

BİLGİSAYARLA GÖRÜ TABANLI, HAREKETLİ CİSİM YÖRÜNGESİ İZLEYEN ROBOT KOL TASARIMI

Emre Koyuncu
İstanbul Teknik
Üniversitesi
Elektrik Mühendisliği
ekoyuncu@koyuncurobotic.com

Osman Ceylan
İstanbul Teknik
Üniversitesi
Elektronik Mühendisliği
osmceyelsan@yahoo.com

Ramazan Yeniçeri
İstanbul Teknik
Üniversitesi
Elektronik Mühendisliği
yeniceri_ramazan@yahoo.com

ÖZET: Bu çalışmada, hareketli bir cismin yörünge doğrultusunu kamera ve kamera görüntülerini işleyen bilgisayar tabanlı bir yazılım ile izleyen iki eksenli bir robot kol tasarımında izlenen temel yöntemler ve karşılaşılan problemlere sunulan temel çözümler ele alınmış ve uygulama ile ilgili gelecek çalışmalara değinilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Robot, cisim yörüngesi izleme, bilgisayarla görü, motor denetimi.

1.GİRİŞ

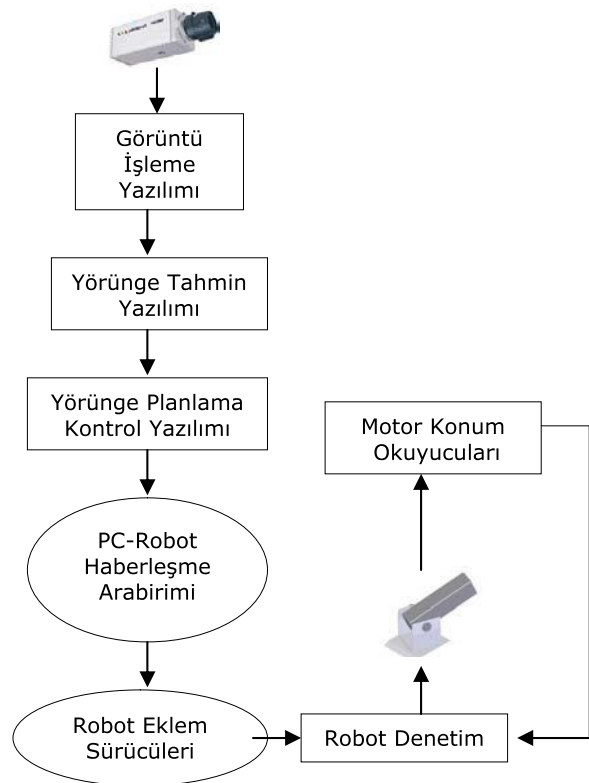
Günümüzde otomatik hareket yeteneğine sahip sistemler teknolojik gelişim sürecinin büyük bir payını içermektedirler. Robot sistemlerinin ilerleyişinde araştırmacılar, daha hızlı, daha dinamik ve daha doğru kararlar verebilen sistemler üretebilmek için, dış dünyaya açılan, insanların sahip oldukları algılayıcılara benzer duyargalar kullanmak ve benzer yollarla algı prensipleri geliştirmek zorundadırlar. Ayrıca bu çalışma şekli, insansı fonksiyonların çalışma hızına yakın olmalı, gerçek zaman içerisinde üretilebilmelidir.

Bilgisayarla Görü tabanlı Robot sistemleri, araştırmacılar tarafından yoğun olarak çalışılan alanlardan biridir. Özellikle yüksek teknolojlili güvenlik çözümleri, karmaşık algılar gerektiren endüstriyel uygulamalar ve savunma teknolojilerinin gelişimiyle paralellik arz eden bu konu günümüz uygulayıcıları için temel çalışma hedefi haline gelmiştir.

2.SİSTEMİN YAPISI

Çalışmanın içeriği, kamera sistemlerinden alınan bilgi doğrultusunda üretilen bir hareket planının robot kolu tarafından gerçekleştirilmesi problemi içermektedir. Ancak çalışmanın her aşamasında üretilen çözümler standart prensiplere uygun olarak ele alınmaktadır. Bu yolla gelişim kapsamının sınırlandırılmaması istenmektedir. Bu nedenle üretilen çözümlerde, tümleşik çözümler içeren yapılardan kaçınılmış, en temel ve yalın bileşimler içermesi amaçlanmıştır. Projenin tasarım aşamasında ortaya koyulmuş problemlerin farklı farklı küçük parçalarına ayrılmış çözümler olabilecek tümleşik sistemlerden uzaklaşmıştır. Her aşamada problem

bütünüyle temel hedef olarak belirlenmiş ve en uygun çalışma prensipleri geliştirilmesi istenmiştir. Bunun için, sürücü devrelerinin, robotun mekanik tasarımının, kontrol sistemlerinin yanı sıra; kameradan bilgi alan, görüntüyü işleyen ve yörünge planını çözümlen yazılımların hepsi tamamen özgün olarak tasarlanmıştır. Bu yolla, projenin tasarım sürecinin sonunda bir ileriki aşamaya kolayca taşınması amaçlanmıştır.



Şekil 1. Sistemin Genel Modeli

3.SİSTEM TASARIMI

Sistem tasarımı; sunulan çözümler açısından üç ana başlık altında toplanabilir.

3.1 Görü İşleme

Görü işleme birimi, görü kaynağından görüntüyü alan ve tahmin yazılımına, takip edilecek cisim hakkında konum ve görüntünün yakalanma zamanına ilişkin bilgi gönderen kısımdır. Görüntüler bilgisayar ortamına USB ara yüzü, CCD sensörlü kamera aracılığı ile aktarılmıştır. Kameradan sayısal görüntünün elde edilmesi için görüntü işleme kodlarına, CodeVis tarafından geliştirilen VidCapture kodları entegre edilmiştir. 8-bit derinlikte gri-düzye sayısal görüntüler ile 160*120-640*480 arası farklı çözünürlük değerlerinde ve 10-30 kare/saniye arası değişen hızlarda çalışılmıştır. Kameradan alınan görüntüler, çözünürlüklerine uygun boyutlarda matrislere dönüştürülmüş, görü işleme algoritmalarında bu matrislerle çalışılmıştır. Görü işleme kısmı üç parçadan oluşmaktadır. İlki arka planın izlenip belirlenmesi, ikincisi takip eden görüntülerden arka plana aykırı kısımların algılanıp değerlendirilmesi, üçüncüsü cisimlerin belirlenmesi ve bu cisimlerden belirtilen tanıma uyanın konum bilgisinin çıkarılmasıdır.

Arka Plan, Arka Planın İzlenmesi ve Belirlenmesi

Birbirlerini yaklaşık olarak eş zaman aralıkları ile takip eden ayrık görüntülerden ikisi arasındaki fark, değişim hakkında bilgi vermektedir. Bu değişim kameraların görüntülediği alanda, varsa, hareketli nesnenin hareketini de içermektedir. Hareket algılama kısmında ilk olarak bu prensip kullanılmıştır. Kameradan gelen görüntüden her seferinde bir önceki görüntü çıkarılarak, hareketli kısmın görüntüde kalması sağlanmıştır. Fakat bu hareket görüntüsü, cismin ilk konumu ve ikinci konumunun üst üste binmiş halidir. Bu görüntüden, cismin gerçekte nerede olduğu ve yaklaşık orta noktasına ait konum bilgisi belirlenememektedir. Bu ilk ve ikinci algılanmış konumlarının üst üste görüntüsünün tamamı cisim olarak kabul edilmiş ve bu cismin merkezi bulunmuştur. Fakat alınan görüntüler arasında eşit zaman aralıklarının olmaması ve görüş alanına giren nesnelerin farklı hızlarda olması fark görüntüsünü cismin gerçek konum görüntüsünden oldukça uzaklaştırdığı tespit edilmiştir. Denemelerle, hesaplanan orta noktaların cisimlerin gerçek yörüngesi etrafında büyük salınımlar yaptığı görülmüştür. Bu noktada gelen görüntünün bir önceki görüntü yerine, başta belirlenecek bir arka planla karşılaştırılmasının hatayı azaltacağı tespit edilmiştir.

Belirlenecek arka planın, cisimler için referans görüntü kabul edilmesi istenmiştir. Bu amaçla arka plan, takip edilecek cisim ile bu cisim benzeri hareketli diğer nesnelere barındırmayan görüntü olarak tanımlanmıştır. Arka plan, izleme süreci sonunda belirlenen iki uç değer arasında kalan bant olarak belirlenmiştir. Arka planın izlenme süresi kullanıcıya bırakılmıştır. Yapılan denemelerde arka plan belirlenmesi için yaklaşık 50 kare görüntünün yeterli olduğu gözlenmiştir. Her seferinde, bu süre zarfında arka planı tanımlayacak iki sonuç görüntü matrisi oluşturulmaktadır. Bunlardan ilki izleme süresince arka plan görüntüsünün her bir piksel değerinin aldığı en düşük değeri (8-bitlik gri-düzye), diğeri en yüksek değeri tutar. Böylelikle izleme süresi sonunda, her bir piksel için bir arka plan aralığı tespit edilmiş olur.

Fark Görüntülerinin Bulunup Değerlendirilmesi

Arka planın belirlenmesinden hemen sonra cisim arama süreci başlatılır. Kameranın görüş alanına giren cisimler arka plandan farklı olmaları halinde rahatlıkla algılanabilmiştir. Cisim arama sürecinde, alınan her bir görüntü arka plan ile karşılaştırılır. Gelen görüntü içerisindeki belirlenen arka plana uyan kısımlar silinir. Geriye cisimleri içeren görüntü parçaları ve gürültü içeren alanlar kalır. Bu parçalardan sadece cisimleri barındıranların kalması için gürültüleri temizleyen bir algoritma kullanma gerekliliği doğmuştur. Burada, görüntü üzerindeki gürültülerin temizlenmesi için uygulanan, konvolüsyon temeline dayalı algoritmaların kullanımında bazı olumsuzluklar tespit edilmiştir (Seul, et al., 2000). Hem görüntü detayında kayıplar görülmüş hem de işlem süresi çok uzamıştır. İncelemelerle gürültünün bir kısmının, her bir piksel için belirlenen arka plan aralığını aşan etkinin devamı olduğu düşünülmüştür. Böylelikle, silme işleminden geriye kalan görüntü parçalarından sadece tek piksel büyüklüğünde olanlar arka plana eklenmiş ve silinmiştir. Geriye daha az gürültü barındıran bir görüntü kalmıştır.

Cisimlerin Belirlenmesi, Takip Edilecek Cismin Seçilmesi ve Merkezinin Bulunması

Geriye kalan görüntüde, silinmemiş görüntü parçaları içermeyen satır ve sütunlar belirlenir. Bunun için x ekseni boyunca sütunlar, y ekseni boyunca satırlar taranır. Bu satır ve sütunların aralarında görüntü parçaları içeren dörtgen alanlar kalır. Belirlenen her bir alan içerisindeki görüntü parçasının bir cisim görüntüsü olduğu kabulü yapılmıştır. Her bir cisim görüntüsü için onun büyüklüğü, tonu ve orta noktası belirlenir.

Görüntü parçasını içeren dörtgen alanın;

x_{alt} : yatayda alt sınırı,

$x_{üst}$: yatayda üst sınırı,

y_{alt} : düşeyde alt sınırı,

$y_{üst}$: düşeyde üst sınırıdır.

$p(x, y)$: görüntü matrisinde x ve y koordinatları ile belirtilmiş pikselin gri-düzeyde değeridir. Silinmiş pikseller için değeri 0'dır.

B : Dörtgen alan içerisinde bulunan cismin büyüklüğü için;

$$i = \begin{cases} 0; & p(x, y) = 0 \text{ ise} \\ 1; & p(x, y) \neq 0 \text{ ise} \end{cases}$$

$$B = \sum_{y=y_{alt}}^{y_{üst}} \sum_{x=x_{alt}}^{x_{üst}} i$$

T : Dörtgen alan içerisinde bulunan cismin tonu için;

$$T = \frac{\sum_{y=y_{alt}}^{y_{üst}} \sum_{x=x_{alt}}^{x_{üst}} p(x, y)}{B}$$

M : Dörtgen alan içerisinde bulunan cismin merkezi için;

$$X = \begin{cases} 0; & p(x, y) \text{ silinmiş ise} \\ x; & p(x, y) \text{ silinmemiş ise} \end{cases}$$

$$Y = \begin{cases} 0; & p(x, y) \text{ silinmiş ise} \\ y; & p(x, y) \text{ silinmemiş ise} \end{cases}$$

$$x_{orta} = \frac{\sum_{y=y_{alt}}^{y_{üst}} \sum_{x=x_{alt}}^{x_{üst}} X}{\sum_{y=y_{alt}}^{y_{üst}} \sum_{x=x_{alt}}^{x_{üst}} i}, \quad y_{orta} = \frac{\sum_{y=y_{alt}}^{y_{üst}} \sum_{x=x_{alt}}^{x_{üst}} Y}{\sum_{y=y_{alt}}^{y_{üst}} \sum_{x=x_{alt}}^{x_{üst}} i}$$

$$M = (x_{orta}, y_{orta})$$

Alınan her bir görüntüde bu cisim görüntülerinden önceden belirlenmiş büyüklükte ve/veya tonda olan bir tanesine ait alan merkezinin konum bilgisi ve görüntünün kameradan alındığı anın zaman bilgisi çalışmanın yörünge tahmin kısmına aktarılır.

3.2 Yörünge Tahmini

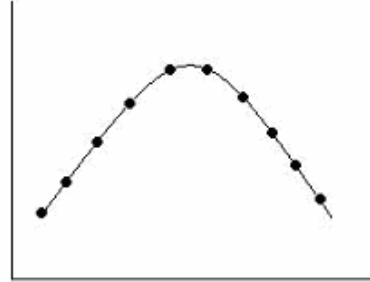
Cismin takip edilebilmesi için, görü işlemeyen elde edilen veriler ile yörüngesi ve genişletilerek ileri zamanda konumu tahminlenmiştir. Tahminleme için ilk önce Lagrange yöntemi ekstrapolasyona başvurulmuştur.

$$f_n(x) = \sum_{i=0}^n L_i(x) f(x_i)$$

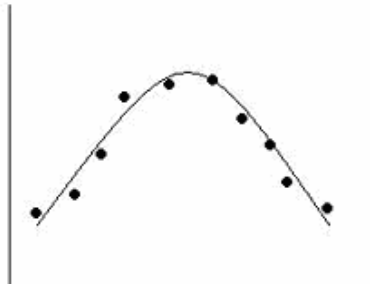
$$L_i(x) = \prod_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^n \frac{x - x_j}{x_i - x_j}$$

Ekstrapolasyon yukarıdaki genel Lagrange interpolasyon polinomuna ($f_n(x)$) ileri zaman girilerek yapılmıştır. 5. derece gibi yüksek dereceli Lagrange polinomu ile ekstrapolasyonda bulunan yörünge eğiliminin çok yüksek olduğu ve ileri zamanda tahminlenen konumun bu yüzden büyük hata içerdiği gözlenmiştir. Kullanılan 2. dereceden Lagrange polinomu ile bu eğilim azaltılmış ve tahmin edilebilen konumdaki hata oranı düşürülmüştür.

Bunun yanı sıra, yörünge tahminlemede görü işlemeyen bulunan cisim orta noktası kullanılmaktadır. Orta noktanın bir başka ifadesi, cismin alan tabanlı merkezidir. Üç boyutlu bir cisim kamerada iki boyutlu algılanmaktadır. Tahminlemede giriş olarak cismin kamera sensörü üzerine izdüşümü olan bu iki boyutlu görüntünün alan merkezini kullanmak, cismin şekline bağlı olarak hataya sebep olmaktadır. Eğer hareket eden cisim küre benzeri bir cisim ise burada oluşan hata en aza inmektedir. Ancak, küresel simetriye sahip olmayan bir cisim dönerek ilerliyor ise, bu durumda cisim merkezinin konumuna yönelik gelen verilerin Şekil 3'deki gibi değişimlerin gözlemesine neden olacaktır.



Şekil 2. Cisim küre benzeri ise hareket yörüngesi ve görüntüden elde edilen merkezin yörüngeyle durumu.



Şekil 3. Cisim küre benzeri değil ise hareket yörüngesi ve görüntüden elde edilen merkezin yörüngeyle durumu.

Tahminlemede kullanılacak verilerin yörünge etrafında salınabilmeleri olasılığı, Lagrange'a alternatif olarak "en küçük kareler yaklaşımı" yöntemi ile de çözüm geliştirilmesine ihtiyacı doğurmuştur. Bu yöntem ile cismin merkez verilerinden kaynaklanan hatanın en aza indirilmesi amaçlanmıştır.

Doğrusal olmayan en küçük kareler yaklaşımı için: $[Z_j]$: fonksiyonun başlangıç tahmini j 'de hesaplanmış olan kısmi türevlerinin matrisidir.

$$[Z_j] = \begin{bmatrix} \partial f_1 / \partial a_0 & \partial f_1 / \partial a_1 \\ \partial f_2 / \partial a_0 & \partial f_2 / \partial a_1 \\ \cdot & \cdot \\ \partial f_n / \partial a_0 & \partial f_n / \partial a_1 \end{bmatrix}$$

n : veri noktaları sayısıdır.

$\partial f_i / \partial a_k$: i 'inci veri noktasında k 'inci parametreye göre fonksiyonun kısmi türevidir.

$\{D\}$: ölçümler ve fonksiyon değerleri arasındaki farkları içeren vektördür.

$$\{D\} = \begin{Bmatrix} y_1 - f(x_1) \\ y_2 - f(x_2) \\ \cdot \\ y_n - f(x_n) \end{Bmatrix}$$

$\{\Delta A\}$: parametre değerlerindeki değişimi içeren vektördür.

$$\{\Delta A\} = \begin{Bmatrix} \Delta a_0 \\ \Delta a_1 \\ \cdot \\ \Delta a_m \end{Bmatrix}$$

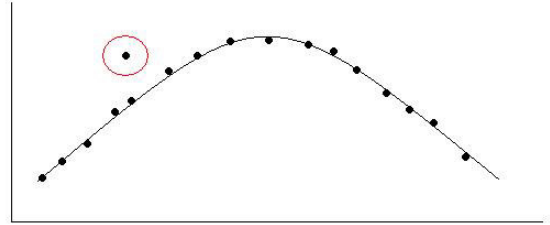
$$\{D\} = [Z_j] \{\Delta A\} + \{E\}$$

Yaklaşım, $[Z]^T [Z] \{\Delta A\} = [Z_j]^T \{D\}$

denkleminin $\{\Delta A\}$ için çözümünü içermektedir. Bu ise parametrelerin iyileştirilmiş değerlerini hesaplamak için kullanılır. (Chapra ve Canale, 2004) En küçük kareler yöntemi ile uydurulan 2. dereceden eğrilerin, Lagrange ile uydurulan eğrilerden daha doğru sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Çalışılan yeni nesil hızlı bilgisayarlarda, her iki yöntem birlikte kullanılıp birbirine alternatif sonuçlar elde edilmiştir.

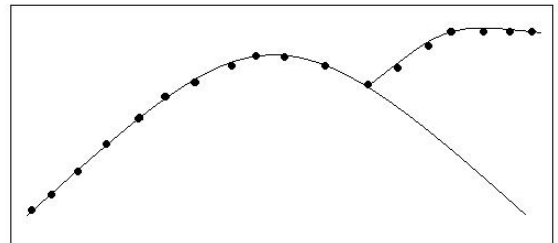
Daha az hatanın görüldüğü yöntemle bulunan sonuçların daha doğru olduğu kabul edilmiştir.

Cisimler, dıştan ya da içten bir etki olmadıkça düzgün olarak hareket edecektir. Sabit kuvvetler etkisinde ise algılanabilir ivmeli bir hareket yapacaktır. Örneğin, serbest düşme, eğik atış gibi hareketlerin izlenen kısımlarından çıkarılacak bilgilerle bir süre sonra nerede olacağını büyük doğrulukla bulunabilmektedir. Ancak yörünge ve ileri zamanda konum tahmini yapılacak cisim canlı bir örnekse, ileri zamandaki konum hakkında bulduğumuz tahminler geçerliliğini yitirmektedir. Uçmakta olan kuşun, bir manevra ile mevcut yörüngesini çok kısa sürede değiştirmesi mümkün olduğundan, onu takip edecek sistemin de ani değişimleri fark edip gerekli tepkiyi vermesi gerekmektedir. Bu yüzden, ilk olarak Şekil 4'teki gibi, yörüngeden çok uzakta olan veriyi hesap dışı eden bir algoritma kullanılmıştır.



Şekil 4. Göz ardı edilecek hatalı veri

Eğer gelen veri ile tahminlenen değer arasındaki fark (hata) çok fazla ve aynı zamanda geri dönmüyorsa (Şekil 5), yeniden yörünge tahminlemeye başlayacak bir algoritma geliştirilmiştir. Böylelikle hata oranı düşük, manevralara hızla uyum sağlayabilen bir yörünge tahmin yazılımı oluşturulmuştur.



Şekil 5. Dikkate alınacak yörünge değişimi

3.3 Robot Denetimi

Robot denetim kısmında, bilgisayar RS-232 haberleşme birimi üzerinden alınan konum bilgisi, robot eklem denetleyicilerine gönderilir ve bu bilgi gerekli kontrol işaretlerine dönüştürülerek robot eklem motorlarını harekete geçirir.

Konum Bilgisi Akışı

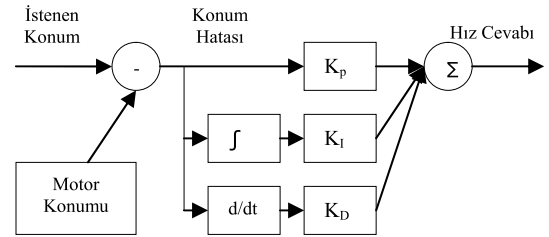
Görü işleme ve yörünge tahmin birimi üzerinden gelen bilgiler genellikle robot kolun ulaşması gereken konuma ulaşma süresinden daha hızlı işlenmekte ve gönderilmektedir. Bilgi işleme hızının sistemin mekanik cevap hızından çok daha yüksek olması beklenen bir sonuçtur. Tahmin algoritmaları, görü biriminden daha fazla gerçek konum bilgisi ile beslendikçe ileri zamanda cismin olası konumu hakkında doğruluğu daha yüksek sonuçlara ulaşmaktadır. Bu suretle yörüngesi dinamik olarak yüksek değişim göstermeyen, temel fizik kanunlarıyla ileri zamandaki konumu hakkında kestirimler yapılabilir olan cisimler için, görü işleme kısmından alınan verilerin artmasıyla, cisim yörüngesi hakkında daha fazla bilgiye sahip olunacak ve zaman geçtikçe yörünge doğruluğu artacaktır. Ancak sistemin mekanik hızının yavaş olduğu gerekçesi ile daha başından elde edilmiş tahminsel yörünge çıkarımları dahi robot denetim birimi tarafından anlamlı veri olarak kabul edilmiştir. Bu suretle ilk yörünge verileri ile robot eklem motorları harekete başlaması, cismin olası ileri zamanda bulunacağı yörüngedeki konum doğrultusunun, robotun yörüngesindeki konumuna karşılık düşen noktasına doğru yol almaya başlamış olması sağlanmıştır. Yeni gelen veriler ulaşılacak son nokta hakkında daha doğru bilgiler içerdiğinden, robot denetim birimine sürekli olarak veri akışına izin verilmiş, bu verilere, bir önceki konuma doğru olan hareketine son vererek ve yeni gelen verinin içerdiği konum bilgisini yeni hedef konum sayarak cevap verilmesi sağlanmıştır. Bu durumda her yeni ve doğruluğu daha yüksek olan veri geldiğinde bir önceki konum bilgisi silinmiş, yeni konum hedef alınmıştır. Mekanik cevabın, bu veri akış hızına göre oldukça yavaş olması nedeniyle bu kesmeler dinamik olarak yüksek mekaniksel salınımların oluşmasına izin vermeyecektir. Bu durumda güç aktarma oranı seçiminin burada önem arz ettiği gözlenmiştir.

Motor Denetimi

Motor denetimi için, iki yönlü hareketi sağlayabilen H-Köprüsü modeli içeren MOSFET kontrollü sürücüler tasarlanmıştır. Motor hız denetimi MOSFET'lere gönderilen PWM sinyalleriyle sağlanmıştır. PWM sinyalleri ADuC841 mikrodenetleyicisi tarafından konum bilgisine uygun şekilde üretilmiştir. Bu PWM sinyalleri mikrodenetleyici ile motor güç katı arasını yalıtılabilmek için optik yalıtım üzerinden MOSFET'leri tetiklemektedirler. Baskı devre tasarımında EMI ve motor gürültülerinin bozucu etkilerinin en alt seviyede hissedilir hale getirilmesi gözetilmiştir.

Motor konum denetimi, motor mili ucunda bulunan mutlak konum çözücülerin ürettiği darbelerin,

hedeflenen konum bilgisi ile karşılaştırılması ve buna bağlı olarak motorların hareket sinyallerinin üretilmesi ile yapılmaktadır. Hedef konum bilgisi ile mutlak konum çözücülerden alınan konum bilgisi arasındaki fark konum hatası olarak kabul edilmektedir. Konum hatası olarak belirlenen bu fark, motor denetimlerinde fazlaca kullanılan PID algoritmaları ile motor denetim sinyallerine dönüştürülmektedir (Delibaşı, et al., 2004)



Şekil 6. PID Motor Konum Denetimi

$$e(k) = \theta_d(k) - \theta_a(k)$$

$$U(t) = K_c \left(e + \frac{1}{T_i} \int_0^t e dt + T_d \frac{de}{dt} \right)$$

Motor konum bilgisi mutlak çözücüler üzerinden kare dalga gerilim işaretleri şeklinde alınmaktadır. Mikrodenetleyici, sayıcı kısmından, bu gerilim sinyallerini okumakta ve sayısal olarak istenen konum bilgisi ile karşılaştırmaktadır. Her bir motor denetimi için, mikrodenetleyicinin konum okuma, veri haberleşmesi ve PWM sinyallerini üretme işlemlerini aynı tabanda yürüttüğünden, özellikle sayıcının kesme alt programlarını işlettiği sürelerde okuyamayacağı konum sinyalleri olabileceği olasılığı ve işlem karmaşıklığını azaltma nedeni ile her bir motor denetimi için birbirinden ayrı işlem yapan, ayrı mikrodenetleyiciler kullanılmıştır.

4.GELECEK ÇALIŞMALAR VE SONUÇ

Çalışmadaki sistemin tasarımında çözüme ulaşabilme nedeniyle bir takım kısıtlara gidilmiştir. Sırasıyla, kamera görü alanı içerisindeki arka plan küçük parlaklık değişimleri dışında sabit kalmalıdır. Yörünge tahmininde, cismin temel fizik kanunları ile çözümlenebilen hareketlerin dışında yüksek değişkenli dinamik hareketler ile yol alıyor olması tahmin çıktılarını doğruluktan uzaklaştıracaktır. Cisim yörüngesinin robot çalışma yörüngesi doğrultusu ile ilk kavuşacağı ileri zaman olarak tanımlanan değişken, robotun ulaşabileceği en uzak konuma gidiş zamanını karşılayacak değerde olmalıdır. Aksi takdirde robot kavuşma için yeterli sürede hareketini tamamlayamayabilecektir.

Bu gibi kısıtların aşılması için yine sırasıyla; öncelikle görü işleme algoritmalarının değişken arka plan üzerinde çalışabilir hale getirilmesi gerekmektedir. Bu tür çözümlerde cisim tarama işlemi, cismin önceden tanımlanmış nitelikleri ile olacağından işlem karmaşıklığı ve dolayısıyla zamanı artacaktır. Bu nedenle yüksek hızlı ya da paralel çalışabilen işlemcili bilgisayarlar kullanılması gerekliliği doğacaktır. Ayrıca kamera sayısı artırılarak cismin konumu hakkında daha karmaşık ve keskin bilgiler elde edilebilecektir. Bu durumda kameraların eşzamanlı çalışabilmesi gerekliliği doğacaktır. Yörünge tahmin algoritmalarının daha dinamik hareketleri karşılayabilir hale gelmesi için bulanık-yapay sinir ağları kullanımının çözüm sunabileceği düşünülmektedir. Bu durumda yine işlem karmaşıklığı ve hesap döngü sayıları artacağından yine hızlı ya da paralel çalışabilen işlemcili bilgisayarlara ihtiyaç duyulacaktır. Robot hareketi üzerinde mekanik salınımları azaltmak ve konum bilgilerini eşzamanlı olarak alabilen bir yapı üretebilmek için robot denetimini yapan ve motor konum algılayıcılarını okuyan mikrodenetleyiciler yine yüksek hızlı işlem kapasiteli olmalıdırlar. Ayrıca yine dinamik titreşimleri önlenmesi için Bulanık-PID algoritmaları kullanmanın çözüm olabileceği düşünülmektedir.

Çalışmanın uygulama alanları olarak, amaçlarına göre üretim şeklinin düzenlenmesiyle; başta endüstriyel uygulamalar olmak üzere, güvenlik çözümlerinde ve savunma teknolojilerinde kullanılabileceği düşünülmektedir.

REFERANSLAR

- Delibasi, A., Turker, T., Cansever, G.(2004) *Real-Time DC Motor Position Control by Fuzzy Logic and PID controllers using Labview*, International IEEE conference on Mechatronics & Robotics, Aachen, Germany.
- James Mentz (2000) *Motion Control Theory Needed in the Implementation of Practical Robotic Systems*, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, USA.
- M. Seul, L. O’Gorman, M.J. Sammon (2000) *Practical Algorithms For Image Analysis: Description, Examples, and Code*, Cambridge University Pres, USA.
- S.C. Chapra, R.P. Canale (2004) *Yazılım ve Programlama Uygulamalarıyla Mühendisler için Sayısal Yöntemler* (çevirenler: Hasan Heperkan, Uğur Kesgin) Literatür Yayınları, İstanbul.