

Kamera Destekli Gerçek Zamanlı Robotik Al-Bırak Uygulamalar İçin Yeni Bir Matematiksel Kinematik Güvenlik Modeli

A New Mathematical Kinematic Safety Model For Camera Aided Real-time Robotics Pick and Place Applications.

Cengiz Deniz^{1,2}, Mustafa Çakır²

¹ Ford Otosan, Gövde Üretim Alan Müdürlüğü, Denizevler Mah. Ali Uçar Cad. No:53, Gölçük / Kocaeli
cdeniz1@ford.com.tr

² Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği, 41300, Kocaeli
mcakir@kocaeli.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, endüstriyel robotların yaygın olarak kullanıldığı kamera destekli gerçek zamanlı robotik al-bırak uygulamalarda sistemin kinematik güvenliğini sağlanması için geliştirilen bir matematiksel model sunulmaktadır. Bu matematiksel model için nesnenin konum verisi kamera tarafından elde edilmekte ve bu veri robot'un hedef verisine dönüştürülme işlemi tasarlanmış bir kontrol sistemi yardımı ile gerçekleştirilmektedir. Kontrol sistemi yardımı ile kameradan alınan konum verileri robotun ileri ve ters kinematik matematiksel modelinden geçirilerek bir sonuç elde edilmektedir. Elde edilen sonuç robotun gerek konum gerekse de oryantasyonu açısından erişebileceği bir nokta olması durumunda veriler robota gönderilmektedir. Hedef bilgisinin, robotun çalışma uzayındaki konum ve oryantasyonu uygun olmaması veya çalışma tezgâhi açısından hedef noktaya yaklaşımı istenmeyen açısından yapması durumunda kontrol sistemi ilgili hedef verisini otomatik olarak elemektedir. Kontrol sisteminde gerçek zamanlı işlemler yapmak için PLC(Programlanabilir Lojik Kontrolör) kullanımı tercih edilmiştir. Geliştirilen sistem sayesinde kamera tabanlı robotik al-bırak uygulamalarda sistemin güvenilirliği artırılmış ve robotun meydana getirebileceği fiziksel hasarlar ortadan kaldırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Endüstriyel Robot, Kontrol, Kamera, Kinematik, Quaternion, PLC.

Abstract

In this study, a newly developed mathematical kinematics safety model is presented related with camera aided real-time robotic pick&place and handling applications. In this application, the position data of the workpiece which provided by a smart camera is converted to robot data type

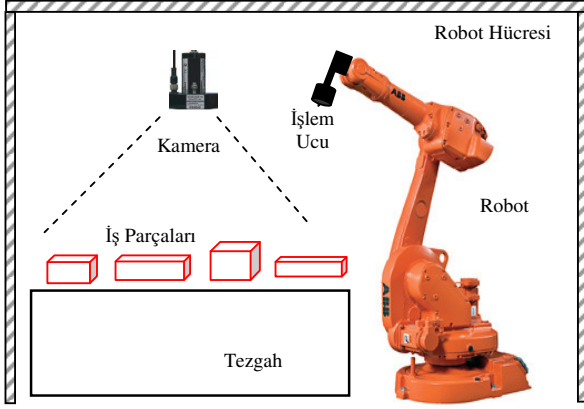
by a control system. The camera data is modified according to robot's direct and inverse kinematics model and generated to robot's position and orientation data. If the generated new robot target data related with workpiece is proper for robot access, the control system send movement instruction to robot for pick and place operation. If this data is not proper due to it is out of the robot workspace, tool orientation and defined safety zone, it is automatically eliminated by control system. The selection of right robot target data is implemented via a mathematical kinematics model which is operated in control system. A PLC (Programmable Logic Controller) is preferred due to its real-time function in this application. Reliability of camera aided real-time robotic pick&place and handling applications is improved and physical damages in these applications are prevented by developed system.

Keywords: Industrial Robot, Control, Camera, Quaternion Kinematics, PLC.

1. Giriş

Endüstriyel robotların yoğun olarak kullanıldığı seri imalat hatlarında yer aldığı uygulamalardan bir tanesi de bant üstü veya müstakil al-bırak işlemidir. Bant üstü robotik uygulamalarda [1-4] son yıllarda kamera tabanlı sistemlerin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Görsel kontrol tekniği [5-10] kullanılarak robotik tabanlı al-bırak uygulamalar geliştirilmektedir. Görsel kontrol tekniğinde genellikle model tabanlı ya da imaj tabanlı olmak üzere iki farklı metot kullanılmaktadır [6,10-13]. Kamera tabanlı robotik uygulamalarda kameradan alınan verilerin robotun kinematığı için anlamlı bir veri formatına dönüştürülmesi gerekmektedir [3,4,5,13,14,15]. Bu çalışmada, kamera tabanlı robotik al-bırak uygulamalarda sistemin kinematik zincir güvenliği için bir matematiksel model geliştirilmiştir. Geliştirilen bu sistem

sayesinde kamera tabanlı sistemlerde gerek sistemin güvenilirliği gerekse de kameradan alınan hatalı hedef verisi için robotun meydana getirebileceği fiziksel hasarlar ortadan kaldırılmıştır. Şekil 1'de kamera tabanlı tasarlanmış bir bant üstü robotik al-bırak uygulama modeli gösterilmektedir.



Şekil 1. Kamera tabanlı robotik al-bırak uygulama modeli.

Bu uygulama modelinde tezgâh üzerinde bulunan farklı tipteki iş parçaları robot tarafından alınıp belirli noktalarda paketlenmektedir. İş parçaları, bant üstünde ilerlerken robotun bulunduğu işlem istasyonunda bir smart (akıllı) kamera yardımı ile iş parçasının konumu kamera düzlemine göre tespit edilmektedir. Kamera, tanımlı olan iş parçalarını belirli bir çevrim süresi içinde için de sürekli tarayıp en uygun pozisyondan bulunan iş parçası model ve koordinatlarını ilgili kontrol sistemi göndermektedir. Tasarlanmış kinematik zincir güvenlik kontrol sisteminde, iş parçasının modeli dikkate alınarak koordinat bilgileri robotun ileri ve ters kinematik bağıntılarından geçirilerek hedef bilgisi için çözüm (ters kinematik) oluşması durumunda bu değer robot'a aktarılmaktadır. Kameranın gerek dış faktörlerden dolayı gerekse de kendi ölçüm kalitesinden kaynaklı istenmeyen hedef verileri için robotun oluşturacağı hasarlar bu kontrol sistemi sayesinde ortadan kaldırılmıştır.

2. Robot Kinematiği

2.1. İleri Kinematik

Katı cisimlerde, hareket modellemenin birçok yolu vardır. Bu yollardan birisi de quaternion yöntemi ile modellemedir. Quaternion modeli sayesinde robot'un ileri ve ters kinematik denklemlerini çıkarmak oldukça kolaydır. Yaygın olarak kullanılan 6 eksenli endüstriyel robotların çalışma uzayında, üç tanesi robot bileğinin konumu için ve diğer üç tanesi ise bileğin yalpa, sapma ve burkulmasını gösteren uç elemanın yönlendirmesi için olmak üzere altı serbestlik derecesine sahiptir. Buradaki amaç uç elemanın bulunduğu ve gitmesi istenen konumlar arasında etkin ve güvenli bir şekilde hareket ettirilmesidir. Bu nedenle uç elemanın konumunun nasıl bağlantı açılımları matematiksel olarak dönüştürüldüğünün ifade edilmesi gerekir. Standart endüstriyel robot için kartezyen, silindirik veya küresel matematiksel koordinatlar kullanılır. Uç işlevcinin konumu,

taban eksene (x, y ve z) göre gerçekleşen seri rotasyonların rotasyon matrislerinin çarpılmasıyla elde edilmeleri mümkündür. Konum ve oryantasyon hesaplama yöntemlerinden birisi olan Euler açısı sisteminde, bir nesnenin oryantasyonundaki değişim nesnenin yerel eksenleri etrafındaki üç rotasyonun kombinasyonu olarak tanımlanır. Bu üç rotasyon mutlaka aynı sırayla uygulanmalıdır; yalpa, sapma ve burkulma. Tanımlanan Euler gösterimini matris şeklinde yazmak oldukça kolaydır. Ancak, bir eksen etrafında 90°'lik bir rotasyon için Euler sistemi kullanıldığında, bir eksen diğer iki eksenin sırayla dizilmesine ve kilitlenmesine neden olabilir. Bu durumda serbestlik derecesi bir azalmış durumdadır. Ancak bu durum başka problemleri beraberinde getirecektir. Quaternion ise karmaşık sayıların genişletilmesi ile bulunmuşlardır [16] ve dört boyutlu bir uzay ile tanımlanabilirler. Bir quaternion (q) aşağıdaki şekilde ifade edilebilir;

$$q = w + xi + yj + zk \quad (1)$$

Denklemdaki w, x, y ve z gerçekte sayılar olup i, j ve k ise $i^2 = j^2 = k^2 = -1$ eşitliğine sahiptir. Bir quaternion gerçekte sayılarla ifade edilebildiği gibi bir vektör olarak da 2. denklemden görüleceği şekilde de yazılabilir:

$$q = [w, \vec{v}] \quad (2)$$

Denklemden w yine bir gerçekte sayıdır ve v ise üç reel sayı olan x, y ve z'den oluşmuş üç-parçalı bir vektörü ifade eder. Birim genlikli quaternion rotasyonları göstermekte kullanılırlar. Ayrıca bir quaternion ya birkaç rotasyonun kombinasyonunu ya da bir rotasyonun diğerine göre tek bir rotasyonu gösterilmesinde kullanılabilir. Quaternion rotasyonları birbirleri ile çarpılarak kolaylıkla hesaplanabilir. Yapılan işlemler dört-boyutlu olduğundan ve dönüşler sırası ile belirli bir eksen üzerinden yapılması zorunlu olmadığından bahsedilen kilitlenme kesinlikle gerçekleşmez. Quaternion cebri kullanılarak, bir P aksının θ derece döndürülmesi ile elde edilen P' noktasının taban eksene göre konum ve rotasyonu 3 nolu denklemlerle bulunabilir.

$$q = (q_1, \vec{q}_v) \text{ ve } \vec{q}_v = i\vec{q}_2 + j\vec{q}_3 + k\vec{q}_4 \text{ olmak üzere;}$$

$$P' = R_q(P) = qPq^* = (q_1^2 - \vec{q}_v \cdot \vec{p})\vec{p} + 2q_1(\vec{q}_v \otimes \vec{p}) + 2\vec{q}_v(\vec{q}_v \cdot \vec{p}) \quad (3)$$

3 nolu denklemden P' noktasının çalışma uzayındaki koordinatları;

$$\begin{aligned} P'_x = & q_1 \cdot q_1 \cdot p_x + 2 \cdot q_3 \cdot q_1 \cdot p_z - 2 \cdot q_4 \cdot q_1 \cdot p_y + q_2 \cdot q_2 \cdot p_x \\ & + 2 \cdot q_3 \cdot q_2 \cdot p_y + 2 \cdot q_4 \cdot q_2 \cdot p_z - q_4 \cdot q_4 \cdot p_x - q_2 \cdot q_2 \cdot p_x \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} P'_y = & 2 \cdot q_2 \cdot q_3 \cdot p_x + q_3 \cdot q_3 \cdot p_y + 2 \cdot q_4 \cdot q_3 \cdot p_z + 2 \cdot q_1 \cdot q_4 \cdot p_x \\ & - q_4 \cdot q_4 \cdot p_y + q_1 \cdot q_1 \cdot p_y - 2 \cdot q_2 \cdot q_1 \cdot p_z - q_2 \cdot q_2 \cdot p_y \end{aligned} \quad (5)$$

$$P_z' = 2 \cdot q_2 \cdot q_4 \cdot P_x + 2 \cdot q_3 \cdot q_4 \cdot P_y + q_4 \cdot q_4 \cdot P_z - 2 \cdot q_1 \cdot q_3 \cdot P_x - q_3 \cdot q_3 \cdot P_z + 2 \cdot q_1 \cdot q_2 \cdot P_y - q_2 \cdot q_2 \cdot P_z + q_1 \cdot q_1 \cdot P_z \quad (6)$$

yazılabilir. 6 serbestlik derecesine sahip bir endüstriyel seri robot modeli için aks bazında ileri kinematik fonksiyonu quaternionlar kullanılarak 7 nolu denklemde ifade edilmiştir.

$$P_{n(x,y,z)} = (Q_n \cdot Q_{n-1..0}) \cdot D_n \cdot (Q_n \cdot Q_{n-1..0})^* + P_{n-1(x,y,z)} \quad (7)$$

2.2. Ters Kinematik

Robotun uç noktasının oryantasyon ve konumu bilgisi verildiği durum için ters kinematik bağıntıları kullanılarak eksenlerin alması gereken açı hesaplanabilir. Eğer uç elemanın oryantasyonu ve konumu için $U = ({}^0P_6, Q_{123456})$ şeklinde verilmişse ters kinematik için aşağıdaki denklemler yazılabilir. Robot'un P_3, P_4 ve P_5 noktalarının konumları eşit olduğundan P_3 için aşağıdaki denklem yazılabilir.

$${}^0P_3 = {}^0P_4 = {}^0P_5 = P_{6(x,y,z)} \cdot (Q_d^* \cdot Q_{123456}) \cdot D_n \cdot (Q_d^* \cdot Q_{123456})^* \quad (8)$$

10 nolu denklemde yer alan Q_d ileri yön kinematığında TCP'yi (Tool Center Point) robotun tabanı ile aynı koordinat sistemine çevirmek için kullanılan sabit bir quaterniondur. 1., 2. ve 3. eksen açıları olan $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ 'ü basit trigonometrik denklemlerle hesaplamak mümkündür.

4, 5 ve 6. eksen açıları $\theta_4, \theta_5, \theta_6$ değerlerini hesaplamak için Q_{456} 'nın bulunması gerekmektedir. Q_{456} , bulunan 1, 2 ve 3. eksen açıları kullanılarak Q_{123} 'ün hesapladıktan sonra aşağıda gösterilen denklemle bulunabilir.

$$Q_T = Q_{123456} \cdot Q_{123}^{-1} \quad (9)$$

$$Q_T = [q_{t1}, q_{t2}, q_{t3}, q_{t4}] \quad (10)$$

şeklinde yazılabilir.

$$a_3 = a \tan\left(\frac{q_{t2}}{q_{t1}}\right) \quad (11)$$

$$b_3 = a \tan\left(\frac{q_{t4}}{q_{t3}}\right) \quad (12)$$

olmak üzere, 4. eksen açısı θ_4 ;

$$\theta_4 = (a_3 + b_3) \cdot \frac{180}{\pi} \quad (13)$$

Şeklinde bulunabilir. Bulunacak değere $+\pi$ eklenmesi ile elde edilecek sonucunda bir çözüm olabileceği göz önünde bulundurulursa θ_4 için bir denklem daha yazılabilir. Ancak θ_2 için çıkan 64 farklı çözümün olması nedeniyle θ_4, θ_5 ve θ_6 için toplam 128 farklı çözümün olduğu görülecektir.

$$\theta_5 = a \cos\left(\sqrt{q_{t1}^2 + q_{t2}^2}\right) \cdot \frac{180}{\pi} \quad (14)$$

$$\theta_6 = (a_3 - b_3) \cdot \frac{180}{\pi} \quad (15)$$

3. Koordinat Sistemi, Yönelim ve Oryantasyon

Robotun nesnenin bulunduğu hedefe doğru yönelimi için hem robot için hem de kamera için ortak bir referans noktaya ihtiyaç vardır. Bu referans nokta dikkate alınarak robot tarafından gerekli dönüşümler yapılmaktadır. Gerekli dönüşüm işlemlerinin yapılabilmesi için robotun referans noktasındaki konum ve oryantasyonu ve aynı zamanda kameranın referans noktaya göre yine konum ve oryantasyon bilgisine ihtiyaç vardır. Kameranın gönderdiği veri paketi içerinden herhangi bir oryantasyon bilgisi bulunmadığından kamera için sabit bir oryantasyon tanımlanmalıdır. 16 nolu denklem dikkate alınarak robot ve kamera için konum ve oryantasyon denklemleri yazılabilir [15].

Kamera için;

$$P_{kamera} = [x_k, y_k, 0][qk_1, 0, 0, qk_4] \quad (16)$$

yazılabilir. Bu arada z değerinin sıfır olmasının nedeni uygulamada kullanılan kameranın özelliği gereği sadece x, y ve rotasyon değerlerini veriyor olmasıdır. Kamera oryantasyonu dikkate alındığında, rotasyon değerinin sadece z eksenine etrafından olmasından dolayı x ve y eksenleri etrafındaki rotasyonlar sıfırdır. Kameradan alınan rotasyon değeri kullanılarak açı-eksenden quaternion'a dönüş yapıldıktan sonra qk değişkenine atanmaktadır. Kamera rotasyon değeri ve robotun referans noktadaki rotasyonların çarpımının sonucu ile daha sonra bu yeni rotasyon değeri ile robotun referans noktasındaki konum bilgisine kameradan gelen x, y verisi eklenerek hedef noktanın konum ve oryantasyon bilgisi elde edilir. Kamera, robot ve hedef için aşağıdaki konum ve oryantasyon tanımlaması yapılmıştır;

$$\text{Kamera: } P_{kamera} = [x_k, y_k, 0][qk_1, 0, 0, qk_4],$$

$$\text{Robot: } P_{Robot} = [x_r, y_r, z_r][qr_1, qr_2, qr_3, qr_4] \text{ ve}$$

Hedef: $P_{Hedef} = [x_h, y_h, z_h] [qh_1, qh_2, qh_3, qh_4]$ dir.

Hedef noktasındaki oryantasyon değerinin hesaplamak için kamera rotasyonu ile robotun hedef noktasındaki rotasyonların çarpılması ile elde edilir. İki oryantasyon değeri quaternion cinsinden olduğu için Quaternion çarpımı metodu ile elde edilir.

$$\begin{aligned} qh_1 &= qr_1.qk_1 - qr_2.qk_2 - qr_3.qk_3 - qr_4.qk_4 \\ qh_2 &= qr_1.qk_2 + qr_2.qk_1 + qr_3.qk_4 - qr_4.qk_3 \\ qh_3 &= qr_1.qk_3 - qr_2.qk_4 + qr_3.qk_1 + qr_4.qk_2 \\ qh_4 &= qr_1.qk_4 + qr_2.qk_3 - qr_3.qk_2 + qr_4.qk_1 \end{aligned} \quad (17)$$

Elde edilen hedef oryantasyon değeri 3 nolu denklem yardımı ile hedefin konum bilgisi tespit edilir.

Hedef x,y ve z bilgisi için;

$$\begin{aligned} x_h &= x_r + qh_1.qh_1.x_k + 2.qh_3.qh_1.z_k - 2.qh_4.qh_1.y_k + qh_2.qh_2.x_k \\ &+ 2.qh_3.qh_2.y_k + 2.qh_4.qh_2.z_k - qh_4.qh_4.x_k - qh_2.qh_2.x_k \end{aligned} \quad (18)$$

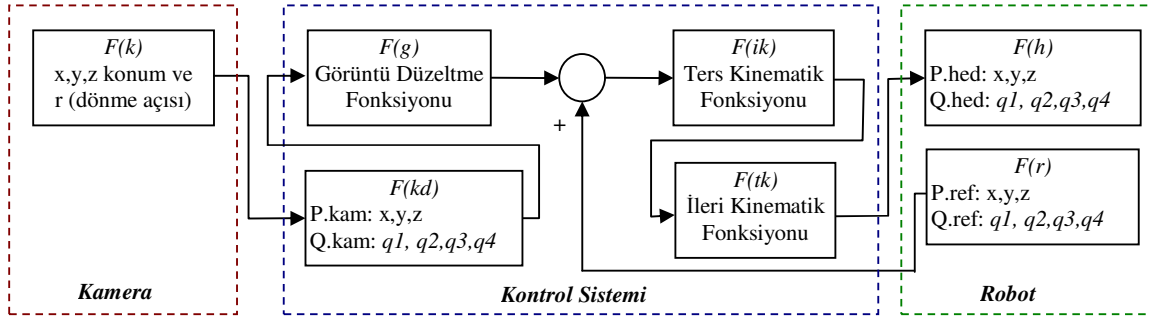
$$\begin{aligned} y_h &= y_r + 2.qh_2.qh_3.x_k + qh_3.qh_3.y_k + 2.qh_4.qh_3.z_k + 2.qh_1.qh_4.x_k \\ &- qh_4.qh_4.y_k + qh_1.qh_1.y_k - 2.qh_2.qh_1.z_k - qh_2.qh_2.y_k \end{aligned} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} z_h &= z_r + 2.qh_2.qh_4.x_k + 2.qh_3.qh_4.y_k + qh_4.qh_4.z_k - 2.qh_1.qh_3.x_k \\ &- qh_3.qh_3.z_k + 2.qh_1.qh_2.y_k - qh_2.qh_2.z_k + qh_1.qh_1.z_k \end{aligned} \quad (20)$$

denklemler yazılabilir.

4. Kinematik Zincir Güvenlik Modeli

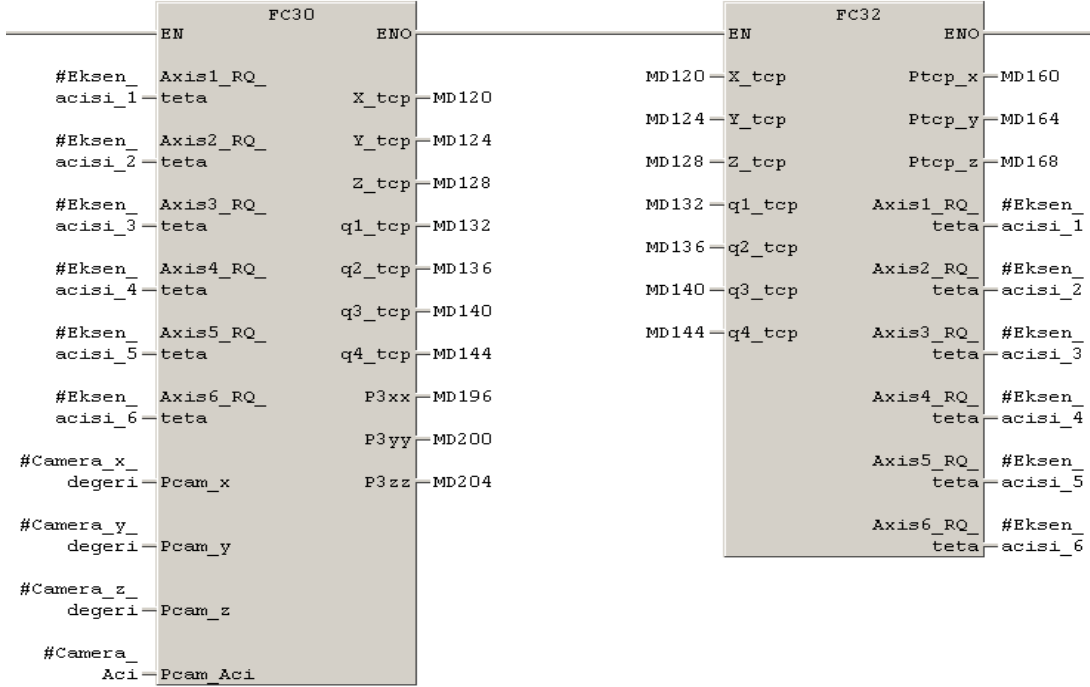
Kamera, tanımlı olan iş parçalarını belirli bir çevirim süresi içinde sürekli tarayıp en uygun pozisyonda bulunan iş parçası model ve koordinatlarını ilgili kontrol sistemi göndermektedir. Tasarlanmış kinematik zincir güvenlik kontrol sisteminde, iş parçasının modeli dikkate alınarak koordinat bilgileri robotun ileri ve ters kinematik bağıntılarından geçirilerek hedef bilgisi için çözüm (ters kinematik) oluşması durumunda bu değer robot'a aktarılmaktadır. Kameranın gerek dış faktörlerden dolayı gerekse de kendi sistemin kaynakları göndereceği istenmeyen hedef verileri için robotun oluşturacağı hasarlar bu kontrol sistemi sayesinde önlenmiştir. Tasarlanan kinematik zincir güvenlik kontrol sistemi akış diyagramı Şekilde 4'de gösterilmiştir.



Şekil 4: Tasarlanan kinematik zincir güvenlik kontrol sistemi akış diyagramı

Akış diyagramında görüldüğü gibi kameradan alınan ham koordinat bilgisinin robot hedef bilgisi F(k) için bir dönüşüm yapılmaktadır. Bu dönüşüm konum ve rotasyon bilgisini kapsayacak şekildedir F(kd). Elde edilen yeni veri, smart kameraların hata payları dikkate alınarak oluşturulan bir düzeltme fonksiyonundan geçirilerek yeni bir koordinat ve rotasyon bilgisi F(g) elde edilmektedir. Elde edilen gerçek koordinat bilgisi F(g) ile robotu yönlendirmek için bölüm2'te verilen robotun ileri ve ters kinematik bilgilerinden yararlanılmıştır. Robotun, nesnenin bulunduğu hedef koordinata doğru yönelimi için hem robot hem de kamera için ortak bir referans noktaya ihtiyaç vardır. Bu referans nokta robotun doğru yönelimi için gereklidir ancak robotun doğru rotasyonu için kameradan alınan nense açı bilgisi robotun ileri kinematik bağıntısından geçirilmesi gerekmektedir. Tezgâh, kamera ve robot için koordinat

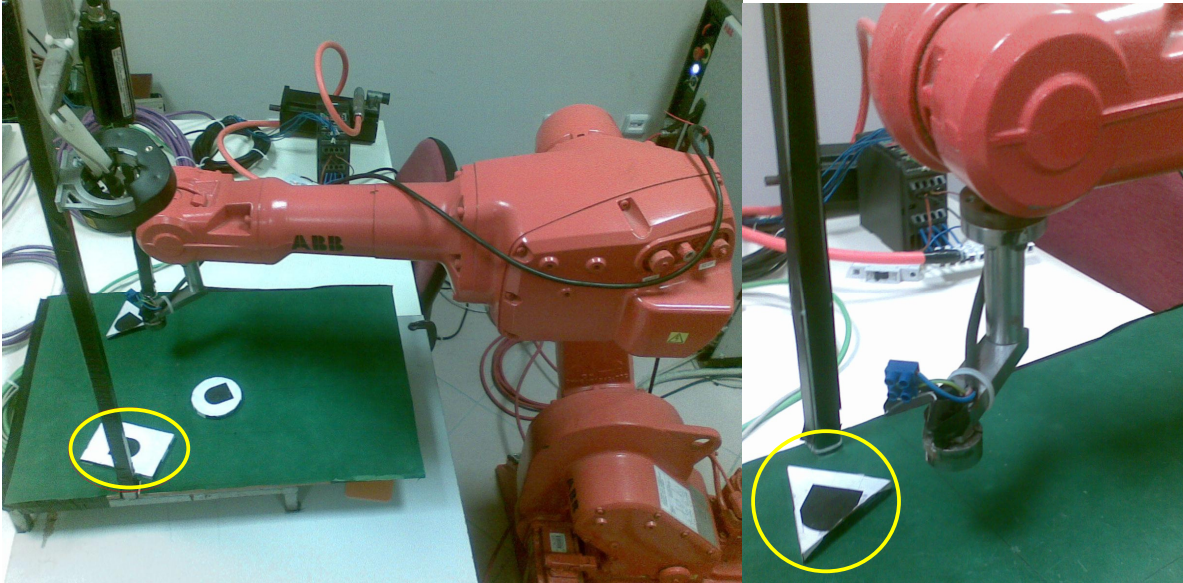
sistemi dönüşümüne ihtiyaç vardır. Robot ileri kinematik modelinde taban eksen ile uç eksen arasında bir rotasyon dönüşümü ayrıca yapılması gerekir. Gerekli koordinat dönüşümler yapıldıktan sonra sistemin düzeltilmiş kamera verisi F(g) ile tezgâh üzerindeki robot için tanımlanmış referans nokta verisi F(r) toplanarak yeni bir veri elde edilmektedir. Elde edilen bu veri robot ileri kinematik bağıntısından geçirilerek F(ik) ortaya çıkan sonucun ters kinematik bağıntısı için çözüm oluşturuyorsa bu veri robot erişim alanı içinde ve ilgili nesnenin hedef koordinat verisi için uygun bir oryantasyon olduğu anlamına gelir. Bu modelde gerçek zamanlı bir işlem gerçekleştirilmek için PLC'de (Programlanabilir Mantık Denetleyici) yazılan kinematik zincir yazılım bloğu oluşturulmuştur. Kinematik zincir yazılım bloğu Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5: Kinematik zincir blok diyagramı

Kamera tabanlı robot yönelim uygulamalarında ilgili işlem parçasının koordinat verileri için ileri ve ters kinematik çözümü olmasına karşın ilgili noktadaki robotun oryantasyonu gereği çevresel faktöre (tezgâh, kamera, iş parçası) çarpması söz konusudur. Şekil 6'da bant üstü

kamera tabanlı robotik al-bırak uygulamasında robot oryantasyonu açısından uygun olmayan görüntüler sunulmuştur. Şekilde görüldüğü gibi robotun ilgili iş parçasını alma noktasındaki oryantasyonu tezgâh üzerinde bulunan profile çarpmasına neden olmaktadır.



Şekil 6: Uygun olmayan iş parçası konumları

5. Sonuçlar

Otomotiv endüstrisinde, son yıllarda başta gövde imalat atölyeleri ve montaj atölyelerindeki konveyör üstü robotik al-bırak uygulamalarında, standart robotik al-bırak işlemlerinde ve kalite uygulamalarında kullanımı yaygınlaşan kamera tabanlı robotik kontrol sistemleri için bir kinematik zincir güvenlik modeli ortaya konulmuştur. Bu çalışmada, robotik al-bırak uygulamalarında yer alan nesnelerin konum verisi kamera tarafından elde edilmekte ve bu veri robot'un hedef verisine dönüştürülme işlemi tasarlanmış bir kontrol sistemi yardımı ile gerçekleştirilmektedir. Kameradan alınan konum verileri robotun ileri ve ters kinematik matematiksel modelinden geçirilerek bir sonuç elde edilmektedir. Elde edilen sonuç robotun, gerek konum gerekse de oryantasyonu açısından erişebileceği bir nokta olması durumunda veriler robotu göndermektedir. Hedef bilgisinin, robotun çalışma uzayındaki konum ve oryantasyonu uygun olmaması veya çalışma tezgâhi açısından hedef noktaya yaklaşımı istenmeyen açıdan yapması durumunda kontrol sistemi ilgili hedef verisini otomatik olarak elemektedir.

Geliştirilen bu sistem sayesinde kamera destekli robotik al-bırak uygulamalarında;

- İş parçasının tezgâh üzerindeki dönme açısının robot için uygun olmaması,
- İş parçalarının üst üste gelmesi nedeniyle kameranın robota istenmeyen bir veri göndermesi,
- Kameraya tanımlı olmayan iş parçalarının tezgâh veya işlem noktasına gelmesi,
- Kameranın çevresel bir etkenden dolayı konum değiştirmesi ve robota istenmeyen bir veri göndermesi,
- Kullanıcının kamerada yanlış bir konfigürasyon yapması sonucu meydana gelebilecek problemler bu model sayesinde ortadan kaldırılmıştır.

Akıllı kameralarla yapılacak çalışma, kamera kontrol ünitesi içerisinde üretici firma tarafından önceden hazırlanmış ve değiştirilme olanağı olmayan olan sistem ile sınırlıdır. Kamera destekli robotik uygulamaların geliştirilmesi için gerçek görüntünün işlenmesi gerekmektedir.

6. Kaynaklar

- [1] S. Kristensen, S. Estable, M. Kossow, R. Brösel, "Bin-Picking with A Solid State Range Camera", *Robotics and Autonomous Systems* 35 (2001) 143–151.
- [2] M. Selver, O. Akay, F. Alim, S. Bardak, M. Olmez "An Automated Industrial Conveyor Belt System Using Image Processing And Hierarchical Clustering For Classifying Marbleslabs", *Robotics And Computer-Integrated Manufacturing* 27 (2011) 164–176.
- [3] G.M. Bone, D. Capson "Vision-Guided Fixtureless Assembly of Automotive Components", *Robotics and Computer Integrated Manufacturing* 19 (2003) 79–87.
- [4] P. Rousseau, A. Desrochers, N. Krouglicof, "Machine Vision System for the Automatic Identification of

- Robot Kinematic Parameters", *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Vol. 17, No. 6, December 2001.
- [5] H. Golnabi, A. Asadpour "Design and Application of Industrial Machine Vision Systems", *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 23 (2007) 630–637.
- [6] L. Deng, F. Janabi-Sharifi, W. J. Wilson, "Hybrid Motion Control And Planning Strategies For Visual Servoing", *IEEE Transactions On Industrial Electronics*, Vol. 52, No. 4, August 2005.
- [7] V. Lippiello, B. Siciliano, Fellow, L. Villani "Position-Based Visual Servoing in Industrial Multirobot Cells Using A Hybrid Camera Configuration", *IEEE Transactions On Robotics*, Vol. 23, No. 1, February 2007.
- [8] W. Xie, Z. Li, Xiao-Wei Tu, C. Peron, "Switching Control of Image-Based Visual Servoing with Laser Pointer in Robotic Manufacturing Systems", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 56, No. 2, February 2009.
- [9] Y. Motai, A. Kosaka, "Hand-Eye Calibration Applied To Viewpoint Selection for Robotic Vision", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 55, No. 10, October 2008.
- [10] J. Kruger, T.K. Lien, A. Verl, "Cooperation of Human And Machines in Assembly Lines", *Cirp Annals-Manufacturing Technology* 58 (2009) 628–646.
- [11] Ryberg, A-K Christiansson, K Eriksson, B. Lennartson, "A New Camera Model And Algorithms For Higher Accuracy And Better Convergence in Vision-Based Pose Calculations", *Proceedings Of The 2006 IEEE International Conference On Mechatronics And Automation June 25 – 28, 2006, Luoyang, China*.
- [12] J. Sulzer, I. Kovač, "Enhancement Of Positioning Accuracy Of Industrial Robots With A Reconfigurable Fine-Positioning Module", *Precision Engineering* 34 (2010) 201–217
- [13] K. Fawaz , R. Merzouki, B. Ould-Bouamama, "Model Based Real Time Monitoring For Collision Detection Of An Industrial Robot", *Mechatronics* 19 (2009) 695–704.
- [14] G. Veiga, J.N.Pires, K.Nilsson, "Experiments With Service-Oriented Architectures For Industrial Robotic Cells Programming", *Robotics And Computer-Integrated Manufacturing* 25 (2009) 746–755.
- [15] C.Deniz, M.Çakır, "Endüstriyel Robotik Uygulamalar İçin Kamera Tabanlı Ve PLC Denetimli Bir Görsel Servo Kontrol Sistemi", *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, TOK2011, 14-16 Eylül, (2011) S627-634*
- [16] W.R. Hamilton, "Elements of Quaternion", *Chealse Publishing, New York, 1969.*