektörünün gelişmesi sağlanabilir.

Bilyalı vidalı mil, rulmanlı yatağın mil üzerindeki doğrusal hareketini, mil döndüğünde dönüşü engellenen somunun ileri-geri hareketiyle sağlayan bir makine elemanıdır. Bir hareket iletme elemanı olan vidalı miller, doğrusal hareketi daha az sürtünme ile iletirler. Bilyalı vidalı mil sürücüleri yüksek sertlik ve yüksek hassasiyetlerinden dolayı hareket iletme mekanizması olarak sıkça kullanılır. Makine parçalarının hız ve hassasiyet gereksinimlerindeki artış, kontrol edicinin performansında sürücünün yapısal esneklik etkileri giderek daha önem kazanmaktadır (Tang ve Dong, 2013).

CNC Makineleri ile Operatörler arasındaki iletişimi sağlayan ara yüzleri geliştiren pek çok yazılım, G-Kodunu kullanarak hareket kontrolü sağlar. Mach3 yazılımı MS Windows'ta çalışır ve endüstride sıkça kullanılır. Mach3, miller ve plazma kesiciler gibi kontrol makinelerinin tasarımında kullanılan çok esnek bir programdır. Mach3, tahrik kolu (aktuator) yüzeyleri ile kartezyen yüzey arasında doğrusal bir ilişki sunan kartezyen makinaları kontrol etmek için oluşturulur. Tahrik kolunun hareketi, onu kontrol eden kartezyen yönünde direk olarak değiştirmekle doğru orantılıdır. Mach3'ün en önemli özelliklerinden biri aynı anda 6 eksen kontrol edebilmesidir. Eğer mekanizma her bir motora bağlanmış birer mil ve 6 serbestlik derecesine sahip bir robot kol ise robot kolun dönmesi ve parçanın kartezyen koordinattaki uzunluğunun pozisyonuyla ilgili operatör kinematik hesaplamaları yaptıktan sonra mach3 onu kontrol edebilir (Bomfim vd., 2014).

Endüstriyel robotlar için ilk teorik çalışma 1955 yılında Denavit ve Hartenberg tarafından geliştirilen homojen dönüşüm matrisleri yöntemidir. İlk endüstriyel uygulama ise 1961 yılında kalıp dökme makinesinin bakımında kullanılan Unimate (İlk endüstriyel robot) robotudur. O tarihten günümüze kadar robotlar, parça yükleme boşaltma, parça işleme, kaynak, boyama, montaj, test gibi birçok farklı uygulama alanında kullanılır. (Gonzalez ve Lee, 1987).

Günümüz teknolojisinde robotların önemi giderek artmakta ve birçok endüstriyel, askeri ve diğer uygulamalarda insanın yerini almaktadır. Robotlar, özellikle robot kolları endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Robotların çalışabilmesi için elektronik bir sisteme ihtiyaç vardır. Bu elektronik sistem içerisinde genelde işlemci, algılayıcılar ve sürücü devreleri yer alır (Kumar vd., 2007).

Bir robot manipülatörü, eklemlerle birbirine bağlanan uzuvlardan oluşur. Bu uzuvlar endüstriyel robotlarda genellikle açık kinematik zincir meydana getirirler. Eklemin konumunu belirleyen eklemler parametreleri ile uzuvlar ve uç elemanın konum ve yönlenmesi arasında kesin matematiksel bağlantılar vardır. Bu dönüşüm ve bağlantılar ilk olarak Denavit ve Hartenberg adlı bilim adamları tarafından sistematik bir şekilde ele alınarak çözümlenmiştir (Aydın ve Temeltaş, 2005).

Bir robot, mekanik bölümler, hareketlendiriciler ve kontrol birimlerinden oluşmaktadır. Robotun mekanik bölümleri; yapısal parçalar, güç ileten parçalar (rot, dişliler, vs.), taşıyıcılar ve akuplaj (redüktör motor bağlantısı) bölümleri olarak sayılabilir. Mekanik bölümler, temel yapı parçaları ve servis parçaları olarak ikiye ayrılabilir. El veya diğer gereçler (kaynak, boyama, öğütme, sıkıştırma araçları) mekaniğin

servis parçalarını oluşturur. Modern robotların hareketlendiricileri, çoğunlukla elektrikseldir (DC sürücüler). Ancak, hidrolik ve pnömatikler de yaygın olarak kullanılmaktadır (Tonbul ve Sarıtaş, 2003).

Robot kollarının insan gücü yerine kullanımı, son yıllarda giderek yaygınlaşmaktadır. Kullanım alanının genişlemesi, robot kolunun hareket yeteneğinin gelişimine paraleldir. Bu çalışmada robot kollarının gelişmiş bir sistemi olan PUMA Robot Kol Sistemi insan kolu ile hareket açısından karşılaştırıldı. PUMA Robot Kol Sistemi'ne, insan omuz eklemine benzer hareketler yapabilmesi için yeni bir mafsal eklendi. Bu sayede, öne ve arkaya hareket edebilmesinin yanı sıra, yana doğru açılma hareketi de yapabilen bir omuz tasarlandı (Bozdemir ve Adıgüzel, 1999).

Tek mafsalı esnek robot kolu (ERK) tasarlanmış ve fiziksel olarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen fiziksel sistemin konum ve yörünge kontrolü bulanık mantık kontrolüyle sağlanmıştır. Sistemin kontrolü üç farklı bulanık mantık kullanılarak oluşturulmuştur. 1. bulanık mantık esnek robot kolunun pozisyonu ve pozisyon değişimini, 2. bulanık mantık uç işlevcinin salınım açısı ve değişimini giriş olarak kullanılmıştır. 3. bulanık mantık ise 1. ve 2. bulanık mantık çıkışlarını giriş olarak kabul ederek sisteme kontrol girişini sağlamıştır. Bu bulanık mantık kontrolörleri Dspace 1103 gerçek zamanlı kontrol kartıyla uygulanmıştır. Kolun konum kontrolünde elde edilen kalıcı durum hatası 0.72° 'lik tasarım çözünürlüğü içinde kalmıştır. Aynı bulanık mantık kontrolörüyle kolun yörünge takibinde ise belli bir hata ve faz kayması oluşmuştur (Kizir vd., 2009).

İki mafsalı düzlemsel bir manipülatörün esnekliğinin dairesel bir iş yörüngesi üzerindeki hareketi Bulanık Mantık Denetimi (BMD) kullanılarak incelenmiştir. Yapılan gözlemler ve incelemeler sırasında BMD'nin yapısına genel olarak değinilmiştir. Çift kollu robot sisteminin matematiksel modeli ve bunun kontrolünde kullanılan BMD heuristik (deneysel) algoritmaları MATLAB/SIMULINK ortamında modellenerek gerekli incelemeler yapılmıştır. Tasarlanan BMD'nin performansı aynı ortamda modellenen PI denetleyici performansı ile karşılaştırılarak önerilen BMD denetleyicinin doğruluğu değerlendirilmiştir (Görel ve Altaş, 2011).

Yüksek hassasiyetli montaj uygulamaları için minyatür delta robot tasarımı, en iyileme (kinematik tasarım değişkenlerinin elde edilmesi) yöntemi ve denetimi sunulmaktadır. Bu delta robot modüler bir mikro fabrika kavramının bir parçası olup esas olarak hızlı ve hassas tut-bırak işlemlerini gerçekleştirecek bir manipülatör olarak kullanılır. Robotun önceden belirlenmiş 40 mm^3 kübik bir çalışma uzayı için gerekli olan kinematik parametreler için kinematik analiz gerçekleştirilmiştir. En iyileme sürecinden elde edilen parametreler kullanılarak tasarım süreci gerçekleştirilmiş ve robot üretilmiştir. Elektronik aksam ve denetim algoritmasıyla deneyler gerçekleştirilmiş ve beklenen sonuçlar elde edilmiştir. Tasarımın iyileştirilmesine yönelik yapılacak çalışmalar belirtilmiş ve yeni bir tasarım üzerinde çalışılmaya başlanmıştır (Kunt vd., 2010).

Robotlar, insan hayatını kolaylaştıran, endüstride zaman tasarrufu ve ekonomikliği sağlayan önemli bir sistem haline gelmiştir. Sanatta, sanat ve tasarım eğitiminde, uygulamalı sanatlarda teknoloji, farklı bir bakış açısı kazandırmaktadır. Tasarım süreci tamamlanmış bir görselin üç boyutlu seri üretime geçmeden önce, sayısal ortamdaki çizimde hata payı olasılığı düşünülerek önce örnek modellerinin yapılması gerekir. Ürünün ortaya çıkmasına ve gerekli düzeltmelerin yapılmasına yol gösteren CNC robotları, bu alan üzerinde yürütülen çalışmalara ümit vermektedir. Bu araştırmanın ilk aşamasında seramik ve grafik alanı için iki farklı tasarım, üç boyutlu Rhinoceros(CAD/CAM programı) çizim programı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve görsellerin üretime geçmeden önce üç boyut görüntüsüyle ilk kontrolleri değerlendirilmiştir. İkinci aşamada, CNC robotu aracılığıyla görseller, farklı malzemelere rölyef(kabartma) biçiminde aşındırılmıştır (Aytepe, 2011).

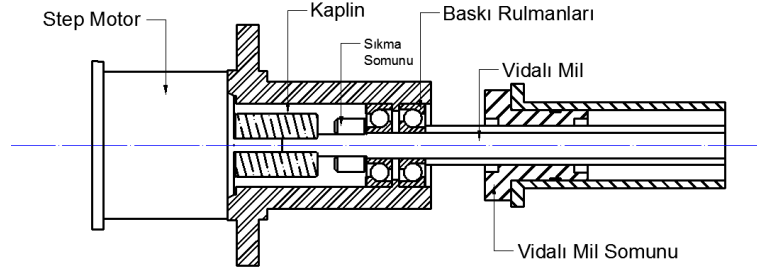
. Bu çalışmanın amacı, mevcut robot tasarımlarından farklı olarak bir tasarım oluşturmak ve robot imalatında maliyeti düşürmektir. Robot kollarda hareketi sağlamak için redüktörlü servo motorlar kullanılır. Bu motorların atalet momentinin etkisini azaltacak şekilde mafsalı hareketlendirmek için rulmanlı vidalı mil sistemlerinden oluşan tahrik kolu kullanılmıştır. Bu tasarımdaki vidalı mil bağlantısı

kolların atalet momentinin etkisini azaltır. Mafsalların ani hareketlerinden doğabilecek davranışların oluşması engellenerek sistemi frenli bir şekilde tutar. Bu tasarım şekillendirildikten sonra SOLIDWORKS programında robot kol tasarımı gerçekleştirilmiştir. MATLAB/GUI programında oluşturulan ara yüz kullanılarak ileri ve ters kinematik hesaplamalar yapılır ve G kodları bir dosyaya yazdırılır. Vidalı mil bağlantısı kolların atalet etkisini engelleyerek sistemi bir dengede tutar.

2. YÖNTEM

2.1. Tahrik Kolunun Tasarımı

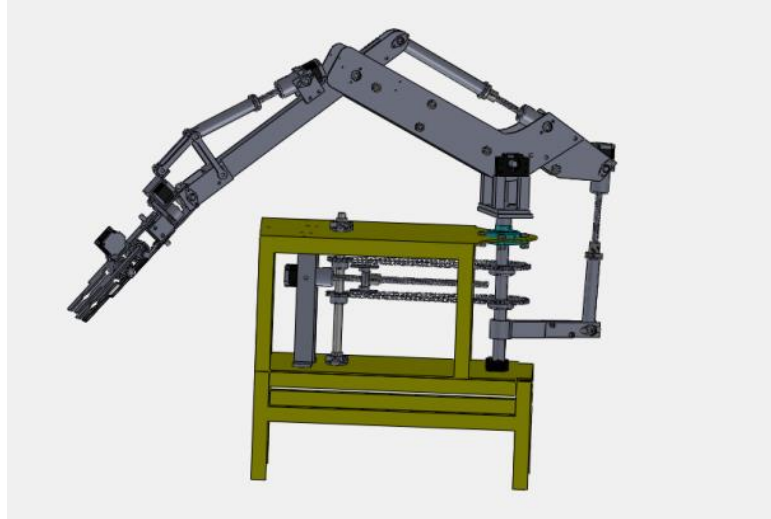
Bir hareket iletme elemanı olan vidalı miller, doğrusal hareketi daha az sürtünme ile iletirler. Hassas bir vida olarak yapılan dişli mil ise helezonik(Sarmal) yapıdaki kanalları sayesinde bilya yataklarının rahat hareketine olanak tanır. Düşük sürtünme özelliği sayesinde yüksek mekanik verim elde edilir.



Şekil 1. Tahrik kolunun vidalı mil ve motor bağlantısı

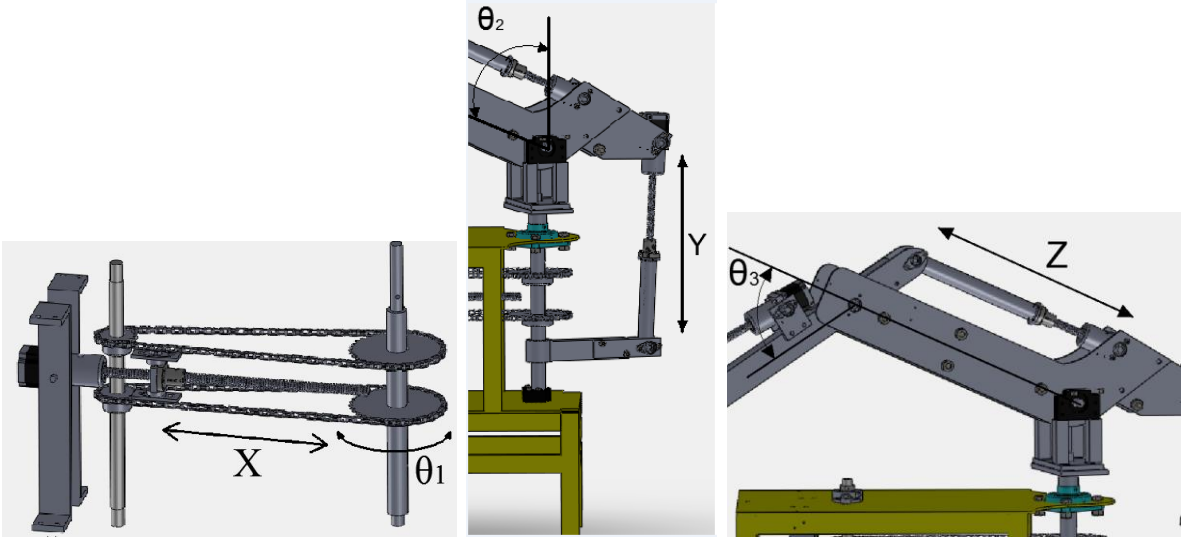
Hareket iletiminde sürtünme etkisini azaltmak için şekil 1. de gösterildiği gibi somun ile mil arasındaki boşlukta rulmanlar yataklanmıştır. Rulmanların yerlerinden çıkmaması için içerden somunla sabitlendirilmiştir. Vidalı mil ve motor milinin bağlantısı için de bir kaplin kullanılmıştır. Vidalı mil somununun hareketi iletmesi için somun üzerine bir boru parçası sabitlendirilmiş ve hareket esnasında somunun dönmesi engellenmiştir. Mil bir yöne hareket ettiğinde somun ileriye doğru itme kuvveti uygular. Diğer yöne döndüğünde ise çekme kuvveti uygular.

2.2. Robot kolun tasarımı



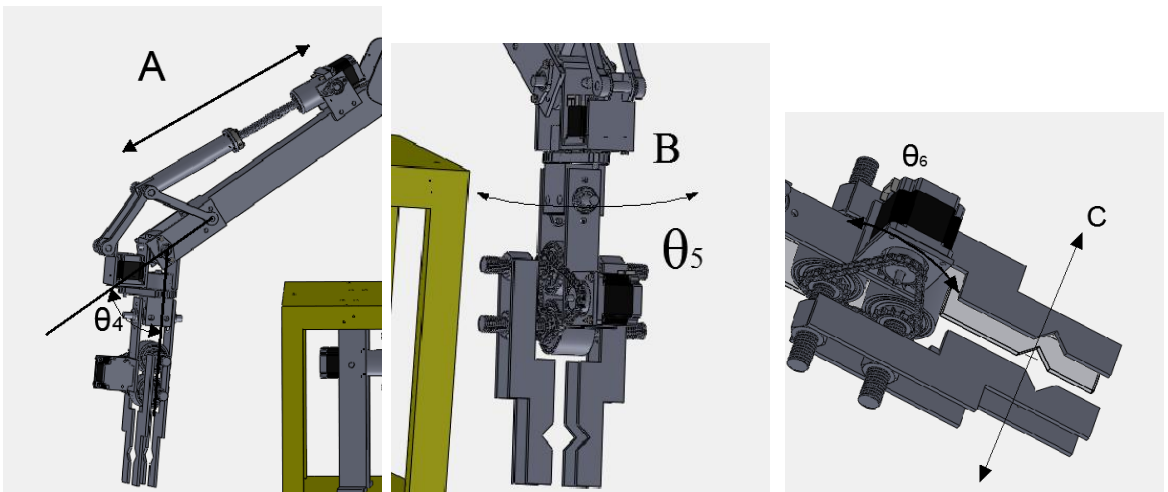
Şekil 2. Robot Kolun Genel Görünümü

Robot kol, beş eksenli kontrol edilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu eksenlerin dört tanesinde vidalı mil kullanılmıştır. 6 adet step motorun kullanıldığı sistemde 6. Motor ise gripper (yakalayıcı) için kullanılmıştır. Şekil 2. de gösterildiği gibi robot kol bir gövde ve gövde üzerine yerleştirilmiş bir koldan oluşmaktadır. Kolun tasarımı SOLIDWORKS programında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. Robot kolda X, Y ve Z eksenlerin Robot Kol üzerinde Gösterimi

Robot kolda ilk eksen olan X eksenini, Şekil 3 de birinci şekilde gösterildiği gibi gövde üzerine yerleştirilmiş iki mil üzerine aynı paralellikte biri küçük diğeri büyük ikişer zincir kasnağından oluşmaktadır. Geriye kalan diğer gövde bir mil üzerinde serbestçe dönebilecek şekilde yataklanmıştır. Paralel iki zincir arasında zincirleri ileri ve geri hareket ettirecek şekilde vidalı mil yerleştirilmiştir. Vidalı mili döndürecek tahrik kolu gövde üzerine yerleştirilmiş ve iki zincir arasında somuna tutturulmuştur. Motor döndüğünde vidalı mil somunu zinciri ileriye doğru hareket ettirerek robot gövdesinin bağlı bulunduğu milin ekseninde dönme hareketi oluşturur. Motorun ters yönde döndürülmesinde ise robot gövdesi diğer yönde dönme hareketi oluşturur. Böylece zincirlerin hareket etmesiyle oluşan uzunluk değerleri hesaplamalar yardımıyla açıya dönüştürülür. Sistemin ilk eksenini olan θ_1 açısı $+90$ ile -90 derece dönebilecek şekilde hareket ettirilebilir. İkinci şekilde motorun hareket etmesiyle birlikte vidalı mil ileri ve geri itme-çekme kuvveti yapar. Hareket durumunda milin üzerinde bulunduğu uzunluk değişimini açıya dönüştürmek için sabit olan açılar hesaplanır. Geriye sadece değişken olan açıyı hesaplamak kalır. Trigonometrik denklemler kullanılarak açı hesaplanır. Milin minimum değeri sabit değer olarak alınır ve Mach3 programındaki Y eksen değerini bu sabit değere ekleyerek bu eksen üzerinde kullanılan tahrik kolunun mil uzunluğu değeri hesaplanır. Sabit olan açıların değerleri hesaplanarak kinematikte kullanılan açı hesaplanır. Üçüncü şekilde ise ilk iki ekseninde hesaplandığı gibi mach3 programındaki Z eksenini sabit minimum değere eklenerek milin uzunluğu bulunur ve trigonometrik denklemler kullanılarak değer açıya dönüştürülür.



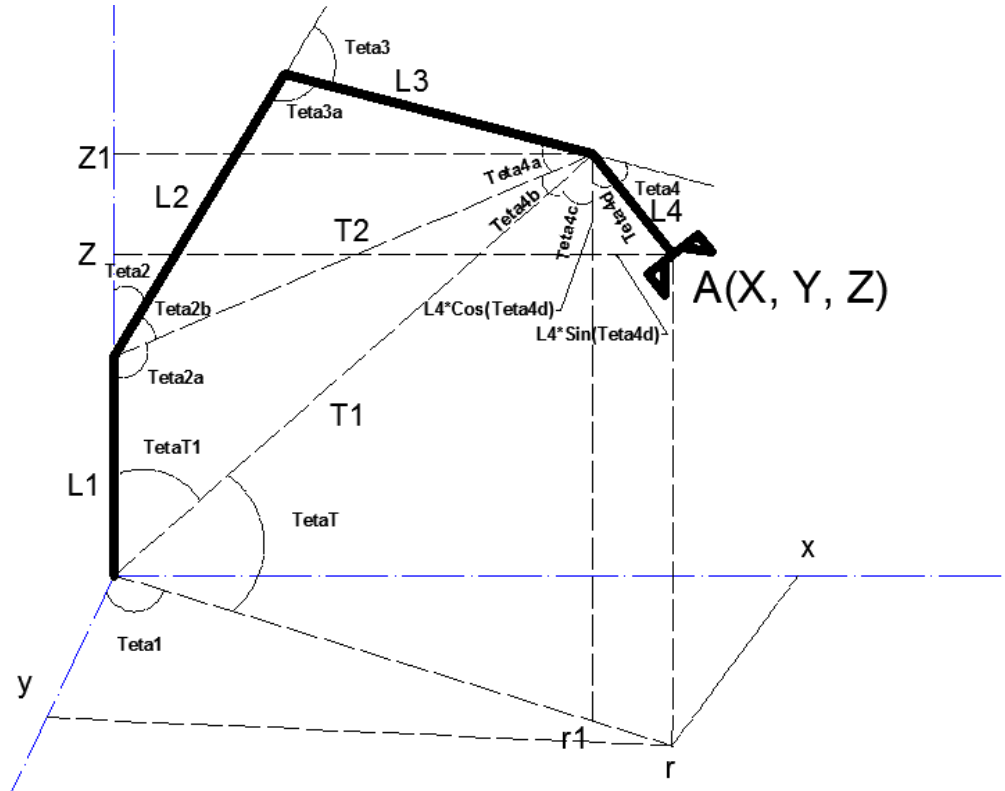
Şekil 4. A, B ve C eksenlerinin Robot Kol Üzerinde Gösterimi

Şekil 4. deki birinci şekilde diğer eksenlerde kullanıldığı gibi mil uzunluğunun toplamı kullanılarak açısal değere dönüştürülür ve çene kısmının hareketi sağlanır. Böylece çene kısmı aşağı – yukarı hareket eder. İkinci şekilde gripper olarak kullanılan çene kısmının kendi eksenini etrafında sağa ve sola dönüşler yapmak için programdaki B eksen değeri seçilir. Bu eksen değeri $+90$ ile -90 arasında değişen bir değer olarak kabul edilir. Son olarak üçüncü şekilde ise programda C eksen değeri için kullanılan motorun hareket etmesiyle çenenin açılıp kapanması sağlanır.

2.3.Kinematik Hesaplamalar

Kinematik kavramı robot biliminin temelini oluşturmaktadır. Robot kol kinematik hesaplamasında temel iki yol izlenmektedir. Birinci yol, en alttaki kütleyi oluşturan sabit ağırlıktan başlayarak en uç noktaya ulaşmayı hedeflemektir. Bu yöntem ileri kinematik hesaplamalar yöntemi denilir. Yöntemde sabit ağırlıktaki kütle referans kabul edilerek en uçtaki parçanın koordinatlarının hesaplama işlemidir. Bu hesaplama işleminde uzuvların uzunlukları ve aralarındaki açılardan yararlanır. İkinci yol ise en uç noktadan başlayarak en alttaki sabit kütleye ulaşmayı hedefler. Bu yöntem ise ters kinematik hesaplamaları denilir. Bu yöntemde ise uç noktasının belirli koordinat değerlerinden yola çıkarak en alttaki sabit kütle değerine kadar olan eksenlere ait açıların hesaplanması işlemidir (Niku, 2004).

Kinematik hesaplamalarda iki hesaplama yöntemi kullanılır. Bunlar Denavit-Hertanberg (D-H Değişkenleri) yöntemi olarak bilinen matematiksel model ve sinüs-kosinüs denklemlerden yararlanılarak hesaplanan geometrik model yöntemleridir. Bu çalışmada geometrik model kullanılarak kinematik hesaplamalar yapılır.



Şekil 5. Kinematik Hesaplamaların yapılması için uzunlukların gösterimi

İleri ve ters kinematik hesaplamalarının yapılabilmesi için robot kola ait uzunluklar ve eksen açılarını gösteren Şekil 5.deki çizimden yararlanır. Uzuvların uzunlukları ve bu pozisyonda bulunduğu andaki eksen açıları kullanılarak trigonometrik denklemler oluşturulur. Bu denklemlerin kullanılmasıyla da kinematik hesaplamalar yapılır.

2.3.1. İleri Kinematik Hesaplamaları

$$\theta_{3a} = 180 - \theta_3 \quad (1)$$

$$T_2 = \sqrt{(L_2^2 + L_3^2 - (2 * L_2 * L_3 * (\cos \theta_{3a})))} \quad (2)$$

$$\theta_{4a} = \cos^{-1} \left(\frac{T_2^2 + L_3^2 - L_2^2}{2 * T_2 * L_3} \right) \quad (3)$$

$$\theta_{2b} = 180 - (\theta_{3a} + \theta_{4a}) \quad (4)$$

$$\theta_{2a} = 180 - (\theta_2 + \theta_{2b}) \quad (5)$$

$$T_1 = \sqrt{(L_1^2 + T_2^2 - (2 * L_1 * T_2 * (\cos \theta_{2a})))} \quad (6)$$

$$\theta_{4b} = \cos^{-1} \left(\frac{T_1^2 + T_2^2 - L_1^2}{2 * T_1 * T_2} \right) \quad (7)$$

$$\theta_{T1} = 180 - (\theta_{2a} + \theta_{4b}) \quad (8)$$

$$\theta_T = 90 - \theta_{T1} \quad (9)$$

$$\theta_{4c} = \theta_{T1} \quad (10)$$

$$r_1 = T_1 * \cos \theta_T \quad (11)$$

$$z_1 = T_1 * \sin \theta_T \quad (12)$$

$$\theta_{4d} = 180 - (\theta_4 + \theta_{4a} + \theta_{4b} + \theta_{4c}) \quad (13)$$

$$z = z_1 - (L_4 * \cos(\theta_{4d})) \quad (14)$$

$$r = r_1 + (L_4 * \sin(\theta_{4d})) \quad (15)$$

$$x = r * \cos \theta_1 \quad (16)$$

$$y = r * \sin \theta_1 \quad (17)$$

A(x,y,z) noktasının koordinatı hesaplanmış olur.

2.3.2. Ters Kinematik Hesaplamaları

Robot kolun A(x,y,z) noktasına yönelmesi için gerekli olan açılarn belirleme işleminde çenenin parçayı almak için yaklaşma açısı kullanıcı tarafından belirlendikten sonra ters kinematik işlemleri yapılır. Yönelme açısı θ_{4d} kullanıcı tarafından kontrol ara yüzünde girilerek işlemler sürdürülür.

$$r = \sqrt{(x^2 + y^2)} \quad (18)$$

$$\theta_1 = \tan\left(\frac{y}{x}\right) \quad (19)$$

$$r_1 = r - (L_4 * \sin(\theta_{4d})) \quad (20)$$

$$z_1 = z + (L_4 * \cos(\theta_{4d})) \quad (21)$$

$$T_1 = \sqrt{(z_1^2 + r_1^2)} \quad (22)$$

$$\theta_T = \tan^{-1}\left(\frac{z_1}{r_1}\right) \quad (23)$$

$$\theta_{T1} = 90 - \theta_T \quad (24)$$

$$\theta_{4c} = \theta_{T1} \quad (25)$$

$$T_2 = \sqrt{(L_1^2 + T_1^2 - (2 * L_1 * T_1 * (\cos \theta_{T1})))} \quad (26)$$

$$\theta_{2a} = \cos^{-1}\left(\frac{L_1^2 + T_2^2 - T_1^2}{2 * L_1 * T_2}\right) \quad (27)$$

$$\theta_{4b} = 180 - (\theta_{2a} + \theta_{T1}) \quad (28)$$

$$\theta_{2b} = \cos^{-1}\left(\frac{L_2^2 + T_2^2 - L_3^2}{2 * L_2 * T_2}\right) \quad (29)$$

$$\theta_2 = 180 - (\theta_{2a} + \theta_{2b}) \quad (30)$$

$$\theta_{3a} = \cos^{-1}\left(\frac{L_2^2 + L_3^2 - T_2^2}{2 * L_2 * L_3}\right) \quad (31)$$

$$\theta_3 = 180 - (\theta_{3a}) \quad (32)$$

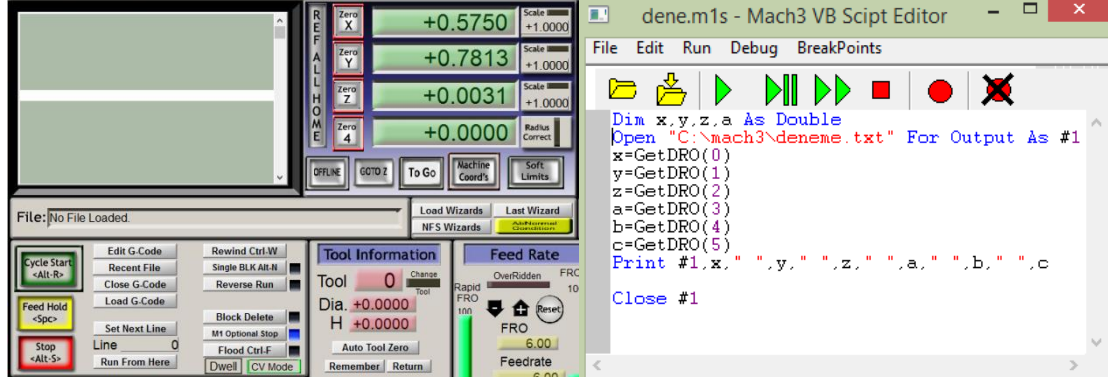
$$\theta_{4a} = 180 - (\theta_{3a} + \theta_{2b}) \quad (33)$$

$$\theta_4 = 180 - (\theta_{4a} + \theta_{4b} + \theta_{4c} + \theta_{4d}) \quad (34)$$

2.4. Matlab/Gui Ara Yüzü Kullanarak Kinematik Hesaplamaların Yapılması

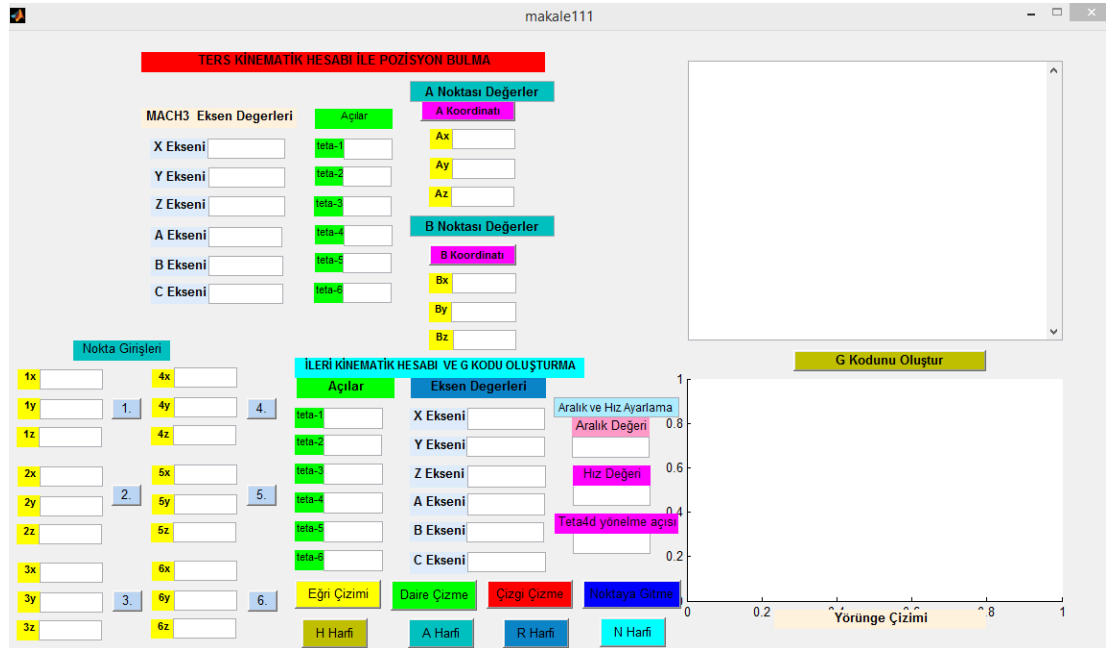
Kinematik hesaplamalarının yapılabilmesi için öncelikle robot kolun gitmesi amaçlanan noktaların koordinatlarının belirlenmesi gerekir. Şekil 6. daki birinci şekilde gösterilen mach3 kontrol programında noktalara geldiğinde eksen değerlerinin okunması gerekir. Bu eksen değerlerinin okunması için kullanılan yöntemlerden biri robot uç işlevcisinin bulunduğu noktadaki değerlerini bilgisayar

tarafından okunması için her bir motora enkoder takılması işlemidir. Bir diğer işlem ise mach3 programının kendi yazılımında bulunan makrolar oluşturularak değerlerin okunması işlemidir. Bu çalışmada eksen değerlerinin okunması için makrolar kullanılır. İkinci şekilde ise mach3 VB Script Editor penceresindeki makroda yazılan komutlar ile eksen değerleri okunur ve bir metin dosyasına yazdırılır. Bu eksen değerlerini matlab/gui ara yüzde yazılan bir komut kullanılarak metin dosyasından okutulur ve kinematik hesaplamalarında kullanılır. Robot kolu, manuel olarak bir joyistik ile hareket ettirilir. Parçanın yakalanması gereken pozisyona getirildiğinde o noktada bulunduğu andaki eksen değerleri makro kullanılarak metin dosyasını yazdırılır. Kinematik hesaplamada kullanılması için bu değerler okunarak ara yüze kaydedilir. Aynı şekilde parçanın bırakılacağı noktaya geldiğinde eksen değerleri dosyaya yazdırılır ve ara yüzde kullanmak üzere kaydedilir.



Şekil 6. Mach3 programında eksen değerlerin görülmesi ve Eksen değerlerinin bir metin dosyasına yazdıran makro (Mach3 Visual Basic Script Editor) dosyası

Matlab/Gui ara yüzünde değerlerin okunması, hesaplanması ve istenilen yerlere yazılması gibi işlemler yapılmaktadır. Bu amaçla program ara yüzünde eksen değerlerinin okunması için girişler oluşturulmuştur. Eksen değerleri programın komut sayfasında kinematik hesaplamalar kullanılarak nokta koordinatları belirlenmektedir. Şekil 7. de görüldüğü gibi ters ve ileri kinematik hesabı işlemleri yapmak, ikiden fazla noktada dolaştığında toplam 6 nokta girişleri oluşturulan girişler belirleme, yörünge çizme ve G kodlarının yazılması gibi işlemler için ara yüz geliştirilmiştir. Ayrıca robot kolunu test edilmesi için de eğri çizme, daire çizme, çizgi çizme, noktaya gitme, H, A, R ve N harflerinin yazılabilmesi gibi uygulamalara uygun formüller ve komutlar oluşturulmuştur.

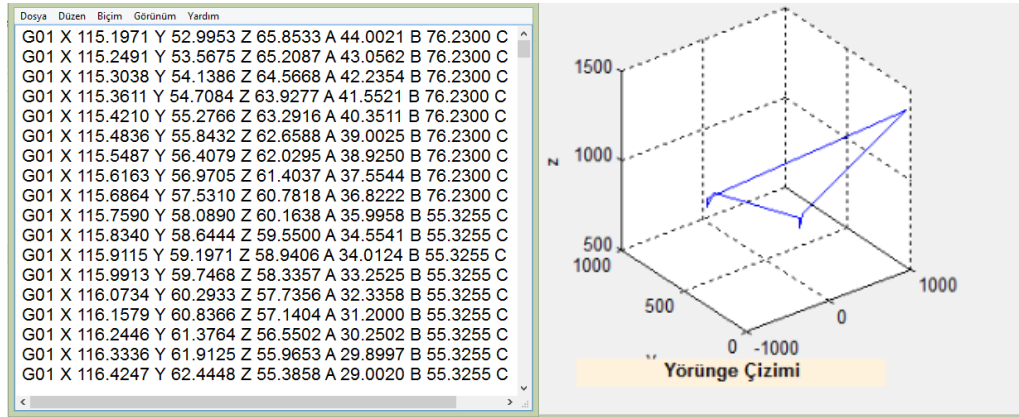


Şekil 7. Kinematik hesaplamaların gerçekleştirildiği ve G Kodlarının yazıldığı Matlab/Gui Ara Yüzü

TERS KİNEMATİK HESABI İLE POZİSYON BULMA			İLERİ KİNEMATİK HESABI VE G KODU OLUŞTURMA			
MACH3 Eksen Değerleri		Açılar	A Noktası Değerleri		Eksen Değerleri	
X Ekseni	175.0875	teta-1	112.5563	A Koordinatı	X Ekseni	
Y Ekseni	10.89688	teta-2	149.1475	AX	655.2511	
Z Ekseni	159.5313	teta-3	167.594	AY	525.3212	
A Ekseni	55	teta-4	148.0402	Az	624.0022	
B Ekseni	40	teta-5	40.0000	B Noktası Değerleri		
C Ekseni	65	teta-6	65.0000	B Koordinatı	Bx	-465.2510
				By	625.3331	
				Bz	501.2541	
					Eğri Çizimi	
					Daire Çizme	
					Çizgi Çizme	
					Noktaya Gitme	
					H Harfi	
					A Harfi	
					R Harfi	
					N Harfi	
					Aralık ve Hız Ayarlama	
					Aralık Değeri	
					Hız Değeri	
					Teta4d yönelme açısı	

Şekil 8. Ters ve ileri kinematik hesaplamaların yapılması için veri girişleri ve sonuçların yazdırılması

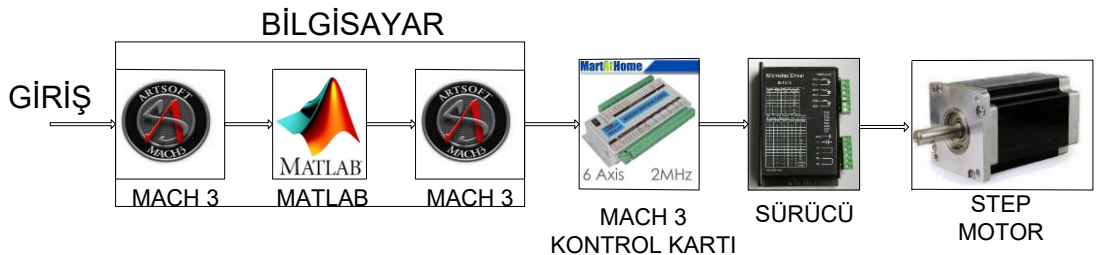
Makroyla yazdırılan eksen değerlerini okumak, bu değerlerin oluşturduğu kollar arasındaki açılar ve noktanın koordinatlarını hesaplamak için Şekil-8. de gösterildiği gibi parçanın alınacağı konum olan A noktasının koordinatı kullanılır. Aynı işlemleri parçanın bırakılacağı nokta olan B noktası koordinatı kullanılır. İkinci şekilde ise ileri kinematik hesaplamaları yapılır ve G kodları hesaplanır. İki nokta arasındaki mesafeyi birden fazla adımla gitmek için aralık değerini, robot kol hızını belirleme ve yönelme açısını girmek için birer giriş yeri oluşturulmuştur. Noktalar arasındaki hız değerleri değişebildiğinden her bir satıra hız değeri girilen hız değerinin katları şeklinde hesaplanır. Doğrusal hareket sağlamak için mach3 programında kullanılan G01 kodu kullanılır. İleri ve ters kinematik hesaplamalar yapıldıktan sonra mach3 programında kullanılabilir bir kod sistemi oluşturulur ve şekil.9 da gösterildiği gibi kodlar ekrana ve bir metin dosyasına yazdırılır. Ayrıca kolun tüm hareket boyunca dolaşacağı yolları gösteren yörünge çizilir.



Şekil 9. Robot kolun gezeceği yörünge ve yörünge boyunca gezmesi için oluşturulan G kodları

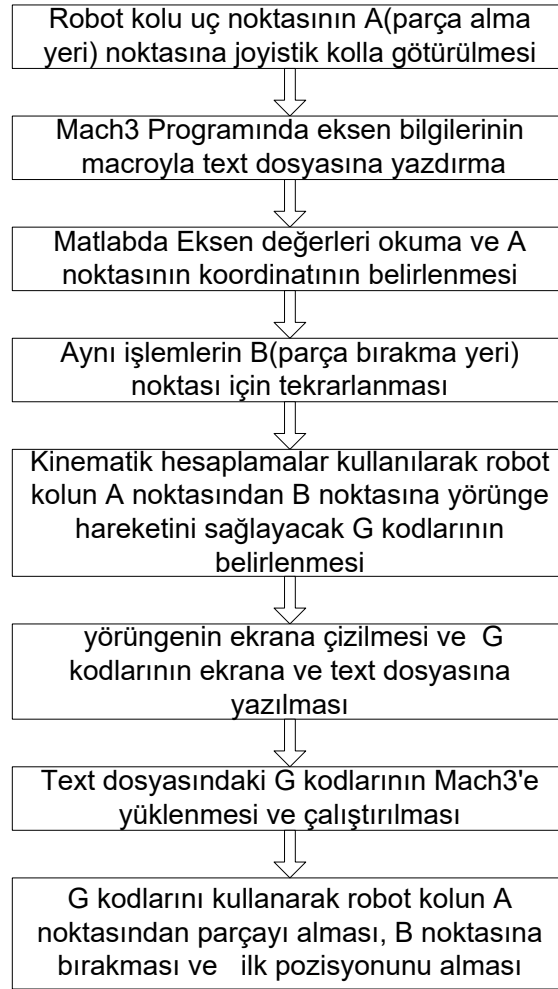
2.5. Robot Kolun İşlem Basamakları ve Akış Diyagramı

Robot kolun kontrol edilmesi için öncelikle yörüngede nasıl hareket edeceğini ve hangi işlem basamaklarından geçeceğini belirlemek gerekir. Bu amaçla Şekil 10. da gösterildiği gibi öncelikle mach3 programı kullanılarak robot kolun hareketi manuel olarak yapılır. Kolun gideceği noktaların koordinatlarının belirlenmesi için her gittiği noktada mach3 programındaki eksen değerleri oluşturulan makroyla bir metin dosyasına yazdırılır. Matlab/Gui ara yüzü kullanılarak değerler okunmakta ve bu değerlerden yola çıkılarak noktaların koordinatları belirlenir. Ara yüzde oluşturulan formüllerden yararlanılarak bir noktadan diğer bir noktaya hareketini belirleyen yörünge oluşturulur.



Şekil 10. Robot kolun kontrolünde işlem basamakları

Robot kolun bir hareketi gerçekleştirmek için yapması gereken işlemlerin sırası şekil 11. de gösterilen akış diyagramında verilmiştir. Bu işlem akışı kullanılarak hareket belirlenir ve yazdırılan G kodları kullanılarak hareket ettirilir. Robot kolun en uç noktası gripper çene uçlarının orta noktasıdır. Çene uçları parçayı kavrayacağı pozisyonuna getirilir. Bu noktadaki eksen değerleri okunur ve programa kaydedilir. Aynı şekilde parçanın bırakılacağı pozisyona getirilir ve eksen değerleri kaydedilir. Parçanın alınması ve bırakılması esnasında çene uçlarının yaklaşma, alma ve bırakma pozisyonlarına göre hareketinin belirlenmesi gerekir. Bunun için parçayı alma noktasına direk yönlendirme yerine yaklaşma pozisyonuna göre hareket yörüngesi belirlenir. Çene uçları parçaya yakın bir noktaya yönlendirilir ve bu noktadan doğrusal hareketle parçayı alma pozisyonuna getirilir. Parçayı bıraktıktan sonra direk ayrılmak yerine parçadan uzaklaşma noktası belirlenir. Parçayı bıraktıktan sonra uzaklaşma noktasına getirilir ve bu noktadan sonra hareket yörüngesini takip eder. Bu hareketleri belirlerken yaklaşma ve uzaklaşma pozisyonları için ortalama 50 mm bir doğrusal yol belirlenir.



Şekil 11. Robot kolun hareketini belirleyen akış diyagramı

3- SONUÇLAR

Günümüzde kullanılan robotlardan farklı olarak bir robot tasarımı yapılmıştır. Tasarımda robotlarda kullanılan redüktörlü motorların yerine itme çekme kuvvetiyle hareketi sağlayan vidalı miller kullanılmıştır. Vidalı millerin verdiği en önemli avantajlardan birisi de döndürme kuvvetini doğrusal kuvvete çevirerek daha fazla güç oluşturmasıdır. Redüktörlerin atalet momentlerinden ötürü oluşan kuvvetlerin etkisini ortadan kaldırmaktadır. Robotun çalışmadığı durumlarda ise iyi bir fren görevi de görmektedir. Esas yükü taşıyan kollarda vidalı millerin kullanılmasıyla robotun taşıdığı yük miktarı artmaktadır. Mevcut robotlarda genellikle kinematik hesaplamalarda Denavit-Hertanberg yöntemi kullanılır. Bu hesaplamada yörünge belirleme ve noktaya yönelme için açı değerlerini bulmada birden fazla çözümler oluşmaktadır. Bunu ortadan kaldırmak için geometrik yöntem kullanılarak tek çözüm kümesi oluşturulur. Yeni bir robotu tasarlama ve diğer işlemlerin yapılması için gereken maliyetin

neredeyse %5'i harcanarak robotun imalatı yapılabileceğini göstermiştir. Bu da robot kollar için harcanan paraların büyük bir kısmı imalat fabrikalarında kalarak avantaj sağlayacaktır.

Kaynakça

- Aydın, S., & Temeltaş, H. (2005). Planning Optimal Trajectories for Mobile Robots Using an Evolutionary Method with Fuzzy Components. *Advances in Natural computation Lecture Notes in Computer Science* , 703-712.
- Aytepe, B. (2011). Bilgisayarlı Nümerik Kontrollü(CNC) Robotların Seramik ve Grafik Eğitiminde Tasarım aracı olarak kullanımı. *Nevşehir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* (Sayı 1), 239-253.
- Balta, C., Öztürk, S., & Bingül, Z. (2011). RPR Robot Mekanizması için İleri Kinematik Hesaplarının Simulink Ortamında Parametrik Olarak Gerçekleşmesi. *Endüstriyel Otomasyonu Sempozyumu ve Sergisi*. Kocaeli.
- Bingül, Z., & Küçük, S. (2005). *Robot Tekniği*. İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Bomfim, M., Gontijo, R., Coelho, F., Lima II, E., & Bracarense, A. (2014). *A Low Cost Methodology Applied to remanufacturing of robotic Manipulators* (s. 1506-1513). Belo Horizonte: Anais do XX Congresso Brasileiro de Automatica.
- Bozdemir, M., & Adıgüzel, E. (1999). Puma Tipi Robot İle İnsan Kolu Haketlerinin Karşılaştırılması, Alternatif Bir Robot Kol Omuz Tasarımı. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* , 1057-1061.
- Çengelci, B., & Çimen, H. (1999). Endüstriyel Robotlar. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümü Yayını* , 18-45.
- Durmuşoğlu, S., & Köker, M. (1999). Türkiye'de Endüstriyel Robot Kullanımı. *Otomasyon Dergisi* , 78-82.
- Gonzalez, R., & Lee, C. (1987). *Robotics; Control, Sensing, Vision and Intelligence*. New York: McGraw-Hill Company.
- Görel, G., & Altaş, İ. (2011). Bulanık Mantık Kontrollü Çift Eklemlerli Robot Kolu. *TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu*. Elazığ: Fırat Üniversitesi.
- Kızır, S., Bingül, Z., & Akyüz, İ. (2009). Tek Eklemlerli Esnek Robot Kolunun Modellenmesi, Tasarımı ve Bulanık Mantık ile Kontrolü. *Otomatik Kontrol Ulusal Konferansı(TOK09)*. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Koyuncu, A., & Uyar, E. (2008). İki Eksenli Elektro-pnömatik Manipülatör Tasarımı, İmalatı ve Kontrolü. *V.Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi*, (s. 409-419). İzmir.
- Kumar, S., Shuklay, A., Duttaz, A., & Beherax, L. (2007). Technique for Visual Motor Coordination of a 6 dof Robot Manipulators. *Intelligent Control Part of IEEE Multi Conference on Systems and Control* , 544-549.
- Kunt, E., Khalil, I., Naskali, A., Fidan, K., & Sabanovic, A. (2010). Yüksek Hassasiyetli Montaj İşlemleri İçin Minyatür Delta Robot Tasarımı, En İyilemesi ve Denetimi. *otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı(TOK'2010)*. Kocaeli: Kocaeli Üniversitesi.
- Mühendis Forum.* (2007). Ekim,Kasım 2016 tarihinde [www.MuhenisForum.net: http://www.muhenisforum.net/index.php?topic=164.0](http://www.muhenisforum.net/index.php?topic=164.0) adresinden alındı
- Niku, S. (2004). *Introduction to Robotics Analysis, Systems and Applications* . publishing House of Electrical Industry.
- Özdemir, D., & Köse, C. (2009). Gezgin Robotların Çiftliklerde Ürün Yeri Belirleme ve Taşıma İşlemlerinde Kullanımı. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* , Cilt 1 (Sayı 1).
- Piltan, F., Yarmahmoudi, M., Shamsodini, M., Mazlomian, E., & Hosainpour, A. (2012). PUMA-560 Robot Manipulator Position Computed Torque Control Methods Using MATLAB/SIMULINK and Their Integration into Graduate Nonlinear Control and MATLAB Courses. *International Journal of Robotics and Automation (IJRA)* , 167-191.
- Poignet, P., & Gautier, M. (2000). Nonlinear Model Predictive Control of a Robot Manipulator. *Advanced Motion Control* .
- Tang, W. C., & Dong, L. (2013). Hybrid modeling and analysis of structural dynamic of a ball screw feed drive system. *MECHANICA* , 316-323.
- Tian, L., & Collins, C. (2004). An Effective Robot Trajectory Planning Method Using a Genetic Algorithm. *Mechatronics* , 455-470.
- Tonbul, T., & Sarıtaş, M. (2003). Beş Eksenli bir Edubot Robot Kolunda Ters Kinematik Hesaplamalar ve Yörünge Planlaması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi* , 1-18.