

Kyriakopoulos, Kostas J., and Savvas G. Loizou. 2006. Section 2.4 Robotics: Fundamentals and Prospects, pp. 93-107, of Chapter 2 Hardware, in CIGR Handbook of Agricultural Engineering Volume VI Information Technology. Edited by CIGR-The International Commission of Agricultural Engineering; Volume Editor, Axel Munack. St. Joseph, Michigan, USA: ASABE. Copyright American Society of Agricultural Engineers.

Çevirmenler: Pınar DEMİRCİOĞLU ve İsmail BÖĞREKÇİ

Çeviri Editörleri: Sefa TARHAN ve Mehmet Metin ÖZGÜVEN

## 2.4 Robotik: Robotiğin Temeli ve Robotların Geleceği

Yazarlar: K. J. Kyriakopoulos ve S. G. Loizou

Çevirmenler: Pınar DEMİRCİOĞLU ve İsmail BÖĞREKÇİ

**Özet:** Robotik; kavram, tasarım, imalat ve robotların işleyişini içeren mühendislik dalıdır. Robotlar, fiziksel faaliyetleri ya da karar vermeyi içeren görevlerin yürütülmesinde insanın yerini alması düşünülen makinelerdir. Sabit ve hareket temelli robotik alanlarından bazılarını ve sualtında, havada ve yürüyen robotlardan beklentiler burada sunulmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Robotik, Sabit temelli robotlar, Hareket temelli robotlar

### 2.4.1. Robot Tanımları ve Kısa Bir Tarihçe

Yapay sistemlere hayat verme isteği, insanlık tarihinin derinlerinde yatmaktadır. Yunan mitolojisinde, topraktan insanın kalıbını yapan titan Prometheus ve Hephaestus tarafından işlenmiş bronz köle olan büyük Talus, işgalcilerden Girit adasını korumak için görevlendirildiler ve bu görevi yapmayı üstlendiler.

Günümüzde insanların zihninde oluşan şekliyle “Robot” kavramını ilk olarak 1921’de Çek oyun yazarı Karel Čapek tarafından *Rossum’un Evrensel Robotları* (*RUR, Rossum’s Universal Robots*) bilim kurgu hikâyesinde tanıtılmıştır. Bu hikâyede Rossum tarafından yapılan otomatı belirtmek için, yönetsel iş gücü demek olan Slav *robota* kelimesinden *robot* terimini türetti. Hikâyede bu otomat sonunda insanlığa baş kaldırmaktadır.

Semboller ve Kısaltmalar Listesi			
O	Kartezyen çerçeve	CCD	şarj eşleştirmeli cihaz
$O_{xyz}$	x, y, z eksenleri ile kartezyen çerçeve	IC	entegre devre
q	ortak değişken	PID	oransal-integratör-türev
p	konum vektörü	DAC	dijitalden analoga dönüştürücü
$\eta, s, a$	birim vektörleri	AGV	otomatik yönlendirilmeli araç
A	döndürme ve çevirme matrisi	AMR	otonom mobil robot
R	döndürme matrisi	UUV	insansız denizaltı aracı
P	nokta	AUV	otonom denizaltı aracı
$\lambda$	genelleştirilmiş koordinat	ROV	uzaktan kumandalı araç
L	Lagrange	GPS	küresel konumlama sistemi
T	kinetik enerji	MBE	çoklu ışın demeti yankı alıcısı
U	potansiyel enerji	SSS	yandan taramalı sonar
$\zeta$	genelleştirilmiş kuvvet	SBP	dip altı profilleyici
DC	doğru akım	CTD	iletkenlik, sıcaklık ve derinlik
AC	alternatif akım		

1940'lı yıllarda, ünlü bilim kurgu yazarı Isaac Asimov, robotu insan görünüşünün bir otomasyonu olarak düşündü. Gerçekleştirmek için programlanmış olduğu görevlerin dışında, robotun davranışı belli etik kuralları takip eden bir insan tarafından programlanmış "positronic" bir beyin tarafından yönlendirilmiştir. *Robotik terimi*, robotiğin *üç temel yasasına* dayanan robotların çalışmasına ayrılmış bir bilim olarak, Isaac Asimov tarafından ortaya atılmıştır.

1. Bir robot bir insana zarar veremez veya kayıtsız kalarak bir insanın zarar görmesine neden olamaz.
2. Birinci yasa ile çatışmamak şartı ile bir robot, insanlar tarafından verilen emirlere uymak zorundadır.
3. Birinci ve ikinci yasa ile çatışmamak şartı ile bir robot kendi varlığını korumalıdır.

Robotun, Amerikan Robot Enstitüsü tarafından yaygın bir şekilde kabul edilen tanımı ise, *“malzemelerin, parçaların ve araçların hareket ettirilebilmesi için tasarlanmış olan çok fonksiyonlu ve programlanabilir manipülatör veya farklı görevleri yerine getirebilmek için değişken programlı hareketleri gerçekleştirebilen özel araç”* şeklindedir. Böyle bir endüstriyel robotun yapısı:

- Mafsallarla bağlı bir dizi katı cisimden (linkler) oluşan mekanik bir yapı (manipülatör). Manipülatör insan eli için analog robottur ve onu kol, bilek ve uç elemanı (uç efektörü) ile karakterize edebiliriz.
- Hareket halindeki robotu ayarlamak için sorumlu olan eyleyiciler. Genellikle tahrik için kullanılan motorlar, elektrik, hidrolik, pnömatik ve benzeridir.
- Durumu ve çevresi hakkında bilgi topladığı algılama altsistemi. Bu sistem aynı zamanda dışsal komutları kabulden sorumludur.
- Kontrol sistemi (bilgisayar), akıllı ve etkili bir şekilde hareket etme ve algılamayı birleştirir, böylece tüm sistem beklendiği gibi bir performans sergiler.

Bir endüstriyel robot için verilen ilk patenti George Devol almıştır ve bu ürününe Unimation ismini vermiştir. 1959 yılında General Motors'un Turnstead'daki tesisinde endüstrideki ilk robot uygulaması yapılmıştır. İlk robotlar çok büyük olup, hidrolik sistemler tarafından hareketlendirilmiştir. Onları programlamak, kontrol etmek ve bakımlarını yapmak oldukça zordu. 1970'lerde robot endüstrisi mikroşlemcilerdeki gelişmelerden büyük ölçüde yararlandı. Yeniden programlanması kolay olan yeni robot modelleri üretildi. Daha fazla hesaplama gerektiren hızlı kontrol mimarileri daha sonra gerçekleştirilmiştir ve yeni robotlar daha büyük bir uygulama çeşitliliğine sahip olmuştur. Robotlarda kullanılan hidrolik sistemlerin yerini önce doğru akım (DC) motorlar ve daha sonra da alternatif akım (AC) servo motorlar almıştır.

1990'lara kadar robotlar endüstride varolan kesin olarak kanıtlanmış bir teknolojiydiler. Günümüzde onlar tehlikeli ve hijyenik olmayan ortamlarda

kullanılmaktadır. Onlar, yüksek bir verimle ve sürekli kaliteli tekrarlayan görevler gerçekleştirmektedir. Onlar, pek çok kişiden işlerini ellerinden almış olmalarına rağmen, büyük teknolojik gelişmeler de sağladılar.

#### 2.4.2. Robotların Sınıflandırılması

Robot sınıflandırmasında en sık kullanılan kriterleri aşağıda sunulmaktadır:

- *Serbestlik dereceleri sayısı veya (eklemler) hareketlilik derecelerinin sayısına göre sınıflandırma:* Hareketlilik dereceleri (eklem sayıları) belirli bir görev için istenen gerekli serbestlik derecelerini sağlamak için mekanik yapı boyunca dağıtılmaktadır. Üç boyutlu uzayda gelişigüzel bir görev için altı serbestlik derecesi gereklidir: üçü bir nesnenin konumu, üçü de yönlendirmesi için. Eğer belirli bir manipülatör için serbestlik derecesinden daha fazla hareketlilik derecesi varsa, o zaman onun gereksiz olduğu söylenir.

- *Eklemlerin konfigürasyonuna göre sınıflandırma:* Eklemler, bağlantılar arasında göreceli hareketin gerçekleştirilmesi için kullanılır. İki eklem tipi vardır: Doğrusal göreceli hareket için kullanılan *kayar eklemler* ve doğrusal göreceli hareket için *döner eklemler*. Başka eklem türleri bu iki eklem türünün bileşimi olarak kabul edilebilir. Döner eklemler, genellikle onların kompaktlığı ve güvenilirliği nedeniyle kayar olanlara tercih edilir.

- *Mekanik/geometrik konfigürasyonuna göre sınıflandırma:* Robot kolunun hareket derecelerinin tipi ve sırası onların mekanik/geometrik konfigürasyonlarına göre manipülatörlerin sınıflandırılmasına müsaade eder.

Birbirine dik eksenleri ile üç tane kayar tip eklem *Kartezyen* manipülatörleri karakterize eder. Bu eklemler, kinematik zincirin ilk üç eklemidir. Kartezyen geometri basittir ve iyi bir mekanik rijitlik ve sürekli konumlama doğruluğu sağlar. Çalışma alanı paralel yüzlüdür.

Silindirik manipülatörler için, kinematik zincirin ilk eklemi dönel, ikinci ve üçüncü eklemleri Kartezyen gibi kayardır. Çalışma alanı içi boş silindirin bir kısmıdır.

SCARA tipi robotlar, kinematik zincirin ilk iki eklemi dönel, üçüncüsü kayar eklem sahiptir. SCARA kısaltması "*Seçici Uyumlu Montaj Robot Kolu*" anlamına gelmektedir ve dikey yüklere yüksek rijitlik ve yatay yüklere uyum sağlayan bir yapının mekanik özelliklerini karakterize etmektedir. Çalışma alanı içi boş silindirin bir kısmıdır.

Üç döner eklem antropomorfik (insan kolu benzetişimli) geometri gerçekleştirir. İlk eklem eksenini diğer iki paralel eklem eksenlerine ortogonal (dik) dir. Çalışma alanı kürenin bir kısmıdır.

- *Tahrik sistemi tipine göre sınıflandırma:* Tahrik sistemi tipine göre robotlar, pnömatik, elektrikli hidrolik veya karma tahrik olarak sınıflandırılabilir.

- *Kontrol tipine göre sınıflandırma*: Bir robota uygulanan denetime dayanarak, robotlar, noktadan noktaya, sürekli yörünge, kontrollü yörünge, servo ve servo olmayan robotlar olarak sınıflandırılabilir.

### 2.4.3. Sabit Temelli Robotlar

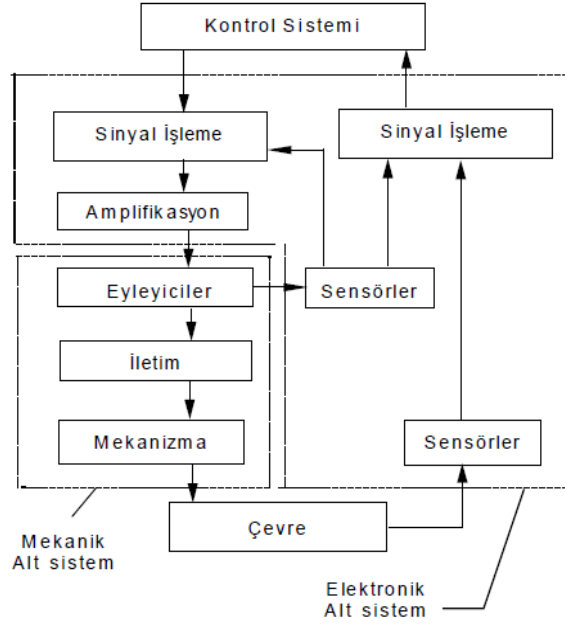
#### *Tanım*

Çalışma alanında belirli bir konuma sabitlenmiş tabana sahip robotlar, endüstriyel robot sistemlerinin geleneksel türünü oluşturur. Onlar mekanik bir kol, uygun eyleyici ve elektronik elemanlar aracılığıyla canlandırılan eklem ve uzuvların bir zincirini oluşturur. Şekil 1'de gösterilen endüstriyel robot sisteminin yapısı, mekanik bir altsistem, devindiriciler, algılama altsistemi ve kontrol sisteminden oluşur.

#### *Karakterizasyon*

Sabitlenmiş tabana sahip robotlar, mekanik/geometrik yapılarına göre sınıflandırılır. Bunlar *Kartezyen*, *kızak* (Kartezyen tipi), *silindirik*, *küresel*, *antropomorfik* ve *SCARA*'dır. Onların hareket tiplerine göre ise, *servo olmayan noktadan noktaya*, *noktadan noktaya servo kontrollü veya sürekli yollu servo kontrollü* olarak sınıflandırılır.

Endüstriyel bir robotun en önemli özelliği onun *maksimum yük taşıma kapasitesi*, *tekrarlanabilirliği* ve *doğruluğudur*. *Maksimum yük taşıma kapasitesi*, manipülatör kenarına taşınabilen yüküdür. Uygulama noktası bileğin flanşı olarak değerlendirilir. *Tanımlanan yük miktarı*, mekanizmanın hareket hızına bağlıdır, yani tanımlanan yükten daha fazla olan bir yük, ancak daha düşük hızlarda taşınabilir. *Tekrarlanabilirlik*, birkaç tekrardan sonra robotun aynı yere dönme kapasitesini ifade eder. *Tekrarlanabilirlik*, robotun hareketini durduracağı aralık olarak verilmektedir. Robotlara yapacakları hareketlerin öğretildiği endüstriyel uygulamalara geldiği zaman *tekrarlanabilirlik*, önemli bir faktör olmaktadır. *Doğruluk*, robotun gitmesinin emredildiği yere tam olarak gitme yeteneğidir. Genellikle *doğruluk* kontrol sisteminin kesikli hale getirilmesine, robot parçalarının mekanik bağlantılarına ve servo operasyonun dayattığı müsaade edilen minimum hataya dayanmaktadır. *Doğruluk*, *tekrarlanabilirliğin* aksine yükün büyüklüğü ve tipinden etkilenir. Çeşitli üretim şirketlerinin sadece *tekrarlanabilirliği* belirtmeleri de bu nedenledir.



Şekil 1. Bir robot sisteminin temel mimarisi.

### ***Kinematik ve Dinamik***

Kapalı kinematik zincir yapısına sahip robotlarla karşılaşılabilmesine rağmen, sabit temelli endüstriyel robotların temel yapısı açık kinematik zincir yapısındadır. Zincirin diğer ucu, uç efektörü uzayda nesne manipülasyonuna müsaade etmek için bağılyken, zincirin bir ucu bir temele sınırlıdır. Direk kinematik, ortak değişkenlere dayandırılan uç efektörün konum ve yönelimini belirler. Ters kinematik, belirli bir uç efektör konum ve yönelimine uygun gelen ortak değişkenleri belirler. Ters kinematik problemi için, kapalı form çözümü her zaman mümkün değildir, bir çözüm benzersiz olmayabilir, sonsuz çözümler var olabilir ya da spesifik bir robotun yapısı için kabul edilebilir çözümler olmayabilir [1]. Burada direk kinematiğin durumunu dikkate alacağız. Eğer bir referans çerçevesi farzederseniz,  $O_0 - x_0y_0z_0$ ,  $i=1, \dots, n$   $i$  ninci ortak değişken  $q_i$  olsun.  $\eta$ ,  $s$ ,  $a$  uç efektöre iliştilirilmiş bir çerçevenin birim vektörleri ve  $p$  bu çerçevenin merkezinin konum vektörü olsun.  $O$  zaman uç efektörün konumu aşağıdaki gibi verilir:

$$\begin{bmatrix} \eta^0(q) & s^0(q) & a^0(q) & p^0(q) \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = A_1^0(q_1) A_2^1(q_2) \dots A_n^{n-1}(q_n) \quad (1)$$

$A_i^{i-1}(q_i) = \begin{bmatrix} R_i^{i-1} & r_i^{i-1} \\ 0^T & 1 \end{bmatrix}$  ile ve  $R_i^{i-1}$  dönme matrisi,  $r_i^{i-1}$  çerçeve  $i$ 'den çerçeve  $i-1$ 'e öteleme vektörü. Örneğin, Şekil 2'deki bir  $P$  noktası  $O_o$  referans çerçevesi bakımından  $p^0$  vektörünün ve  $O_l$  referans çerçevesi bakımından  $p^l$  vektörünün

koordinatlarına sahiptir.  $p^0$  ve  $p^1$  vektörleri, dönme ve ötelemeyi temsil eden  $\begin{bmatrix} p^0 \\ 1 \end{bmatrix} = A_1^0 \begin{bmatrix} p^0 \\ 1 \end{bmatrix}$  dönüşümü aracılığıyla birbirleriyle ilişkilidir.

Dinamik model veya robot ortak eyleyici torkları ve yapının hareketi arasında fonksiyonel ilişki sağlar. Lagrange [5] formülü ile, hareket denklemleri sistematik bir şekilde türetilir. *Genelleştirilmiş koordinatlar*  $\lambda_i$ ,  $i = 1, \dots, n$  olarak adlandırılan bir dizi değişken genişletmek için seçilir. Genelleştirilmiş koordinatlar, manipülatörün hareketinin  $n$  derecesinin bağlantı konumlarını tanımlarlar. Sistemin *Lagrange L*, genelleştirilmiş koordinatların bir fonksiyonu olarak tanımlanabilir:

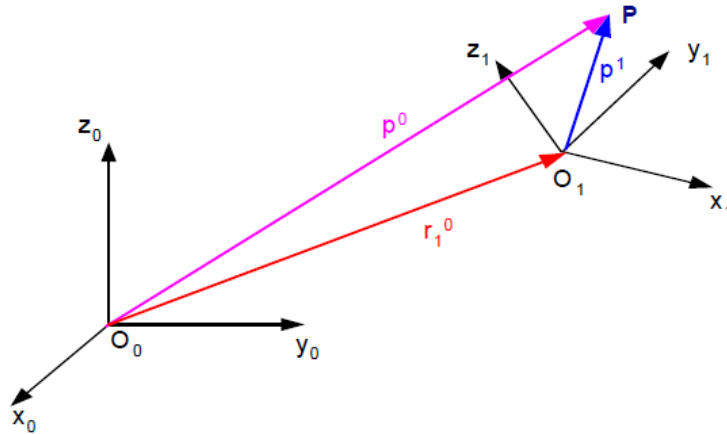
$$L = T - U \quad (2)$$

$T$  sistemin toplam kinetik enerji ve  $U$  sistemin potansiyel enerjisidir. Lagrange denklemi, aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \lambda_i} - \frac{\partial L}{\partial \lambda_i} = \xi_i \quad (3)$$

$\xi_i$ , genelleştirilmiş koordinatlar  $\lambda_i$  ile ilişkili genelleştirilmiş kuvvettir. Açık kinematik zincir robot için, genelleştirilmiş koordinatların genel seçimi ortak değişkenlerin vektörüdür:

$$\begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \vdots \\ \lambda_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_1 \\ \vdots \\ q_n \end{bmatrix} \quad (4)$$



Şekil 2. Bir P noktasının farklı koordinat yapılarında temsil edilmesi.

### ***Sensörler***

Sensörler, çeşitli elektronik ve diğer düşük güçlü komponentler içeren robotun elektronik altsisteminin bir parçasıdır. Bu elemanlar, optik enkoderler, potansiyometreler, analizler, kameralar, vb. gibi robotta bulunan entegre ölçüm cihazlarından oluşur [2]. Diğer bir grup elemanlar, uygun bir şekilde bir referans sinyalinin yükselterek, ihtiyaç duyulan elektrik enerjisini motorlara sağlayan analog güç elektroniğinden oluşur. Elektroniğin diğer grubu, altsistemler arasındaki sinyalleri onları uyumlu bir forma (analog-dijital dönüştürücüler, karşılaştırıcılar, vb.) dönüştürerek transfer eder.

Robotun kendi konfigürasyonlarını belirlemek için kullanılan sensörlerin yanında, genellikle etrafındaki çevrenin algılaması yapılır. Çevresel algı genellikle görsel ve dokunsal sensörler vasıtasıyla yapılmaktadır. Görsel sensörler, nesne tanıma veya bir nesnenin varlığı, robottan olan uzaklığı, nesnenin şekli, yönü ve hacmi hakkında bilgi toplamak için kullanılır.

Robot görme sistemleri, birkaç kamera ve bir işlem biriminden oluşabilir. Kameralar yüksek çözünürlük sağlayan CCD olabilir; onlar ışık frekanslarının yüksek bir bant genişliğine cevap verirler, hafif ağırlıktadır ve düşük güç tüketimine sahiptir. İşlem birimi genellikle dijital olarak görüntü sinyalinin işleyen entegre bir devre (IC) ile yapılmaktadır.

Dokunsal algılama ve piezoelektrik kristaller, mikro anahtarlar ve kuvvet sensörleri gibi dokunma sensörleri vasıtasıyla yapılmaktadır [12].

### ***Hareket Kontrolü***

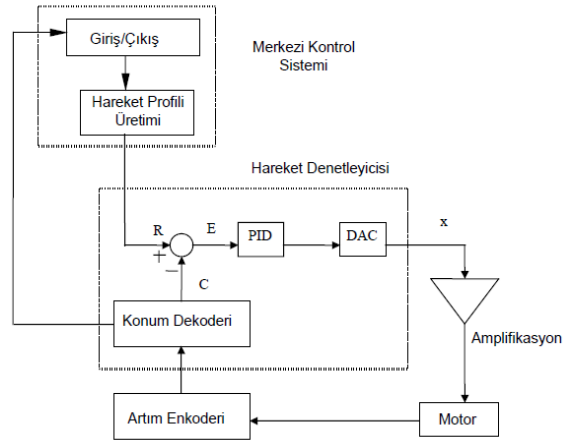
Kontrol altsistemi [6] robotun "beyni" dir. Kontrol altsistemi, izleme, koordinasyon, kontrol, karar verme ve sistemin geri kalanı için komutlar vermekten sorumludur. Tüm bu fonksiyonlar aslında tam bir bilgisayar olan bir mikroişlemci aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Tipik bir kontrol mimarisi Şekil 3'te gösterilmektedir.

### ***Programlama***

Bir robotun bir görevi yerine getirmesi için, ilk olarak programlanması gerekmektedir. Robot programlaması, robot faaliyetler dizisinin ve hareketlerinin tanımlanması ve robota bu hareketleri/aktiviteleri öğretilmesini kapsamaktadır [3]. Robot sistemlerin programlanmasında kullanılan gelişmiş programlama teknikleri vardır. Robot programlama online ve offline programlama şeklinde iki gruba ayrılabilir. Çevrim içi programlamada robot, programlama sürecinin çeşitli aşamalarında yer almaktadır; çevrim dışı programlamada ise robot, program geliştirmeye katılmaz, yalnızca önceden belirlenmiş bir programı çalıştırır.

Çevrim içi programlama, göster ve öğret tekniği olarak anılır. Bu teknik manuel olarak her istenilen konuma robotu hareket ettirmeyi gerektirir. Ortaya çıkan "program", daha sonraki bir aşamada aynı hareketi gerçekleştirecek robota komut vermek için kullanılan harici ekipmandan alınan bir dizi ortak koordinat ve

aktivasyon sinyalleridir. Çevrim dışı programlama için ileri düzeyde planlama detaylarını bilmek gerekir. Bu tip programlamalar montaj hattında birden fazla robotun birlikte çalıştığı durumlarda kullanılabilir. Çevrim dışı programlama bilgisayar programlamaya benzer bir dil tabanlı programlama tekniğidir. Çevrim dışı programlama ile, programlar yüksek ya da düşük seviyeli dillerde yazılır. Şu anda 100'den fazla robot programlama dili vardır. Tablo 1, en sık kullanılan robotik dillerin bazılarını gösterir.



Şekil 3. Kontrol mimarisi.

Tablo 1. Tipik robot programlama dilleri.

Geliştirici	Dil	Robotik Platform
Cincinnati Milacron	T3	T3
Unimate robot sistemleri	RPL, VALII	PUMA
Adept	VALII	Adept1
Sheinmann	AL, PAL	Stanford Kolu
IBM	AML, Funky, Emily, Maple Autopass	IBM Kolu
Bedix	RCL	PACS Kolu
General Electric	Help	Allegro
Anorad	Anorad	Anomatic
Olivetti	Sigla	Sigma
Stanford	WAVE	Stanford Kolu, Robovision
Automatix	RAIL	Autovision, Cyber Vision

### Tipik Ticari Robotlar

PUMA tipi robot, özellikle de bilim dünyasında en çok bilinenlerden biridir. PUMA kelimesi *montaj için programlanabilir evrensel makinesi (Programmable Universal Machine for Assembly)*'nin kısaltmasıdır. PUMA tipi robot, her yerde uç efektörünün konumlanmasına ve kendi çalışma alanı içinde herhangi bir yönlendirmeye müsaade eden altı adet hareket eksenine sahiptir. Onun antropomorfik yapısı yüzünden çok kullanışlı ve açık mimarisi yüzünden kontrol etmesi kolaydır. O, araştırmaların yanında sanayide de kullanılmaktadır. Unimation A.Ş. tarafından üretilmiştir.

SCARA robot, Japon Profesör Hiroshi Makino tarafından tasarlanmıştır. Yatayda elastiklik ve dikey yüklemeye büyük rijitliğe sahiptir. Bu nedenle, robot



dikey montaj işlemleri için kullanılır. İlk iki eklemin motorları ilk bağlantıda olduğu için, ikinci bağlantı ve sonraki asılı kısım, robotun daha yüksek hız elde etmesine müsaade ederek hafifler. Bu robotlar, diğer robot tipleri ile karşılaştırıldığında 10 kat daha hızlıdır. Adept (www.adept.com) bu tip robotların bir üreticisidir.

CRS ROBOTICS, antropomorfik A465 ve Gantry G365 gibi en bilinenleri olmak üzere birçok robot çeşidi üretmektedir. Antropomorfik A465, 3 kg maksimum yük taşıma kapasitesi ve 0.05 mm bir tekrarlanabilirliği ile altı serbestlik dereceli robottur. Bu robotun genel uygulamaları, malzeme taşıma, takım tegahları üzerine takım yükleme, montaj, renkli püskürtme ve kalite kontroldür. G365, sabit bir yönlendirme ile üç boyutlu çalışma alanı içinde herhangi bir konuma gelmesini sağlayan üç serbestlik dereceli geometriye sahiptir. Yönlendirmeyi kontrol için iki veya üç serbestlik dereceli bir bilek ilave etmek için bir opsiyonu vardır. G365 malzeme taşıma, kalite kontrol, paketlenme, montaj vb. için kullanılabilir.

Komatsu, iki parçaya bölünebilen ve bir kamyonet üzerinde taşınabilen aslında kullanışlı bir asansör robot *LM15*-üretmektedir. Ağırlığı 520 kg ve maksimum yük taşıma kapasitesi 150 kg'dan 350 kg'a kadar değişmektedir. Maksimum yüksekliği 4.2 m olup yer seviyesindeki nesnelere idare edebilir. Onun fiyatı 30,000 Amerikan doları civarındadır.

#### **2.4.4. Hareket Temelli Robotlar (Tekerlekli Robotlar)**

##### ***Tanım***

Mobil robotlar, kendi mekanizmasının herhangi bir kısmını hareket ettirme yeteneğine sahiptir. Robotun hareket kabiliyeti tekerlek gibi çok basit sistemden, çalıştığı ortama bağlı olarak jetler, pervaneler, ya da mekanik bacaklar gibi daha karmaşık olanları kapsayan uzmanlaşmış tahrik sistemleri tarafından sağlanmaktadır.

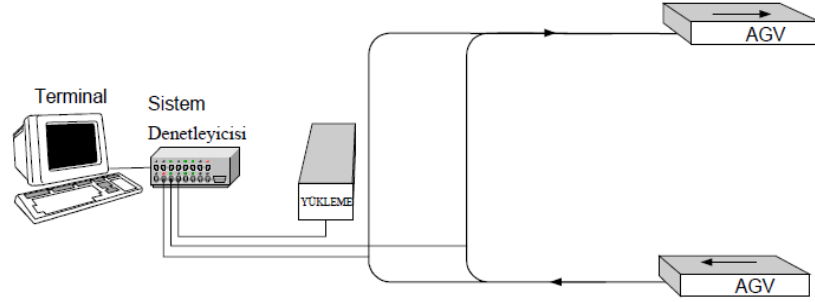
##### ***Otomatik Yönlendirmeli Araçlar***

Mobil robotlar, otonom düzeylerine göre, otomatik yönlendirmeli araçlara (AGV) ve otonom mobil robotlara (AMR) ayrılabilir. AGV'ler sınırlı hareket otonomisine sahiptir ve onların hareketi ortamda zeminden geçen kablolar veya vericiler aracılığıyla önceden belirlenir.

Bir AGV genellikle pillerle çalıştırılan bir hareket platformu olup diğer mobil güç kaynakları kullanılabilir. Onun hareketi endüstriyel bir ortamda önceden tanımlanmış yörüngeler boyuncadır. Bir malzeme taşıyıcı, bir römork veya bir manipülasyon cihazı için hareket eden bir temel olarak kullanılabilir. Onun yörüngesi bir fosforesan veya manyetik şerit veya zemine entegre edilen bir yönlendirme kablosu olabilir.

Şekil 4'te gösterildiği gibi, hareket kontrolü, birçok aracı kontrol edebilen ve araca yüklenmemiş olan bir merkezi bilgisayar tarafından yapılmaktadır. AGV'ye yüklenmiş olarak iş gören sayısal altsistem, önceden belirlenmiş yörüngeyi takip

etmek ve merkezi bilgisayarla iki yönlü iletişim kurmak için aracın motorlarını kontrolünde daha az zorlanmaktadır.



Şekil 4. Otonom rehberli sistem düzeni.

### ***Otonom Mobil Robotlar***

Robotikte amaçlardan biri, sınırlı veya insan müdahalesi olmadan hareket edecek robotlar yaratmaktır. AGV'ler bu yöndeki gelişimi, sürekli dış denetim ihtiyacı duymayan ve sadece yüksek seviyeli komutları kabul ederek, otonom bir şekilde görevlerini yerine getirme yeteneğine sahip AMR'leri ortaya çıkarmıştır.

Tüm dünyadaki araştırma enstitüleri, mobil robotların uygulamalarının sınırsız olması nedeninden dolayı mobil robotlar üzerine çalışmaktadır. Tekerlekli robotlar en çok çalışılmış olanıdır. Onlar, nesne taşıma dâhil, engelli insanlara yardım, güvenlik hizmetleri ve ekim, tohum yatağı hazırlığı, püskürtme, toprağı işlemek vb. gibi çeşitli tarım uygulamalarında kullanılmaktadır. İnsanlar için tehlikeli olan ortamlarda çalıştırılması, onların dikkate değer uygulamalarından biridir. Bu uygulamalar, hayat kurtarma amaçlı nükleer enerji santrallerinin denetimi ve tanısından, düşman alanlarının haritalarının çıkarılması ya da mayın tarlalarının silahsızlandırılması gibi tehlikeli görevleri gerçekleştirmeye kadar geniş bir alanı kapsamaktadır.

AMR'ler ile AGV'ler arasındaki temel farklılıklar otonomi, çeşitli görevleri gerçekleştirme yeteneği ve zeka seviyesindedir. Her ikisi de motorlu tekerlekli altsistemi, pozisyon tahmini için bir algılama altsistemi, çevre algılama ve navigasyonu, bir işlem birimini ve şüphesiz bir güç kaynağı kullanmaktadır. Her ikisi de önceden bahsedilen özelliklere göre daha fazla sınıflandırılabilir.

### ***Mobil Robotların Dümenleme Sistemleri***

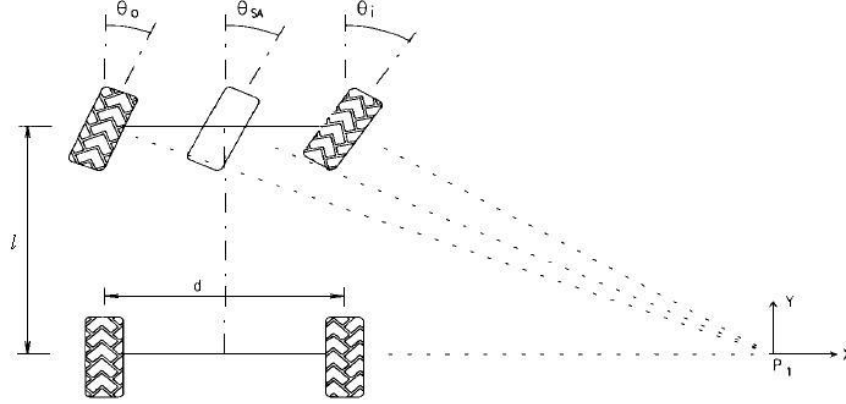
Hem AGV'ler hem de AMR'ler, dümenleme sistemlerine göre sınıflandırılabilir. Dümenleme sistemi için kullanılan çözümlerin [7], birkaç tanesinden bu bölümde bahsedilmiştir.

*Diferansiyel dümenleme*, dümenleme ve kinematik tutarlılığa müsaade etmek için farklı açısız hızlarda dönebilen iki tahrik tekerlekli mekanik bir yapıdır. Tahrik tekerleklerinin yanında, aracı destekleyen taşıma tekerleri bulunmaktadır.

*Ackerman diferansiyel*, genellikle dış mekân robotlarında karşılaşılan bilinen bir geometridir [8]. Çok güvenilir bir yapıdır. Aynı dönme merkezine sahip olmak

için Şekil 5’te görüldüğü gibi, bir kinematik tutarlılığı kurmak için iki ön tekerleğin dönüş açıları kinematik bir sınırlamaya uymalıdır.

*Senkronize dümenleme sistemi* ile dümenleme yaparken tüm tekerlekler döner. Sistem stabilite ve yeterli çekiş gösterir. Uygun bir tork dağılımı engelleri aşma yeteneği sağlar.



Şekil 5. Direksiyonlar için kinematik kısıtlamalar.

Yukarıda bahsedilen tüm sistemler, *holonomik olmayan* (yani, araçlar kendi tekerlekleri yönüne dik yönde hareket edemez) kinematik kısıtlamalara maruz kalır. Bu engellerin (çok yönlü dümenleme) üstesinden gelen dümenleme sistemleri var olmasına rağmen, sürtünmeyi arttırmışlardır.

### **Entegrasyon**

Otonom bir tekerlekli robotun mimarisi otomatik yönlendirmeli araçlarınkinden (AGVs) daha karmaşıktır. Robot, kendisinden ve çevresinden aldığı bilgiyi toplayarak işlemeli ve en önemlisi kararlar almalıdır [9,11]. Mimarisi Şekil 6’da özetlenmiştir.

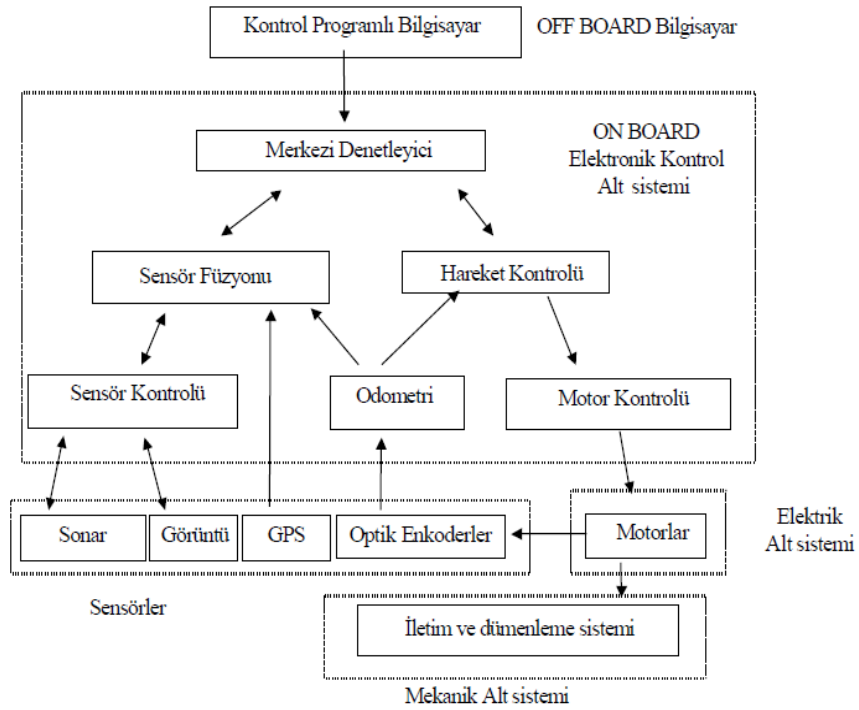
### **2.4.5. Gelecek Yönelimler ve Olasılıklar**

#### ***Sualtı Robotlar***

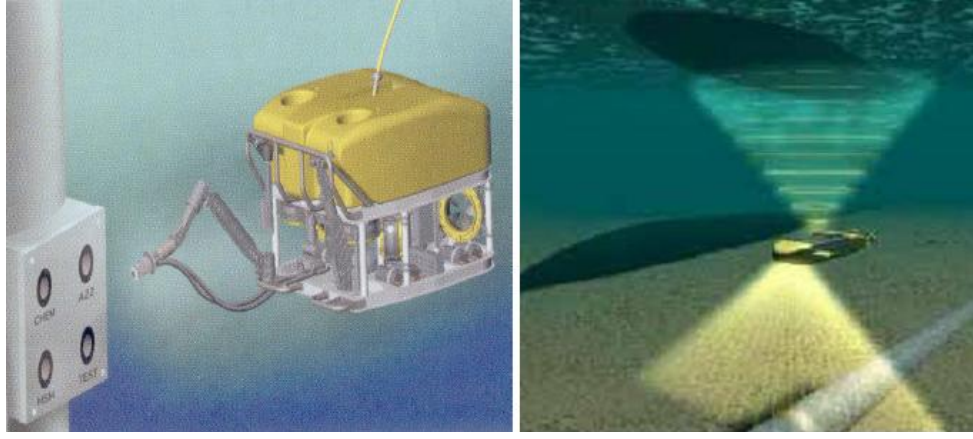
*İnsansız denizaltı araçları* (UUVs, Unmanned Underwater Vehicles), ya uzaktan kumandalı araçlar (ROVs, Remote Operate Vehicles) ya da otonom denizaltı araçları (AUVs, Automatic Underwater Vehicles) olsun, doğrudan deniz ile ilgili çeşitli iklimsel ve ekolojik sorunların yanında okyanusların zenginliğinden faydalanma ihtiyacı nedeniyle çok önemli bir ekonomik ve sosyal etkiye sahip olan ve ulaşılması gereken teknolojik bir hedeftir [4]. İnsansız denizaltı aracı (UUV) kullanımı, onların işletim maliyetleri yüzünden sınırlı kalmıştır.

Uzaktan kumandalı araçlar (ROV) ve otonom denizaltı araçları (AUV) arasında birçok benzerlik vardır, ancak aralarındaki temel fark, AUV’ler bağlı değilken, ROV’lar, güç ve iletişim için kullanılan bir kablo ile ana gemiye bağlanır

(Şekil 7). Kendi güç kaynakları ve iletişim sistemleri bulunan bu araçların bazı örneklerinde kablo bağlantısına gerek duyulmadığı gibi, sadece optik bir kablo aracılığı ile yüzeye bağlı olanları da vardır. AUV'ler, genel olarak ROV'ların daha gelişmiş modelleridir. AUV'lerin en büyük farkı, otonom/yarı otonom olmalarıdır. ROV'lar yüzeyde bulunan kontrol konsolları vasıtası ile bir operatör aracılığıyla uzaktan kumanda edilirken, AUV'ler, gerek duyulduğu takdirde dışarıdan da komuta edilebilecek şekilde önceden programlanan rotalarda görevlerini icra ederler. ROV'lar kutu şeklindedir ve düşük bir hızda hareket ederler veya etrafında dolaşırlar. AUV'ler yüksek hızda hareket ederler, böylece onların akış çizgisi biçimlidir; konvensiyonel AUV'ler etrafında gezinemezler. Onların sonsuz güç kaynağı ve kablo tarafından sağlanan teleoperasyon yeteneği sayesinde, ROV'lar sualtı yapılarının inşasında kullanılır. Kablosunun olmaması nedeniyle AUV'ler daha fazla otonomiye sahiptir, ancak onların güç kaynakları sahip oldukları piller ile sınırlıdır. Gemiyle olan iletişim, sonarlar ile yapılır. AUV'ler genellikle sualtı boruları gibi basit yapıların incelenmesi için kullanılırlar.

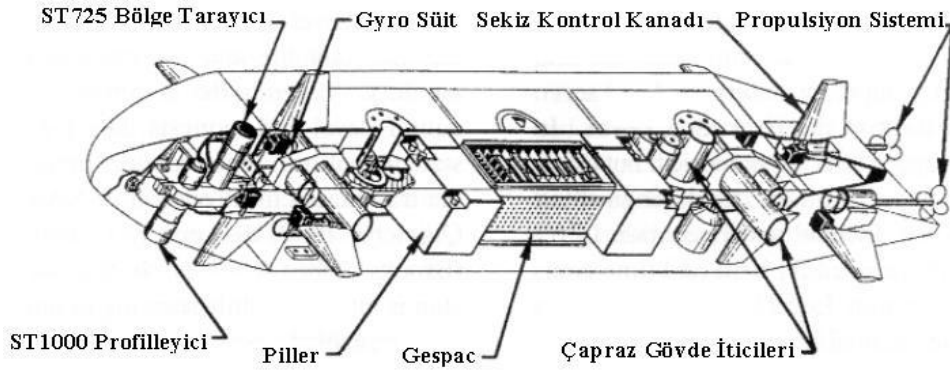


Şekil 6. Bir AMR Mimarisi. Bir off-board bilgisayar on-board merkezi denetleyiciye üst düzey komutlar gönderir. On-board elektronik kontrol alt sistemleri mekanik alt sistemin uygun tahriklerini üretmek için sensörler ve elektrik alt sistem ile etkileşime girer.



Şekil 7. Bir uzaktan kumandalı sualtı aracı (ROV) (solda) ve tam otonom bir sualtı aracının (AUV) (sağda) kavramsal sanatsal çizimleri.

Şekil 8, bir AUV'nin altsistemlerini gösterir. AUV'lerde kullanılan gelişmiş sensörler çoklu ışın sonarları (MBE, Multibeam Sonars), yandan taramalı sonarları (SSS, Sidescan Sonars), dip altı profilleyiciler (SBPs, Sub Bottom Profilers) ve iletkenlik sıcaklık derinlik (CTD, Conductivity, Temperature and Depth) probrları vardır.



Şekil 8. Tam otonom bir sualtı aracının (AUV) altsistemleriyle beraber gösterimi.

### ***Hava Robotları***

Hava robotları robotiğin hızla gelişen bir alanıdır. Hava robotlarının çok sayıda olası uygulamaları olmasına rağmen, bunlar şimdiye kadar askeri amaçlarla sınırlı kalmıştır, çünkü oldukça yeni bir teknolojidir ve şehirler gibi hassas bölgelerde ya da diğer hava trafiğine yakın yerlerde kullanılmak üzere henüz yeterli kararlılıkta oldukları kabul edilmez. Ancak, hava robot teknolojisi daha ucuz ve kararlı hale geldikçe, tarımsal ilaçlama veya izleme ve yer AMR'leri koordine etme gibi diğer uygulamalarda kullanılacaktır. Günümüzde büyük şehirlerde helikopterler tarafından yapılan trafik izleme, hava ölçüm istasyonlarının sayısının önemli olduğu yerlerde çevresel ve meteorolojik denetim diğer uygulamalardır ve temel problem, deniz istasyonlarından ölçümler alma ihtiyacının olmasıdır. Normal trafik uçakları mobil

hava istasyonları olarak denizden nakil taşıyıcılar ile birlikte kullanılır, ancak bunlar sadece standart uçuş rotaları ve yükseklik verileri sağlarlar.

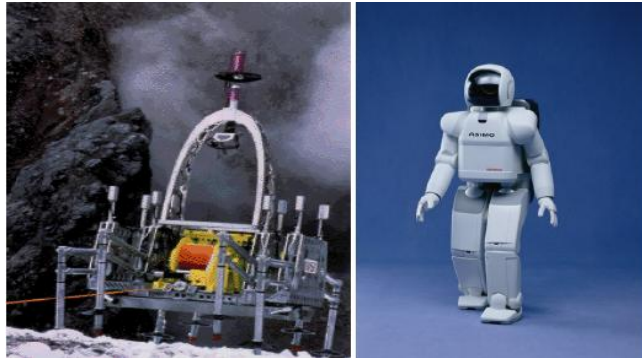
Çevre tanıma için kullanılan uzaktan kumandalı bir uçak örneği, Şekil 9a'da gösterilen NASA'dan Helios'dur. Pilot gerekli olmadığı için, bu çözüm ucuzdur. Şekil 9b Güney Kaliforniya Üniversitesi'nden robotik laboratuvarında Otonom Uçan Araç projesi kapsamında geliştirilen AVATAR'ı (hava izleme ve erişim için otonom araç) gösterir. İnsanlı pilot uygulamasına ihtiyaç duyulmayan diğer uygulamalar, düzenli ulaşım, pestisit uygulamaları, ve diğerleridir. Bu teknolojinin kullanımı için temel sınırlamalar, uçak stabilitesi, resmi yasa ve düzenlemelerinden kaynaklanmaktadır. Resmi hava güvenlik büroları ile birlikte çalışan şirketler ve üniversitelerin oluşturduğu Euro UVS adlı bir organizasyon çoktan kurulmuştur.



Şekil 9. NASA'nın Helyo'ları (solda) ve Güney Kaliforniya Üniversitesi'nin robot laboratuvarının robot helikopteri (sağda).

### ***Yürüyen Robotlar***

Belli görevler için daha klasik tekerlekli robotlar yerine yürüyen robotları kullanmaktaki başlıca motivasyon, engellerden kaçınmadaki çok yönlülükleri, düzgün olmayan zemine adaptasyon kabiliyetleri ve düzensiz yüzeylere tırmanma yetenekleri nedeniyledir. Şekil 10a NASA'nın JPL laboratuvarının geliştirdiği Dante-II robotunu Alaska'da dağa tırmanırken göstermektedir. En yaygın yürüyen robotlar iki ayaklılardır. Şekil 10b, Honda Motor Company bir insansı robotu olan iki ayaklı Asimo'yu gösterir. İki ayaklı robotlar, eksik tahrikli sistemin özel bir sınıfıdır ve çok ilginç kontrol problemlerini ortaya çıkarmaktadır. Eksik tahrikli olarak nitelendirme, onların ayak bileklerinde tork üretemiyor oldukları gerçeğinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 10. (a) Alaska'da dağcılık sırasında NASA'nın JPL laboratuvarının Dante-II. (b) Honda'nın (American Honda Motor Anonim Şirketi) Asimo insansı robotu.

Yürüyen robotlar harekete başlama safhasında holonomik olmayan bir davranış sergilerler ve eksik tahrikli sarkaç benzeri bir sistem olarak hareket ettikleri sürece, tek bir destek fazıyla kontrol edilemezler. Bir yürüyüş döngüsü altında iki ayaklı hareket, tek destek fazı (zemin üzerinde bir ayak), kontak fazı (geçiş fazı) ve çift destek fazından (zeminde her iki ayak) oluşur. Böylece bu, tek taraflı kısıtlamalara (zeminde hazır bulunma) ve doğal bir hibrite (geçiş aşamaları nedeniyle kesintili değişiklikler) maruz kalan çoklu dinamik (her faz için bir adet) bir sistemdir. Yürüyen mekanizmaların karmaşıklığı, onların kontrol ve analizlerini zorlaştırmaktadır. İki ayaklı hareketin var olan periyodik doğasını, darbelerdeki dinamik davranışları karşılayan uygun matematiksel teknikler de dikkate alınmalıdır.

#### 2.4.6. Sonuçlar

Bugün robotlar bir gerçektir. Maliyetleri azaldığı ve fonksiyonellikleri arttığı için, günümüzde robotların kullanımları kaçınılmaz hale gelmiştir. Gelecekte, rekabet nedeniyle sadece en verimli olan ticari girişimler ayakta kalabilecek ve robotların bu hususta belirleyici bir rol alacağı tahmin edilmektedir.

#### Kaynaklar

1. Sciavicco L., and B. Siciliano. 1996. *Modeling and Control of Robot Manipulators*. Columbus, OH: The McGrawHill Companies, Inc.
2. Everett, H. R. 1995. *Sensors for Mobile Robots*. Wellesley, MA: A. K. Peters Ltd.
3. Flynn, A. M., and J. L. Jones. 1993. *Mobile Robots Inspiration to Implementation*. Wellesley, MA: A. K. Peters Ltd.
4. Fossen, T. I. 1994. *Guidance and Control of Ocean Vehicles*. New York, NY: John Wiley and Sons.
5. Baruh, H. 1999. *Analytical Dynamics*. WCB/McGraw-Hill.
6. Canudas De Wit C., B. Siciliano, and G. Bastin. eds. 1996. *Theory of Robot Control* (Communications and Control Engineering Series). Berlin, Germany: Springer Verlag.
7. Wong, J. Y. 2001. *Theory of Ground Vehicles*. Wiley-Interscience.
8. Colyer, R. E., and J. T. Economou. 1998. Comparison of steering geometries for multi-wheeled vehicles by modelling and simulation. *Proceedings of the 37<sup>th</sup> IEEE Conference on Decision and Control* 3: 3131-3133.
9. Chatila, R. 1994. Control architectures for autonomous mobile robots. *Proceedings of the IEEE Conference From Perception to Action*, 254-265.
10. Edan, Y., D. Rogozin, T. Flash, and G. E. Miles. 2000. Robotic melon harvesting. *IEEE Transactions on Robotics and Automation* 16: 831-835.
11. Edan, Y., and G. E. Miles. 1994. Systems engineering of agricultural robot design. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics* 24: 1259-1265.
12. Allotta, B., G. Buttazzo, P. Dario, and F. Quaglia. 1990. A force/torque sensorbased technique for robot harvesting of fruits and vegetables. *Proceedings of the IEEE International Workshop on Intelligent Robots and Systems* (1): 231-235.
13. Oilfield Publications Limited (OPL). 2000-2001. *Remotely Operated Vehicles of the World*. England: OPL.
14. [www.ece.eps.hw.ac.uk/~autotrack/](http://www.ece.eps.hw.ac.uk/~autotrack/). Accessed 2002.