

OTOMASYONDA KAVRAMASIZ TAŞIMA VE MONTAJ

Faruk MENDİ*

M. Kemal KÜLEKCI**

Özet

Bu makalede otomasyon sistemlerinde üretilen ürünlerin rijit bir şekilde tutulmadan taşınması ve montajı incelenmiştir. Bu yöntemde, iş parçalarının ötelenmesi ve yerine montajı, bir robot tarafından iş parçasının bir düzlem üzerinde kaydırılmasıyla sağlanmaktadır. Söz konusu yöntemin kendine göre avantaj ve dezavantajları vardır. Çevreden ve taşıma işleminden kaynaklanan belirsizlikleri gideren, geri beslemeli öğrenme esasına dayalı kontrol sistemi tanıtılmıştır. Yapılan çalışmalar serbest bırakma işleminin, esnek taşıma sistemlerinin oluşturulmasında oldukça kullanışlı olduğunu göstermektedir. Söz konusu yöntem, özellikle esnek imalat sistemlerinde kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Montaj makinası, manipülâtör, bütünleşik imalat

NONGRASPING MANUPULATION AND TRANSPORTATION IN AUTOMATION

Abstract

In this article assembly and transportation by nongrasping of products which produced at automation systems was studied. In this method transportation and assembly of the workpieces are being done by a robot that makes a part slide away on a plane. It has both advantages and disadvantages. Learning control using visual feedback is introduced so as to accommodate the uncertainty of the manipulation and environment. Experiments verify that releasing is very useful to construct a flexible transportation system. The method can be used especially for flexible manufacturing system.

Keywords: Assembly machine, manipulator, holonic manufacturing

1.GİRİŞ

Günümüz rekabet ortamında, parça boyutlarının giderek küçültülmesi, montaj hattı yatırım maliyetlerinin ise daha aşağıya çekilmesi gerekmektedir. Bu gereksinimlerin yerine getirilebilmesi için, bütünleşik imalat sistemi (Holonc Manufacturing System) gibi üretim sistemleri geliştirilmiştir (IMS Promotion Center, 1996). Bu tür sistemleri oluşturan her bir alt sistem, kendi birimindeki işlemleri diğer birimlerden bağımsız olarak gerçekleştirir.

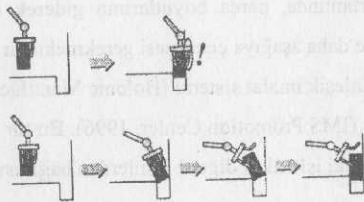
*Doç.Dr.G.Ü.Teknik Eğitim Fakültesi Tasarım ve Konstrüksiyon Eğitimi A.B.D.

**Yrd.Doç.Dr.AİBÜ.Teknik Eğitim Fakültesi Tasarım ve Konstrüksiyon Eğitimi A.B.D.

Pratikte her bir alt sistem farklı esneklik ve toleranslar dahilinde işlemlerini gerçekleştirmektedir. Son zamanlarda parçaların kavranmadan taşınabilmesinde esnekliğin artırılmasına çalışılmaktadır. Bu yöntemle parçalar montaj hattında kolayca sevk ve idare edilebilmekte, bilgisayar kontrol sistemlerinin yardımı ile de denetlenebilmektedir. Parçaların ötelenme türlerine göre parçayı etkileyen kuvvetler üzerinde durulmuş ve bir iş parçasının ötelenerek, bir kanala yerleştirilmesi örnek olarak verilmiştir. Daha sonra iş parçalarının serbest bırakılarak yerlerine montajı üzerinde durulmuş, serbest bırakma yöntemiyle öteleme ve montaj tartışılarak, görsel denetim incelenmiştir. Daha sonra serbest bırakma yöntemiyle yapılan deneysel çalışmaların sonuçları verilmiştir.

2. MANİPÜLATÖRLERLE TAŞIMA VE MONTAJ

Kavramasız taşıma ve montajda iş parçaları bir etkileyici yardımıyla rijit bir şekilde tutulmadan işlem gerçekleştirilmektedir. Bu yönüyle söz konusu yöntem çevre şartlarını kullandığından, geleneksel tutma ve yerine montaj işlemlerinden farklılık göstermektedir. Robot biliminde bir çok araştırmacı kavramasız taşıma teknikleri üzerinde çalışmıştır. Örneğin itme (Mason, 1986), yuvarlama, kendi ekseni etrafında çevirme (Aiyama and Arai, 1993), çarpma, atma (Lynch, 1996) vb. gibi. Bu teknikler otomasyonda parçaların taşınma ve montajında pek çok olanak sağlamaktadır. Bir iş parçası dar bir alana ötelenebilir ve bir manipülâtör olmaksızın konumunu değiştirebilir. Şekil 1'de bir iş parçasının kanala konumlandırılması işlemi görülmektedir.










Şekil 1. Çarpma Suretiyle Kanala Yerleştirme (Arai, and Aiyama, 1993)


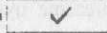
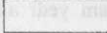
Eğer yukarıdaki parça bir robot tarafından rijit bir şekilde tutulmuş olsaydı, sağ yan taraftaki cidar, parçanın kanala yerleştirilmesine engel olacaktı. Parçayı yerine montajında, robotun parmaklarından birini parçadan çekmesi ve parçanın kanal cidarı yardımıyla kayarak yerine oturması gerekmektedir (Şekil 1.).

Otomasyonda kullanılan kavramasız parça taşıma teknikleri, bu alanda çalışan otoriteler tarafından iki kategori ve yedi alt sınıf olarak tanımlanmıştır (Tablo 1). Sınıflandırmada, kuvvetin iş parçasına uygulanış tarzı esas alınmıştır. Başlıca iki kategori; iş parçasının dinamik olarak taşınıp taşınmadığını ifade etmektedir. İki kategorinin altında tanımlanan toplam yedi alt sınıf ise, iş parçasına uygulanan kuvvetin kaynağına göre tanımlanmıştır. İş parçasına uygulanan kuvvetlerin başlıca dört kaynağı: (1) iş parçasının atalet kuvveti, (2) yer çekimi kuvveti veya diğer potansiyel alanların oluşturduğu kuvvet, (3) bir etkileyici tarafından uygulanan kuvvet, (4) iş parçasının bulunduğu çevre tarafından iş parçasına uygulanan kuvvettir (Aiyama and Arai, 1993).

Otomasyonla imalatta kullanılan taşıma tekniklerine ait örnekler tabloda liste halinde verilmiştir. Tutma ve konumlamada bir manipülâtör yardımıyla, iş parçası üzerine kuvvet uygulayarak işlem yapılmaktadır. Konveyör ile taşımada yer çekiminin iş parçasını konveyör üzerine bastırmasıyla, iş parçası kararlı bir şekilde taşınmaktadır. İtme ve çevirme ise, iş parçasının çevre şartlarını kullanarak yapılabilen kavramasız taşıma teknikleridir.

Tablo 1. Otomasyonda Kullanılan Parça Taşıma Teknikleri

Uygulanan kuvvet	Yarı statik taşıma				Dinamik taşıma		
	Tutma ve konumlama	Konveyör ile taşıma	İtme ve çevirme	İtme ve konumlama	Parça öteleyici	Serbest bırakma (çarpma-atma)	Parça besleyici
Atalet					✓	✓	✓
Yerçekimi		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Etkileyici	✓	✓	✓	✓			✓
Çevre etkili			✓	✓	✓	✓	✓
Örnek							

 : Genellikle kullanılan
  : Zaman zaman kullanılan
  : Kullanılmayan

İş parçasının taşınmasında dinamik hareket söz konusu ise; parça hareketi, uygulanan kuvvetteki oldukça küçük sapmalardan kolayca etkilenmektedir. Lynch, parçaların yönlendirilmesinde kullanılan yuvarlama, atma ve yakalama gibi dinamik taşıma tekniklerini planlayarak deneysel çalışmalar yapmıştır (Lynch,1996). Bu çalışmada tek eksenden tahrikli bir manipülatör yardımıyla, teorik olarak analiz edilmiş optimum taşıma şartlarını gerçekleştiren deneysel sonuçlar elde etmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi parça öteleyiciler de dinamik taşıma sınıfına dahil edilmişlerdir. Parça öteleyicilerle bir iş parçasını ötelerken, yer çekimi kuvvetinden istifade edilmektedir. Parça besleyiciler ise iş parçalarının sarsılarak bir kanala yönlendirilmesinde kullanılmaktadır. Parça öteleyiciler ile parça besleyiciler, otomatik montajın ilk safhalarında geliştirilmişlerdir (Boothroyd ve Redford, 1968).

3. SERBEST BIRAKMA

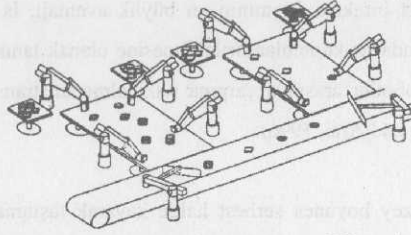
Serbest bırakma otomasyonda, iş parçalarının taşınmasında kullanılan bir parça taşıma metodudur. Bu yöntemde bir etkileyici (manipülatör), iş parçasının düzlem üzerinde kayarak hareket etmesi ve hedeflenen noktada durması için gerekli olan ilk hareketi sağlamaktadır. Parçanın düzlem üzerindeki son konumu; iş parçasının ilk hızı ve parça ile düzlem arasındaki sürtünme gibi dinamik şartlar esas alınarak belirlenmektedir.

Parça taşımada serbest bırakma işleminin en büyük avantajı, iş parçalarının montaj robotu çalışma alanı dışında da konumlandırılabilmesine olanak tanınmasıdır. Bu yöntem sayesinde iş parçaları, robotlar arasında çarpma riski olmadan transfer edilebilmektedir (Zhu, Aiyama, Chawanya and Arai, 1996).

İş parçalarının bir yüzey boyunca serbest halde kayarak taşınması, endüstride sıkça kullanılan bir yöntemdir. Boothroyd iş parçalarını atma suretiyle transfer edilmesi üzerinde çalışmıştır (Boothroyd and Redford, 1968). Voyerli, buz hokeyinde kullanılan lastik disklerin hareketlerini analiz etmiştir (Voyerli and Eriksen, 1985). Huang ise çarpma suretiyle tahrikle harekete geçirilen (impulsive manipulation), dairesel parçaların sayısal simülasyonunu gerçekleştirmiştir. Ancak parçaların hedeflenen noktaya konumlandırılmasında, çevre etkisi henüz araştırılmamıştır. Karmaşık geometriye sahip iş parçalarının montajında kullanılan "hücre montaj sistemi" (assembly cell system), konveyörlü montaj sisteminden daha iyi sonuç vermektedir (Makino and Arai, 1994). Hücre montaj sistemlerinde, robotlar hem montaj işleminde hem de parça taşımada kullanılmaktadır.

3.1. Serbest Bırakma Suretiyle Parça Taşıma Yönteminin Değerlendirilmesi

Bir arada çalışan robotlar çalışma esnasında birbirlerine çarpmalıdır. Serbest bırakma suretiyle iş parçalarının robotlar arasında taşınması bu riski ortadan kaldırır. Bu durum, Şekil 2.'de verilen esnek montaj hücrelerinin etkin bir şekilde kullanımına olanak tanımaktadır. Hücre düzlemsel bir tabla üzerine konumlandırılmış birden fazla robottan meydana gelmektedir. Birden fazla hücre, konveyörler yardımıyla birbirine bağlanabilir. Esnek montaj hücrelerinin yeniden düzenlenmesi, geleneksel montaj hatlarından daha kolaydır. Montaj hücrelerinin konveyörler yardımı ile birbirine eklenmesiyle daha büyük üretim sistemlerinin oluşturulması işlemi IMS programlarında Bütünleşik İmalat Sistemleri (Holonik Manufacturing Systems) olarak adlandırılmıştır (IMS Promotion Center, 1996).



Şekil 2. Kavramasız Taşıma Esasına Dayalı Esnek Montaj Sistemi

Serbest bırakarak taşıma yönteminin yukarıda deyinilen avantajlarına karşın, bazı dezavantajları da vardır; (1) çevre şartları nedeniyle meydana gelebilecek konumlama hataları, (2) çarpma ve iş parçasının geometrik yapısı nedeniyle meydana gelen konumlama hataları. İş parçasının vurularak ötelenmesinde; parçaya vurulan taraf yeterince sert ve kayma düzlemindeki yüzey, kaymaya elverişli olmalıdır. Dezavantajları kontrol altına almada görsel denetim yapılması önerilmektedir. Görsel denetim yardımıyla iş parçasının ilk hızı ölçülebilmekte ve parçanın son konumu belirlenebilmektedir. Görsel denetim sayesinde işlemler ve çevre şartları değerlendirilerek daha sonraki aşamalar tahmin edilebilmektedir. Görsel denetim, sadece iş parçasının konumunu belirlemekle kalmaz, aynı zamanda montajda yer alan diğer parçaların son durumlarının belirlenmesine de imkan tanır (Rizzi, 1992).

Serbest bırakma işleminde amaç; iş parçasının arzu edilen konuma taşınması ve istenilen hassasiyette konumlandırılmasıdır. Serbest bırakma yöntemi iki aşamayı içermektedir (Zhu, 1996). Birinci aşamada bir robot iş parçasına ilk hızı kazandırır. Bu aşama iki rijit parçanın e gibi bir yeniden konumlama katsayısı ile robot ve iş parçasının birbirleriyle çarpışması şeklinde modellenmiştir. İkinci aşama, iş parçasının sabit Coulomp sürtünme katsayısı μ ile düzlemsel bir tabla üzerinde kaymasını içerir. Çarpma ve kayma işlemleri eş zamanlı olarak başlamakta ve bunlara ait hesaplamaların çözümleri oldukça karmaşık hesaplamaları gerektirmektedir. Bütün çalışmalarda olduğu gibi yapılan modellemede parametre hataları ve önceden tahmin edilemeyen sorunların ortaya çıkması kaçınılmazdır. Yapılan deneylerden yola çıkılarak parametrelerdeki hatalar tekrar ayarlanabilmektedir. Parametrelerdeki sapmalar bu şekilde giderilebilirken, daha önce öngörülemeyen sorunların giderilebilmesi için: deneylerden elde edilen sonuçlara göre

yeniden düzeneğin ayarlanması gerekmektedir. Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlardan daha önceden öngörülemeyen hataların giderilebilmesi için, düzeneğin yeniden ayarlanarak düzenlenmesi gerekmektedir (Aboaf, 1988).

4. DÜZENEGİN ELDE EDİLEN SONUÇLARA GÖRE YENİDEN DÜZENLENMESİ

Deney düzeneklerinin yeniden düzenlenmesinde üç yöntem kullanılmaktadır.

- (1) "Sabit model yöntemi", bu yöntemde sürtünme ve yeniden konumlama katsayıları sabittir. Daha önceden tanımlanamayan hatalar, hedef noktasının yeri değiştirilerek giderilebilmektedir.
- (2) "Yeniden düzenleme yöntemi", bu yöntemde, deneylerde yapılan her ötelemeden sonra parametreler ve parçanın konumlanması hedeflenen nokta yeniden belirlenmektedir.
- (3) "Parametrelerin ayarlanması yöntemi", bu yöntemde parçanın konumlanması hedeflenen nokta değiştirilmemekte ancak parametreler gerekiyorsa yeniden belirlenmektedir.

Tablo 2. Yukarıda Verilen Yöntemlerin Parçaların Taşınma ve Konumlandırılmasındaki Farklılıkları Verilmiştir.

	Katsayı değişikliği	Çevre değişikliği
(1) Sabit model	yok	var
(2) Yeniden düzenleme	var	var
(3) Parametrelerin ayarlanması	var	yok

(1) de bir robotun, iş parçasını P_d gibi bir konuma taşınması istenilmektedir. Ancak iş parçası P_i gibi bir noktaya konumlandırılabilir. İşlemin tekrarında robot aynı parçayı tekrar tanımlanan konuma $P_d+k(P_i-P_d)$ taşır. Bir kaç deneme ve düzenlemeden, sonra robot iş parçasını istenilen konuma taşıyabilecektir. (2) de robot işlem parametrelerini ve parçanın konumlandığı hedefi her denemeden sonra yeniden düzenlemektedir. (3) de ise sadece katsayılar değiştirilmekte ancak iş parçasının hedeflenen konumunda değişiklik yapılmamaktadır.

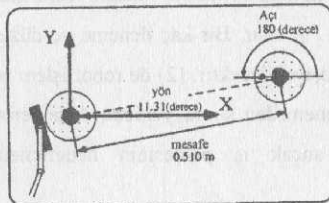
5. DENEY, SONUÇLARI VE ÖNERİLER

Şekil 3.'de verilen deney düzeneği, iki adet kamera, altı eksenli küçük bir manipülatör ve mukavva ile kaplanmış bir tabladan ibarettir. Manipülatörün ucunda, lastik bir diskten yapılmış ve iş parçasına vurarak ötelenmesini sağlayan bir plaka mevcuttur. İş parçasının ilk hızı, parçanın son konumundan ve kameralardan biriyle 1/30 s aralıklarla elde edilen görüntülerden, yararlanarak hesaplanmaktadır.

Şekil 4.'de iş parçasının ötelenmesinde iş parçasının hedeflenen konumu görülmektedir. On ayrı deney yapılarak her bir öteleme sonunda elde edilen sonuçlar Şekil 5.'de verilmiştir. Verilen grafiklerden (a)'da öteleme mesafesi, (b)'de dönme açısı ve (c)'de hareketin yönü sunulmuştur. Grafikler incelendiğinde; deneylerden elde edilen sonuçlara göre, deney düzeneğinin ve deney parametrelerinin yeniden düzenlenmesinin, iş parçasının istenilen noktaya konumlandırılmasında oldukça iyi sonuçlar verdiği saptanmıştır. (a)' ve (b)'de bir kaç denemeden sonra istenilen mesafe ve dönme açısına ulaşılabilirdiği tespit edilmiştir. (c)'de arzu edilen hareket yönüne diğerlerinden daha kolay ulaşılabilirdiği görülmektedir.



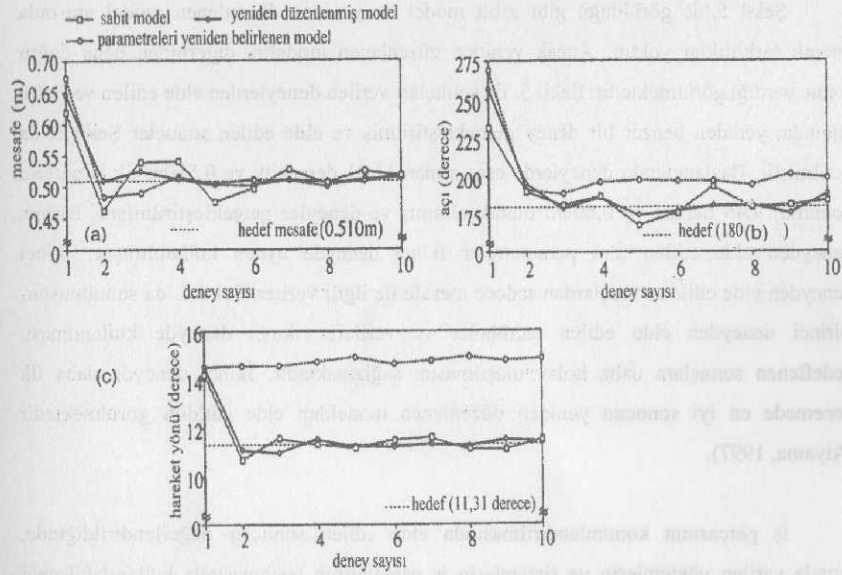
Şekil 3. Deney Düzeneği



Şekil 4. Ötelenen İş Parçasının Hedeflenen Konumu ve Yörüngesi

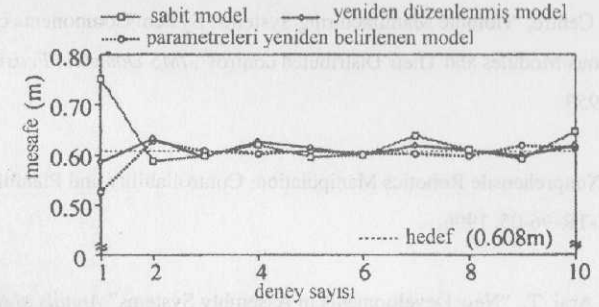
Şekil 5.'de görüldüğü gibi sabit model ile yeniden düzenlenen model arasında önemli farklılıklar yoktur. Ancak yeniden düzenlenen modelin, diğerinden daha doğru sonuç verdiği görülmektedir. Şekil 5.'de sonuçları verilen deneylerden elde edilen verilerin ışığında, yeniden benzer bir deney gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 6.'da verilmiştir. Başlangıçtaki deneylerde esas alınan 11,31 derecelik ve 0,510m'lik iş parçası konumu; 9,46 derece ve 0,608m olarak alınmış ve deneyler gerçekleştirilmiştir. Birinci deneyden elde edilen tüm parametreler ikinci deneyde aynen kullanılmıştır. İkinci deneyden elde edilen sonuçlardan sadece mesafe ile ilgili veriler, Şekil 6.'da sunulmuştur. Birinci deneyden elde edilen tecrübeler ve verilerin ikinci deneyde kullanılması, hedeflenen sonuçlara daha kolay ulaşılmasını sağlamaktadır. İkinci deneyde daha ilk denemede en iyi sonucun yeniden düzenlenen modelden elde edildiği görülmektedir (Aiyama, 1997).

İş parçasının konumlandırılmasında elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, burada verilen yöntemlerin ve sistemlerin iş parçalarının taşınmasında kullanılabileceği görülmektedir. serbest bırakma suretiyle parça taşıma yöntemi ile elde edilen sonuçların değerlendirilerek yeniden parametre ve sistemin düzenlenmesi, esnek parça taşıma sistemlerinin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Aynı yöntem ve sistemler hücre montaj işlemlerinde de kullanılabilir.



Şekil 5. Elde Edilen Deneysel Sonuçlarına Göre Tekrarlanan Ardışık Deneyler

Bu çalışmada kavramasız taşıma yöntemleri, iş parçalarına uygulanan kuvvete göre sınıflandırılmıştır. Serbest bırakma suretiyle parça taşıma yöntemine ait literatürde verilen deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar verilmiştir. Elde edilen sonuçların yeniden değerlendirilmesiyle parametrelerin yeniden belirlenmesinin hedeflenen sonuçlara ulaşmada etkili olduğu görülmektedir. Yapılan deneyler elde edilen deneyimlerin, daha sonraki çalışmalarda kullanılmasının istenilen sonuçlara ulaşmada etkili olduğunu doğrulamaktadır. Serbest bırakma suretiyle parçaların ölçülerek taşınması, bütünlük üretim sistemlerinin geliştirilmesine imkan tanımaktadır.



Şekil 6. Birinci Deneyden Elde Edilen Deneyim Ve Parametrelerin Kullanıldığı Ardışık Deneyler

Son yıllarda özellikle bütünlük imalat sistemleri üzerine çalışmalar artarak devam etmektedir. Bu sistemlerde, iş parçalarının geometrik yapısından ve diğer özelliklerinden bağımsız taşıma tekniklerine gereksinim duyulmaktadır. Serbest bırakma suretiyle kavramasız taşıma yöntemleri bu sistemlerde başarıyla kullanılabilirler.

KAYNAKLAR

- Aboaf, E. W., et al "Task-Level Robot Learning ", Proc. IEEE ICRA,1309-1310, 1988.
- Aiyama, Y. Et al., "Pivoting: A New Method of Grasplless Manipulation of an Object by Robot Fingers ", Proc. IEEE/RSJ IROS, 136-143,1993.
- Aiyama, Y. and Arai, T., "Dexterous Manipulation With General Manipulation Methodology", Proc. IEEE/RSJ IROS, 905-910,1993.
- Boothroyd, G. and Redford, A. H., *Mechanised Assembly*, McGraw-Hill, 1968.
- Huang, W.H., Krotkov, E.P. and Mason, M.T., "Impulsive Manipulation", proc.IEEE ICRA, 120-125,1995.

IMS Promotion Centre, "Holonc Manufacturing Systems: System Components of Autonomous Modules and Their Distributed control", *IMS Domestic Feasibility Study No:950*

Lynch, K.M., "Nonprehensile Robotics Manipulation: Controllability and Planning", CMU-RI-TR-96-05, 1996.

Makino, H. and Arai, T., "New Developments in Assembly Systems" *Annals of the CIRP*, 43/2, 501-512, 1994.

Mason, M.T., "Mechanics and Planning of Manipulator Pushing Operation", *Int'l J. Robotics Research*, Vol. 5, No:3, 53-71, 1986.

Rizzi, A.A. and Koditshek, D.E., "Progress in Spatial Robot Juggling", *Proc. IEEE ICRA*, 775-780, 1992.

Voyenli, K. and Eriksen, E., "On the Motion of an Ice Hockey Puck", *American J. Physics*, 53(12), 1149-1153, 1985.

Zhu, C., Aiyama, Y., Chawanya, T. and Arai, T., "Releasing Manipulation", *Proc. IEEE/RSJ IROS* 911-916, 1996.