

Scara Tipi Endüstriyel Robot Hareketlerinin Bilgisayar Destekli Programlarla Kontrolü

Necdet Geren
Yardımcı Doçent

Mustafa Ertürk
Araştırma Görevlisi

Makina Mühendisliği Bölümü
Çukurova Üniversitesi
Balçalı, ADANA

Bu çalışmada bilgisayar destekli tasarım sisteminde çizilen iki boyutlu yörüngeler robot verilerine dönüştürülerek noktadan noktaya koordinasyonsuz hareket yapan SCARA tipi Serpent Montaj Robotuna yörünge izleme özelliği kazandırılmıştır. Bu amaçla, AUTOCAD R.12 programında planlanan yörüngelerin izlenmesi için robotun kontrol programlama dili olan WALLI 2.5'u destekleyen TURBO PASCAL 6.0'da hazırlanan yardımcı yazılımlar geliştirilmiştir. Robotun programlama dili olan WALLI 2.5 ile beraber çalışan bu yardımcı programlar daha karmaşık işlerin çok sayıda verisinin hızlı bir şekilde oluşturulmasını ve robota transferini amaçlamaktadır. Sonuç olarak yapılan çalışma ile yörünge izleme özelliği olmayan Serpent robotu planlanan yörüngeleri kontrol çözümlülüğü ve tekrar edebilirliği elverdiği ölçüde izleyebilecek ve WALLI 2.5 ile yapılan al ve yerleştir (pick and place) işlerinden daha karmaşık olan nokta kaynağı, lazer ve su jeti ile kesme gibi uygulamaları yapabilecek düzeye getirilmiştir.

GİRİŞ

Geliştirilen robotlarla birlikte üretici firmalar değişik özelliklerde robot programlama teknikleri de geliştirmekte ve değişik yazılımlar ortaya çıkartmaktadır. Robot programlama dilleri robotların kullanıma amacına, yapabileceği işlerin karmaşıklığına, bu işlerin çeşidine ve üretici firmaya bağlı olarak değişik özellikler göstermektedir. Ancak iyi bir robot yazılımının; kullanım kolaylığı, kullanıcının lisanında ya da geçerli bir lisanda kullanıma cevap vermesi, geliştirmeye uygun olması, kullanıcının özel koordinatları girmesine gerek kalmadan gideceği noktayı robota tanıtabilmesi, başka programlarla veri alış verişinde bulunabilmesi ve diğer sistemlerle iletişim kurabilmesi gibi özellikleri olmalıdır.

"SCARA" kelimesinin İngilizce açılımı "Selectively Compliant Articulated Robot Arm"dır, bu ise, dilimize "Seçici serbest esnemeli robot kolu" şeklinde çevrilebilir. Becker ve Gay [3] yaptıkları çalışmada SCARA tipi robotların genel özellikleri ile birlikte Serpent robot teknolojisini açıklamışlardır. Serpent robotlarda kullanılan servo kontrollü motorlar sürekli en yüksek hızda çalışmakta ve robota koordinesiz hareket yaptırılmaktadır. Robotun programlama dili WALLI 2.5 tarafından motor hızları kontrol edilememektedir.

Serpent robotu al ve yerleştir işlerinde oldukça başarılıdır ve programlama dili WALLI 2.5 bu amaca yöneliktir.

Robotlar yazılımlarının geliştirilmesi ile başka amaçlar içinde kullanılabilir. Şişman [9], sunduğu çalışmada FANUC ARC Mate Sr ark kaynak robotunu, istifleme robotu olarak kullanmak üzere bir yazılım geliştirmiştir. Çalışmanın sonuçlarından biri olarak, başka amaçlı bir endüstriyel robotun sunulan yazılım sayesinde istifleme robotu olarak da kullanılabilirliği gösterilmiştir.

Bugüne kadar bilgisayar destekli tasarım (CAD) sistemlerinin bilgisayar destekli üretim (CAM) sistemleri ile entegrasyonunu konu alan birçok çalışma yapılmıştır. Yu ve ark. [10] tarafından yapılan çalışmada serbest formlu yüzey verileri CAD sisteminde tanımlanan kesici yolu NC kodlarına çevrilmektedir. Arslan [2] tarafından yapılan çalışmada ise siyah/beyaz CCD kamera ve görüntüleme kartı kullanılarak yakalanan makina elemanlarının iki boyutlu resmi, DXF dosya formatına, C++ dilinde yazılan bir programla dönüştürülerek, bilgisayar grafik yazılım paketlerinde görüntülenebilir bir teknik resim olarak elde edilmektedir. Ünver [8]'in çalışmasında AutoCAD R10 programında iki boyutlu çizimleri DXF formatına dönüştürerek parça programı optimizasyonu

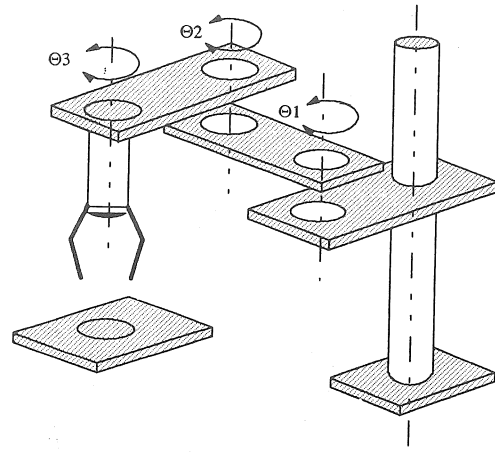
konulu çalışmasında kullanmıştır. Arslan [2], yaptığı çalışmada CNC programı için gerekli olan verileri AutoCAD çizim programından çekerek imalatta kullanılacak olan CNC tezgahına uygun parça programı komutları oluşturan bir yazılım geliştirmiştir.

Yapılan bu çalışmada AutoCAD R.12 programında doğru, daire ve yay kullanarak oluşturulan iki boyutlu çizimler DXF formatına dönüştürülmektedir. DXF formatlı dosyalar Turbo Pascal 6.0 dilinde geliştirilen yazılımla okutularak yörüngeyi oluşturan çizim öğeleri robot veri dosyalarının oluşturulması için kullanılmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, bilgisayar destekli tasarım sisteminde elde edilen yörüngelerin robot verilerine dönüştürülerek Serpent robot tarafından izlenmesinin sağlanmasıdır. Bu kapsamda hedeflenen amaca uygun olmayan, robota sadece al ve yerleştir işlerini yaptırabilen WALLI 2.5 programlama dilini destekleyen yazılımların geliştirilmesi gerekmektedir. WALLI 2.5 programlama dilinin yapılmak istenen iş için tek başına yetersizliğinin başlıca nedeni bilgisayar destekli tasarım sistemlerinden veri okuyabilecek düzeyde olmaması ve robot pozisyonunun kartezyen koordinat sisteminde tanımlanmamasıdır. Ayrıca WALLI 2.5 programlama dili gidilecek her pozisyonu robota tek tek tanıtılmasını gerektirmektedir. Oysa yörünge izleme uygulamalarında robota pozisyonların tek tek tanıtımı değil birbirine yakın bir çok noktadan oluşan yörünge hesaplaması yoluyla elde edilmesi esastır. Bu gereksinim kapsamında geliştirilen programlar AutoCAD dosyalarının okunması, okunan yörünge ara noktalarının kartezyen koordinat sisteminde enterepolle edilerek hesaplanması, hesaplar sonucu bulunan robot kol açılarının robot verilerine dönüştürülmesi ve bu verilerin WALLI 2.5 ortamına transferi aşamalarını içermektedir. Yapılan yörünge izleme uygulamaları ile sunulan yaklaşımın geçerliliği gösterilmiştir. Bu çalışma esas olarak AutoCAD yazılımında çizilen değişik geometriler için veri dosyaları oluşturularak robot programlama zamanını azaltmak ve sistem esnekliğini arttırmak amacıyla hazırlanmıştır. Böylece lazer ya da su jeti ile kesme gibi çeşitli amaçlar için AutoCAD'de çizilen iki boyutlu çizimler robot programlama dili WALLI 2.5'a dönüştürülerek koordinatsız hareket yeteneğine sahip olan Serpent robota yörünge izleme özelliği kazandırılmıştır.

MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada Scara tipi Serpent I robotu kullanılmıştır (Şekil 1). Robot Walli 2.5 programlama dili ile kontrol edilmektedir. Pozisyon veri dosyaları, pozisyonların teker teker robota tanıtılması (öğretilmesi) ve kaydedilmesi yoluyla oluşturulmaktadır. Serpent I robotu için üretici firmanın verdiği özellikler Çizelge 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Serpent Robot Anatomisi.

Çizelge 1. Serpent I Robot Kolunun Özellikleri [5].

Serbestlik derecesi (x, y, z, θ)	: 4
Birinci kol uzunluğu	: 250 mm
İkinci kol uzunluğu	: 150 mm
θ ₁ eksenli (omuz hareketi)	: 200°
θ ₂ eksenli (dirsek hareketi)	: 250°
Döndürme eksenli (bilek hareketi)	: 450°
Z eksenli (yukarı-aşağı)	: 75 mm
Kontrol sistemi	: 12 bit
Toplam çözünürlük	: 0.3728 mm
Tekrar edebilirlik	: 1.0 mm
Maksimum uç hızı	: 550 mm/s
Taşıma kapasitesi	: 2.0 kg

Sunulan yaklaşımda istenen hedeflere ulaşmak için aşağıdaki aşamalardan oluşan çalışma metodu izlenmiştir.

1. AutoCAD çizimlerinin yapılması ve DXF formatına dönüştürülmesi.
2. Çizim elemanlarının yörünge denklemi olarak tanımlanması (doğru, çember ve yay denklemleri).
3. Yörüngelerin ara noktalarının kartezyen koordinat sisteminde hesabı.
4. Ara noktaların robot kol açısı olarak ifadesi için ters dönüşüm formülasyonu.
5. Kol açılarının robot verilerine dönüştürülmesi için formülasyon.
6. Oluşturulan algoritmayla Turbo Pascal programlama dilinde yazılım oluşturulması.
7. Robot için oluşturulan pozisyon veri dosyalarının WALLI 2.5'a transferi.
8. Yörünge izleme uygulamaları.

DXF Formathlı Dosyaların Yörünge Denklemlerine Dönüştürülmesi

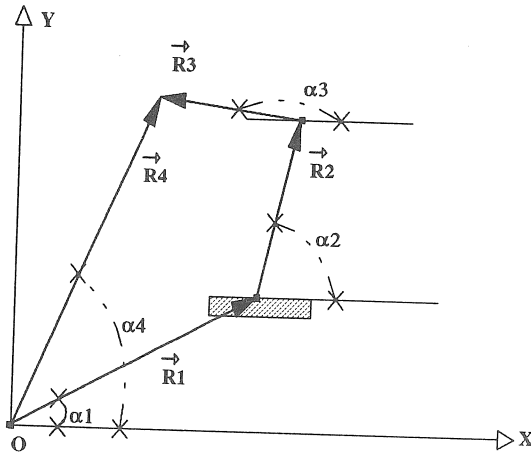
AutoCAD'de oluşturulan iki boyutlu çizimler, temel çizim elemanları olan doğru (line), yay (arc) ve çemberden (circle) oluşan iki boyutlu resimlerdir.

Yörünge planları AutoCAD programında DXF formatlı hale getirilir. DXF formatlı dosyalar temel çizim elemanlarına ait geometrik bilgileri içerir. TURBO PASCAL 6.0'da hazırlanan programlar bu bilgileri okuyabilmektedir. Geometrik bilgiler çizim elemanı ve bulunduğu konumu tanımlar. Çizilen iki boyutlu çizimleri istenilen bir sabit açısız ya da doğrusal artışla eşit uzaklıkta noktalara bölerek bu noktaların konumlarının belirlenmesi için çizim elemanlarının yörünge denklemleri ile ifade edilmesi gerekir. Yörünge denklemleri doğru, yay ve çember denklemlerinden oluşur [1].

Ters Dönüşüm Formülasyonu

Kartezyen koordinat sisteminde hesaplanan konum verileri, robot kollarının açısız değerleri ile ilişkili mafsız koordinat sistemine dönüştürülmelidir. Ters dönüşüm formülasyonu ile ilgili benzer çalışmalar Groover ve ark. [6] tarafından yapılmıştır.

Şekil 2'de problemin vektörel tanımlaması görülmektedir. R_1 vektörünün doğrultusu ve büyüklüğü bilinmektedir. R_2 ve R_3 vektörlerinin büyüklüğü, robotun kol uzunluklarının bilinmesi nedeniyle biliniyor. R_4 vektörü ise robot kolunun uç noktasının olmasını istediğimiz noktayı gösteren $P_K(0, 0)$ noktasına göre konum vektörüdür. Bu vektör yörünge denklemlerinden bulunacak noktalardan oluşturulacağından doğrultusu ve büyüklüğü hesaplanabilecektir. R_4 kartezyen koordinat sisteminde orijinden doğru ya da çember denklemleri ile elde edilecek $P_K = (x, y)$ olarak belirlenen yörünge üzerindeki noktaya çizilen vektördür. Şekil 2'deki vektör poligonunun çözümü ile robot kollarının $P_K = (x, y)$ konumunda yaptıkları açılar elde edilecektir. Kolların yaptıkları açılar mafsız koordinat sisteminde $P_K = (\alpha_1, \alpha_2)$ olarak ifade edilebilir. Bu açıların robot verilerine dönüştürülmesi ile robot koordinat sisteminde $P_R = (\Theta_1, \Theta_2)$ olarak elde edilecektir.



Şekil 2. Konumların Vektörel Tanımlaması.

Oluşturulan vektör poligonunun denklemi $R_4 = R_1 + R_2 + R_3$ şeklinde ifade edilir [7]. Bu denklemde R_2 ve R_3 vektörlerinin doğrultusu aranmaktadır. Kartezyen koordinat sisteminde doğru, çember ve yay denklemleri enterpolasyon fonksiyonu olarak kullanılır. Bu denklemlerden yörünge üzerindeki ara noktalar hesaplanır. Bulunan pozisyonların robot kol açılarına dönüştürülmesi için Eşitlik 1 ve 2 elde edilmiştir [4].

$$\alpha_2 = 2 \arctan \left(\frac{-k_3 \pm \sqrt{(k_3^2 + k_2^2 - k_1^2)}}{k_1 - k_2} \right) \quad (1)$$

$$\alpha_3 = 2 \arctan \left(\frac{-k_6 \pm \sqrt{(k_6^2 + k_5^2 - k_4^2)}}{k_4 - k_5} \right) \quad (2)$$

Burada,

$$k_1 = \left[R_1^2 + R_2^2 + R_4^2 - R_3^2 - 2R_1R_4 \cos(\alpha_1 - \alpha_4) \right],$$

$$k_2 = \left[2R_1R_4 \cos\alpha_1 - 2R_2R_4 \cos\alpha_4 \right],$$

$$k_3 = \left[2R_1R_2 \sin\alpha_1 - 2R_2R_4 \sin\alpha_4 \right],$$

$$k_4 = \left[R_1^2 + R_3^2 + R_4^2 - R_2^2 - 2R_1R_4 \cos(\alpha_1 - \alpha_4) \right],$$

$$k_5 = \left[2R_1R_3 \cos\alpha_1 - 2R_3R_4 \cos\alpha_4 \right],$$

$$k_6 = \left[2R_1R_2 \sin\alpha_1 - 2R_3R_4 \sin\alpha_4 \right]$$

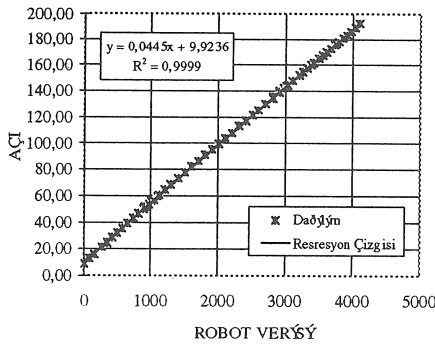
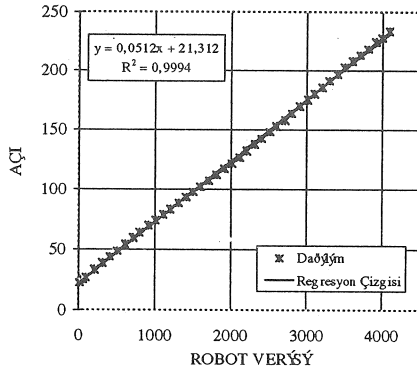
tanımları yapılarak Eşitlik 1 ve 2 ile dönüşüm denklemleri oluşturulur. Eşitlik 1 ve 2 seçilen koordinat sisteminde yörünge denklemlerinden bulunacak noktalar için robot kollarının açılarını veren denklemlerdir. Bulunan α_2 ve α_3 değerleri, robot kola çıları olan Θ_1 ve Θ_2 değerlerine dönüştürülür ve robot veri sistemine göre ifade edilir.

Bu aşamada bulunan değerler kolların yaptıkları derece cinsinden açılardır ve robotun pozisyonunu tanımlamaktadır. Ancak Walli 2.5 için kolların derece cinsinden yaptıkları açılarının bir anlamı yoktur. Gerçekte Θ_1 'in yaptığı $0 - 200^\circ$ arasındaki açısal değişim, robotun kontrol sisteminde $0 - 4095$ nümerik değerleri arasında tanımlanmıştır. Aynı şekilde, Θ_2 'nin yaptığı $0 - 250^\circ$ arasındaki açısal değişim, robot kontrol sistemi tarafından yine $0 - 4095$ nümerik değerleri arasında ifade edilmiştir. Sonuçta bulunan derece cinsinden açısal değerlerin robot kontrol sisteminin tanıyabileceği nümerik değerlere dönüştürülmesi gerekmektedir. Robot verilerine dönüşüm için deneysel bir yöntem benimsenmiştir. Yapılan deneylerde robotun bulunduğu

pozisyonu kağıt üzerine işaretlemesi sağlanarak, işaretlenen noktanın okunan robot verilerine karşılık hangi kol açılarına sahip olduğu bir açı ölçerle ölçülerek bulunmuştur. Robot verilerine karşılık gelen kol açılarının dağılım grafiği çizilerek regresyon analizi yapılmıştır. Regresyon analizinden bulunan Eşitlik 3 ve 4 robotun kol açılarının robot verilerine dönüştürülmesi için önerilmiştir.

$$\alpha_3 = 0.0512 * \Theta_2 + 21.312 \quad (3)$$

$$\alpha_2 = 0.0445 * \Theta_1 + 9.9536 \quad (4)$$



Şekil 3. Robot Verilerine Dönüşüm için Regresyon Analizi.

Yardımcı Veri Hazırlama Programları

Yörünge denklemlerinden elde edilen yörünge üzerindeki noktaların konumlarından ters dönüşüm ile robot kol açıları hesaplanmaktadır. Robot kol açıları Eşitlik 3 ve 4 kullanılarak robot verilerine dönüştürülmektedir. Yörünge üzerindeki nokta sayısı seçilen açısız ya da doğrusal artış miktarlarına bağlı olarak değişmektedir. TURBO PASCAL 6.0 programlama ortamında geliştirilen SERP1.EXE yazılımı DXF formatlı dosyaların okunmasından bunların robot verisi

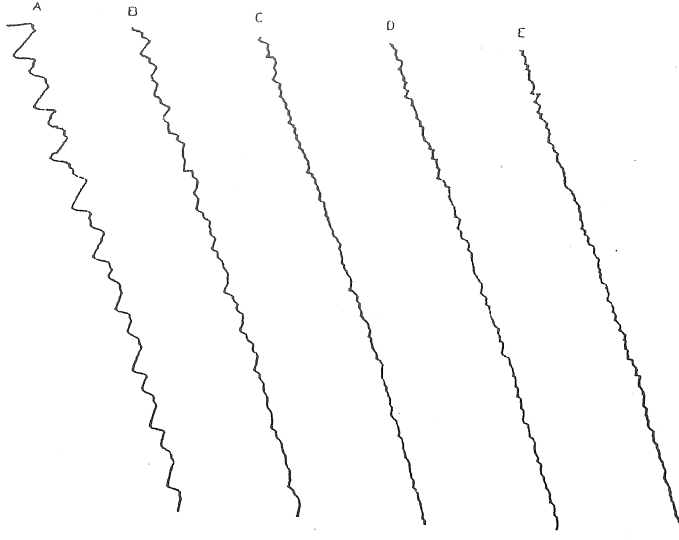
haline dönüştürülmesi aşamasına kadar tüm işlemleri yapmaktadır. Bu programa ilaveten robot kontrol sisteminin 250 pozisyon verisinden daha fazlasını transfer edememesi sebebiyle başka bir programın da geliştirilmesi gerekmiştir. SERP2.EXE yazılımı, SERP1.EXE tarafından oluşturulan robot veri dosyasını 250 pozisyon içerecek şekilde parçalara ayırarak WALLI 2.5 robot programlama diline transfer etmektedir. WALLI 2.5 programı çalıştırıldığında önce SERP1.EXE'yi çağırarak DXF dosyasının, açısız ve doğrusal artış miktarlarının seçilerek yörünge üzerindeki tüm pozisyon verilerinin oluşturulmasını sağlamaktadır. Daha sonra bir döngü içerisinde SERP2.EXE'yi çağırarak pozisyon verilerini 250'lik paketler halinde transfer etmektedir.

Yörünge İzleme Kontrolü

Yardımcı veri hazırlama programları ile desteklenen WALLI 2.5, Serpent robotu kontrol etmektedir. AutoCAD'de oluşturulan iki boyutlu çizimlerin robot tarafından nasıl izlendiğini gözlemek amacıyla robot için imal edilen çizici uç robotun tutucu ucunun yerine takılmıştır. Robotun izlediği yörüngeler bir kağıda çizdirilerek, robota yaptırılan çizimlerle AutoCAD çizimleri karşılaştırılmaktadır.

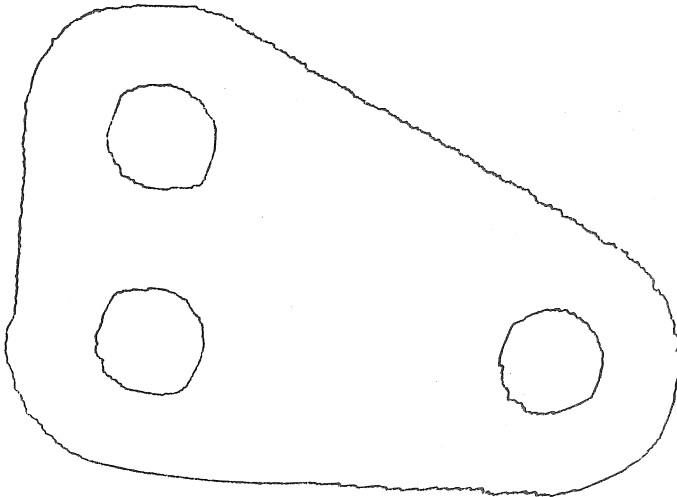
ARAŞTIRMA BULGULARI

Bilgisayar destekli tasarım sisteminde çizilen iki boyutlu yörüngeleri izleyebilme özelliği kazandırılan Serpent robotunun, yörünge izleme başarısını belirleyebilmek için çeşitli uygulamalar yapılmıştır. Bu amaçla AutoCAD R12'de temel çizim elemanları (line, circle, arc) kullanarak robotun izlemesini istediğimiz yörüngeler çizilmiş ve oluşturulan dosyalar DXF uzantılı olarak kaydedilmiştir. Daha sonra bu dosyalar geliştirilen programlar tarafından okutulmuş ve değişik doğrusal ve açısız artış tanımlamaları yapılarak ucuna kalem takılan robota yörüngeler çizdirilmiştir. Yapılan uygulamalarda doğrusal artışın 0.01, 0.25, 0.5, 1 ve 2 mm ve açısız artışın 0.1°, 1°, 2°, 3° ve 4° olduğu durumlarda yörüngeler çizdirilmiştir. Çizdirilen yörüngelerin hassasiyetlerindeki değişimler gözlenerek en iyi artış miktarları tespit edilmiştir. Şekil 4'de 0.5 mm'lik doğrusal artışın en iyi olduğu gözlenmektedir. Daha küçük bir doğrusal artışla, yani daha fazla nokta ile yapılan yörünge izleme uygulamaları daha hassas sonuçlar vermemektedir. Açısız artış için ise 1° en iyi sonucu vermektedir. 0.1° ile yapılan çizimlerde yörünge izleme süresi dokuz kat artmasına rağmen hassasiyette bir değişiklik olmamaktadır. En iyi artış durumlarına göre çizilen makina parçaları Şekil 5 ve 6'da görülmektedir. Burada dikkati çeken diğer bir husus robotun her konum ve her açıdaki hareketi aynı düzgünlükte çizmediğidir. Manipülörün robot çalışma alanında her noktada ve her yöndeki hareket için aynı hassasiyeti göstermemesi homojen bir hassasiyet tanımlaması yapmayı zorlaştırmaktadır.

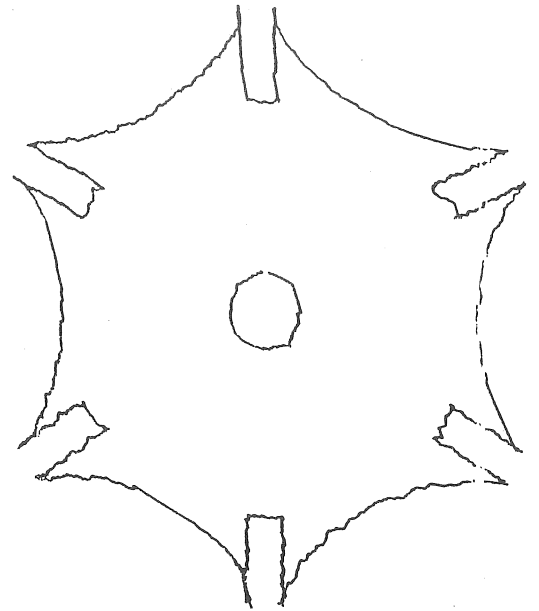


CİZİM	DOĞR.ARTIŞ	NOKTA SAYISI	SÜRE
A	2 mm	24	11.48 s
B	1 mm	42	14.18 s
C	0.5 mm	78	24.66 s
D	0.25 mm	150	44.93 s
E	0.01 mm	367	105.68 s

Şekil 4. Doğrusal Yörüngenin Değişik Doğrusal Artışlarla İzlenmesi.



Şekil 5. Üçgen Makina Parçası Yörüngesinin 0.5 mm ve 1° artışla izlenmesi.



Şekil 6. Cenova Çarkından Oluşan Yörüngenin 0.5 mm ve 1° Artışla İzlenmesi.

Noktalar birbirine ne kadar yakın seçilirse seçilsin, robotun yörünge izleme hassasiyeti daha fazla geliştirilememektedir. Robotun kontrol çözünürlüğü ve tekrar edebilirliğinin imkan verdiği ölçüde hassasiyet sağlanabilecektir. Ayrıca robotun noktalar arasında koordinasyonsuz hareket yapması ve SCARA tipi robotun yatay düzlemde esneme kabiliyetinin olması diğer etkenlerdir [3].

Yapılan çizimlerde çizgilerin doğru konumlandırıldığı ve büyüklüklerin planlananlara uygun olduğu gözlemlenmiştir. Robotun büyük ölçüde doğru noktalarda konumlandığı ancak noktadan noktaya harekette hızların kontrol edilememesi ve koordinasyonsuz hareket yapmasının etkisiyle dalgalanmaların oluştuğu sonucu görülmektedir.

Yapılan yörünge izleme uygulamalarında yörünge boyunca tanımlanan nokta sayısı ile yörüngeyi tamamlama süresi arasında bir dağılım grafiği çizilerek regresyon analizi yapılmıştır. Sonuç olarak doğrusal bir ilişki olan Eşitlik 5 çıkarılmıştır. Böylece robotun yörünge izleme hızı nokta sayısına bağlı olarak tespit edilecektir.

$$\text{Süre [saniye]} = 0.2163 (\text{Nokta sayısı}) + 4.3241 \quad (5)$$

Planlanan yörüngelerin robot tarafından izlenmesi yapılan çalışmayı amaçlarına ulaştırmaktadır. Kontrol çözünürlüğünün ve tekrar edebilirliğin daha iyi olduğu sistemlerde daha iyi yörünge izleme hassasiyetinin gözleneceği aşıkardır. Ancak bu durum sunulan yaklaşımın geçerliliğini etkilememektedir.

SONUÇLAR

Serpent robotunun programlama dili olan WALLI 2.5, robota basit al ve yerleştir işlerini yaptırmak için

tasarlanmış olduğundan komut sayısı ve yeterliliği açısından kısıtlı bir dildir. Ayrıca; WALLI 2.5 robotun motor hızlarını kontrol etmemektedir. Robot kontrol sistemi motorları sürekli olarak maksimum hızlarda çalıştırarak robotun koordinasyonsuz noktadan noktaya hareket yaptırmaktadır. Bu çalışmada Serpent robotuna robotun kontrol çözünürlüğü ve tekrar edebilirliği elverdiği hassasiyette yörünge izleme özelliği kazandırılmıştır. WALLI 2.5 robot programlama dilinin bilgisayar destekli tasarım sistemlerinden veri transfer edememesi ve kartezyen koordinatlara ya da robot kol açılarına bağlı pozisyon tanımlaması yapmaması nedeniyle yardımcı yazılımlar geliştirilerek robot verileri oluşturulmuştur. WALLI programlama mantığı gidilecek her pozisyonu robota tek tek tanıtilmasını gerektirmektedir. Yörünge izleme uygulamalarında ise robota pozisyonların tek tek tanıtilması değil birbirine yakın bir çok noktadan oluşan yörüngeyi hesaplama yoluyla elde edilmesi gerekir. Bu bağlamda geliştirilen yazılımlar AutoCAD çizim programı ile WALLI 2.5 arasında bir köprü kurmaktadır. AutoCAD'de planlanan yörüngeler TURBO PASCAL 6.0 ortamında geliştirilen yazılımlarla robot verilerine dönüştürülmektedir ve oluşturulan veriler robot tarafından izlenmektedir. Yapılan yörünge izleme uygulamaları metodun geçerliliğini göstermektedir.

Yörünge izleme uygulamalarında, robota izlediği yörüngeyi bir çizici uç yardımıyla çizdirerek, bu çizimler hassasiyet ve çizim süresi yönünden birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Yapılan çizimlerin hassasiyeti, planlanan yörüngeyi eşit aralıklara bölen noktaların sayısına bağlıdır. Yapılan karşılaştırmalar sonucu robotun çizim elemanı üzerinde ne kadar yakın nokta seçilirse o derece hassas çizim yaptığı, ancak buna karşın yavaşladığı anlaşılmıştır. Noktalar arasındaki mesafe daraltılırken, yani yörünge üzerindeki nokta sayısı artırılırken, tespit edilen adım değerlerinden sonra nokta sayısı ne kadar artırılırsa artırılın hassasiyetin iyileşmediği gözlenmiştir. Bunun nedeni robotun 0.3728 mm olan kontrol çözünürlüğü ve 1 mm olan tekrar edebilirlik kısıtlarıdır.

Yardımcı Veri Hazırlama Programları Serpent robotun verilerinin hazırlanmasında daha kolay, daha hızlı ve daha esnek bir yaklaşım sunmaktadır. Örneğin basit ya da karmaşık geometrilerin nokta kaynağı işlerini rahatlıkla programlayabilecek düzeydedir. Geliştirilen yardımcı veri hazırlama programları Serpent robotlar için yüzlerce noktanın tek tek tanıtilması anlamına gelen zahmetli ve uzun süre alıcı işlerden kurtulma olanağı tanıyacaktır.

CONTROL OF SCARA INDUSTRIAL ROBOT MOVEMENTS WITH COMPUTER AIDED PROGRAMS

In this study, unco-ordinated point to point controlled SCARA type Serpent assembly robot arm has been enabled to trace continuous path trajectories

by using robot data transformed from two dimensional pictures drawn at a computer aided design system. For reaching this aim some data generation computer programs, which support WALLI 2.5 programming language of the robot, were developed in TURBO PASCAL 6.0 in order that the robot is forced to track planned trajectories designed in AutoCAD R.12. The data generation computer programs running with WALLI 2.5 programming language are used to rapidly generate required robot position data and transfer them to robot control system. As a result, robot can track planned trajectory in constraints of its control resolution and repeatability. Normally, WALLI 2.5 control program of Serpent robot arm is designed for pick and place tasks. However, prepared data generation computer programs support WALLI 2.5 allowing the robot to be used in applications such as welding, laser and water-jet cutting.

KAYNAKÇA

1. Aktaş, Z., Öncül, H. ve Ural, S., *Sayısal Çözümleme*, Cilt 1, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 1991.
2. Arslan, H., *Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) ve Nümerik Kontrollü (NC) Tezgahların Entegrasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Makina Müh. Çukurova Üniversitesi, Adana, 1996.
3. Becker, D., Gay, R., *Serpent Robot Review*, *Practical Electronics*, September (1985), 39-43.
4. Ertürk, M., *Scara Tipi Robot Kolunun Hareketlerinin Bilgisayar Destekli Programlarla Kontrolü*, Yüksek Lisans Tezi, Makina Müh. Çukurova Üniversitesi, Adana, 1997.
5. Feedback Instruments Ltd., *Walli 2.5 Serpent Manual*, Crowborough, UK, 1993.
6. Groover, M.P., Weiss, M., Nagel, R.N., Odrey, N.G., *Industrial Robotics: Technology, Programming and Application*, McGraw-Hill, Inc., Singapore, 1986.
7. Köseoğlu, M., Yılmaz, Y., *Mekanizma Tekniği*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1987.
8. Ünver, E., *CNC Torna Tezgahlarında Kesme Parametrelerinin Teorik ve Deneysel Analizi - Parça Programı Optimizasyonu*, Doktora Tezi, Makina Müh. Çukurova Üniversitesi, Adana, 1994.
9. Şişman, A., *Palletizing Software Developed for Multifunctional Use of an Industrial Robot*, Yüksek Lisans Tezi, Makina Müh. Böl. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 1994.
10. Yu, D.Y., Duan, Z.C., Sun, H.D., Li, P.G., *Automatic Generation of the Cutting Tool Path for Free - Form Surfaces*, *Journal of Materials Processing Technology*, 36 (1993), 415-425.