

ROBOTİK UFUKLAR

»oç.Dr. Aydan ERKMEN (*)

Çağımızın üretim gerekleri, hız, kalite standardizasyon ve hassasiyete dayanır. Birkaç yıl öncesinin katı mekanik otomasyonu yerini bilgisayar ağırlıklı esnek otomasyona bıraktı. Bilgisayar kontrollu otomatik üretim çerçevesinde bu tür üretim gereklerini karşılamak üzere geliştirilen ve giderek otomasyon mozayığında vazgeçilmez üyeler haline gelen robotlar üretim istemlerinin doğrusal olmayan, çok serbesti dereceli özelliklerini vurgular. Bu vurguların araştırılma ve uygulama alanlarını hangi yönlere doğrulttuklarını analiz etmeden önce, robot sistemlerinin kaynaklarını ve gelişmelerini kısaca gözden geçirelim.



ROBOT NEDİR ?

İlimsel çevrelerin yaygın olarak kabul ettiği, Robot Institute of America'nın tanımına göre, "değişik görevler çerçevesinde, çeşitli hareketler için programlanmış malzeme, endüstriyel parça ve özel amaçlı aletleri hareket ettirmek için tasarımı yapılmış tekrar programlanabilir çok fonksiyonlu manipülatör" robottur. Bir başka deyişle, robot, harici duyargaçlarla donatılmış değişik montaj görevlerini yapan genel maksatlı, tekrar programlanabilir manipulatördür. Robotlar duyargaçlardan gelen sinyalle göre kontrollü olarak hareket ederler. Robot sistemleri, doğrusal olmayan çok serbesti dereceli sistemler olup, amaçları da genelde kompleksdirler; dolayısı ile robot kontrol teknikleri robot hareketlerinde ana öneme sahiptirler; bu yazımızda robot kontrolünü aynı bir bölümde inceleyeceğiz.

Robotik, robotların temel organizasyon ve çalışmalarını inceleme alanıdır. Bu alanda araştırmalar beş anadaldadır: <özümlenmişlerdir:

(*) Orta Doğu Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü

- manipülatör tasarımı, kinetiği, dinamiği ve uzaktan kontrolü
- duyargaçlar
- programlama dilleri
- sistem mimarisi

Robotlar eklemlerine göre sınıflandırılırlar. Bunlardan en yaygın şekil ta'da görülendöner eklemli robot kollarıdır. Şekil 1b'de ise yaygın kullanımda ikinci sırada bulunan prizmatik eklemli robot kolundan bir örnek verimıştır. Robot kolunu oluşturan seri bağlantılar zincirinin bir ucu taşıyıcı bir baza oturur.

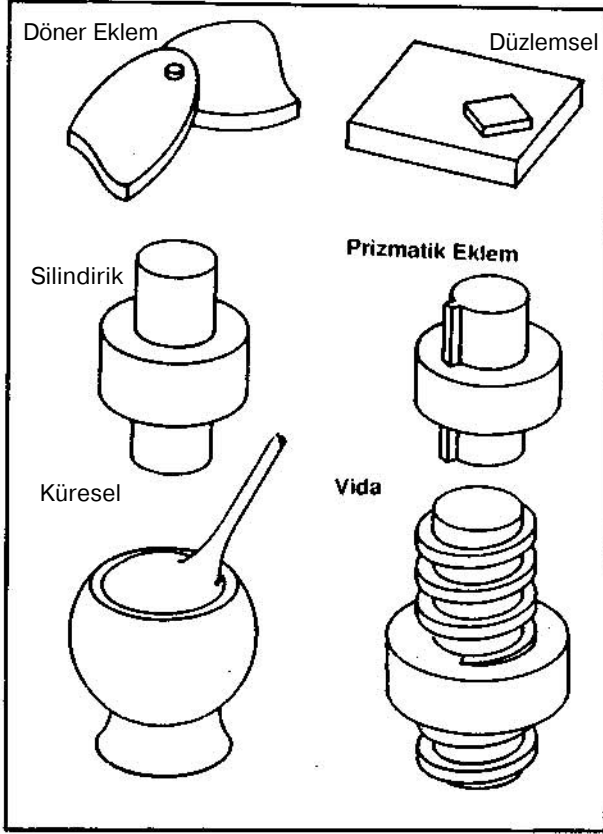
Öbür ucu ise cisimleri istenilen görevlere göre tutup hareket ettiren robot kaskacı veya robot eli bağlıdır (Şekil 2). Mekanik olarak robot, manipülatör, kol bilek ve elden oluşur ve tasarımı çalışma hacmindeki bir cisme ulaşabilecek şekilde yapılmıştır. Rol kesimi genellikle üç serbesti derecesi olan bir konfigürasyondur. Bilekte de üç serbesti derecesi vardır: Bunlar yukarı-aşağı, sağ-sol ve dönme hareketleridir.

Eklemlerde seri olarak bağlı eğilmeyen parçalardan oluşan robot kollar hareket karakteristiklerine ve geometrilerine göre dört sınıfa ayrılırlar (Şekil 3):

- Karteziyen koordinatlı (üç doğrusal eksen): ABM RS-1 robot Olivetti Sigma robot
- Silindir koordinatlı (iki doğrusal bir dönme eksen): PrabVerstan 600 robot
- Küresel koordinatlı (bir doğrusal iki dönme eksen): Unimation Inc. Unimate 2000 B
- Dönme veya artikülasyonlu koordinat (üç dönme eksen): Cincinnati Milacron T3 Unimation Inc. PUMA

Robot kollarının başlıca kullanım alanları arasında imalat ve montaj işleri ve özellikle kaynak, sprey boyama, yükü . . . yük boşaltma gibi ölçü hassasiyeti gerektiren işler bu a. nur Diğer kullanım alanları insan için zor şartlar besleyen ortamlardır. Örnek olarak uzay, su altı işleri ve protez araştırma ve uygulamalarını verebiliriz, insanlar için tehlikeli ortamlarda ise robotlar büyük önem taşırlar: ra-

radioaktif malzeme ile çalışmada, nükleer santrallarda sızıntı durdurmada, yangın söndürmede ve yer altı maden işlerinde



Şekil 1:

TARİHE GÖZ ATINCA

İkinci dünya savaşı sonrası nükleer enerj> araştırmalarında araştırmacıların emniyetleri için radyoaktif maddeleri ile çalışmalarda mekanik kollar geliştirildi. 1947 de Argonne ulusal laboratuvarları insan el hareketlerini taklit eden genel maksatlı uzaktan kumandalı kol projesini başlattı. Sonuç "Master-slave" uzaktan kumandalı mekanik kol sisteminin ilk tasarımı ve uygulaması oldu. Bu sistem bir insan tarafından fiziksel olarak yönlendirilen "master" robot kolunun hareketini "slave" robotunun en yakın derecede kopya etme çalışması idi. Bu sistem ucuz karmaşık işler için çok uygundu ancak konum olarak "master" ve "slave"nin yakın olma koşulu, her iki robotun yük taşıma kapasitelerinin sınırlı olması ve sisteminin kullanıcı gücüne bağlı olması ve kullanıcının hiçbir geri besleme ile kuvveti hissetmemesi bu tür sistemlerin gelişmesini yavaşlattı ve çalışmalar geri beslemeli sistemler üzerinde yoğunlaştı.

1950'lerde geçmiş yılların, esnekliği az, sınırlı sistemler oluşturan mekanik aksam yerini elektrikli (General Electric Handyman) ve hidrolik (General Mili Minotaur I) aksamlarına bıraktı. Bu "master-slave" kollar sualtında ve protezlerde kullanılmaya başladı.

"Master-slave" sistemlerinin sınırları, araştırmaları, dışardan yönlendirme beklemeyen, otonom ve saatlerce tekrar edilecek işleri yapabilen mekanizmaların tasarımları konularına yönelttiler. Bunun sonucu, Unimation Inc. 1959'da ilk ticari amaçlı endüstriyel robotunu PUMA serisinin başlangıcı olarak gerçekleştirdi.

Bilgisayar kullanımının yaygınlaştırması ile 1961 yılında MIT'da Ernst ile bilgisayar kontrollü mekanik el MH-1'i gerçekleştirdi. Dokunma duyargaçları ile tuttuğu blokları hissederek üst üste dizme işleminde uygulandı. Bu sistemin gelişmesi ile ANL Model 8 adlı altı serbesti dereceli ve 18 bitlik PX-0 bilgisayar kontrollü manipülatör yapıldı.

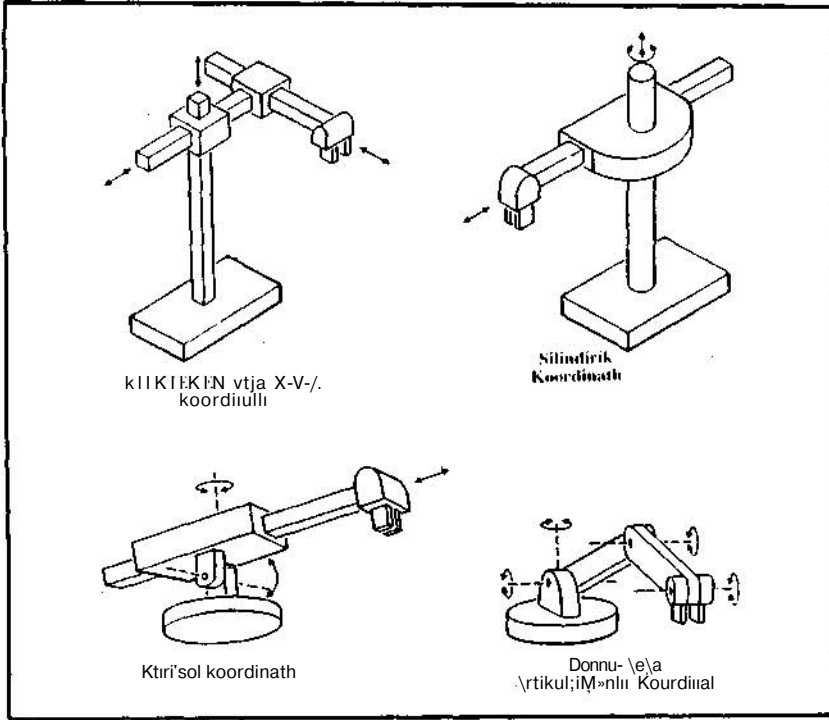
Bir yıl sonra Tomovic ve Beni basınç duyargaçlı prototip robot el gerçekleştirdiler. Bu el, motoruna geri beslenen bir sinyalle önceden programlanmış iki el biçiminden birinin şeklini alıyordu.

Paralel olarak, Case Institute of Technology'de Reswick ve Mayer kuadruplejlerde uygulanan bilgisayar kontrollü ve bir operatör tarafından denetlenen manipülatör yaptılar. Bu tarihlerde Stanford Artificial Intelligence Laboratory (SAIL)'de duyargaç olarak TV kameraları ve mikrofonlarla donatılmış bir robot kol yapıldı. Konuşularak verilen mesajları tanıma ve kamera ile tesbit edilen cisimleri tanıma yöntemleri içeren sistem, bu işlemin sonucu olarak komutlara ve cisimlere göre görevini yerine getirmeye çalışıyordu.

Robot kolunun kinematik problemleri ancak 1968'de Pieper'in çalışmalarında incelendi. Aynı yılda, bang-bang, minimuma yakın zaman kontrollü bir robot kolunun dinamiği ve kontrolü Kahn tarafından incelendi.



Şekil 2: CESAR araştırma manipülatörü



Şekil 3: ÇEŞİTLİ robot kolu kategorileri

1970 yılları harici duyarkaç tasarım alanında araştırmaların yılları olarak sınıflandırılabilir. 1972'de, Stanford'da, Paul Bolles, kuvvet geri beslemesi ve kamerası bulunan Stanford kolunu, PDP-10 bilgisayar kontrolü ile araba su pompası montajında kullandı.

1974'lerde Draper Laboratuvarlarında Nevis Witney ve arkadaşları dış etkenlere uyumluluk (compliance) konusunu ele aldılar. Bu arada, Bejczy, uzay araştırmaları için bilgisayarlı buru kontrol tekniğini Stanford kolu için geliştirdi.

1980 yılları otonominin artışı ve duyarkaçların integresyonu ile karakterize edilebilirler. Araştırma konuları, duyarkaçlarından alınan sinyallere göre robot sisteminin karar alma ve hareket etme amacına yönelik yoğunlaştırdı.

GÜNÜMÜZÜN ROBOT KONTROLÜNÜN ÖZELLİKLERİ

Robotiks problemleri mühendislik, bilgisayar ve matematiksel psikoloji kökenlidirler. Robot kontrol konusunun matematik içeriği birçok bilim alanının amalgamından oluşur. Robot kontrolü, hareket kontrolündeki doğrusal olmayan problemleri, yürünge planlaması, işlem geometrisi ve bilgi işlem olanaklarının optimal kullanımını içerir.

Robot hareketinin ana teması kinematik zincirdir. Motorlarla sürülen bu zincir çalışma alanında herhangi bir yönde herhangi bir konuma gelebilir. Bu da en az altı eklem serbestisine karşılık altı motorla yerine getirilir. Sonuç olarak kontrol probleminin özünde karmaşık ve doğrusal olmama özellikleri bulunur. Bu karmaşıklığa örnek olarak ters kinematik problemini verebiliriz: Genellikle ve doğal



"Robot sistemleri, doğrusal olmayan birbirine bağımlı

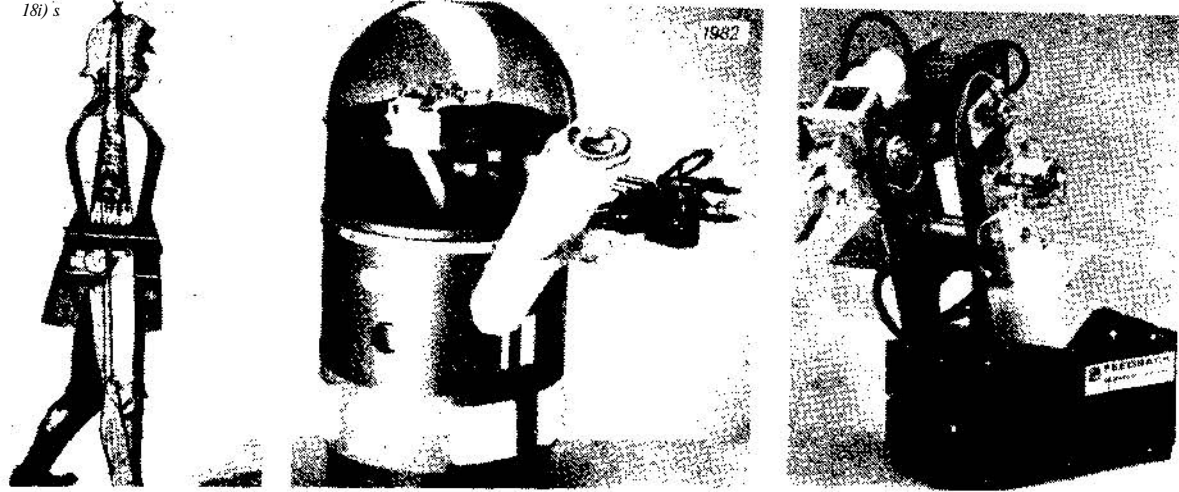
çok değişkenli sistemlerdir ve bu sistemlerin kontrolü, bağımlı parametreleri gibi sistem veya ortam büğü parametrelerinin değişimlerine adaptif olmak zorundadır."

olarak robot yörüngeleri doğrusal verilmekle birlikte kontrol edilen değişkenler açısal değerlerdir. Üç boyutlu hareket uzayından üçten çok boyutlu açısal duruma ters kinematik işlemi bilgisayarlı kontrol sisteminin olanaklarını cebirsel geometri açısından zorlayan kompleks bir problemdir.

Duyarkaç bağımlı robot kontrolü, görüş ve/veya dokunma duyarkaç geri beslemeli hareket kontrolüdür. Kontrolçulara robotikte en meydan okuyan problemlerden biride bilgisayarlı görüş ve amaçlı hareket kontrolünün beslemesi ile bir robot elinin cisme doğru doğrultularak bu cisim robot el ile tutma işleminin özüdür. Burada görüntü yorumuna göre kapalı döngü esası ile esas zamanda robot elin yörüngesi kontrol sistemi tarafından otomatik olarak saptanır.

Robot kontrolü, ortamı algılamaya dayalı olduğu gibi amacada yöneliktir. Hareket amacının modellenmesi ise amaç alt, kümelerinin zamanlaması, kararsız eksik ve/veya çatışan bilgi modelleri, amaç örüntüleri tasarımı gibi hala oturmamış aktif araştırma alanlarını kapsamaktadır. Elastikiyet kontrolü (compliance) bazı hassasiyet gerektiren nazik robot işlemlerinin en önemli unsuru olur. Robot eli ile cisim tutuşunun elastikiyetini ve istikrarını muhafaza ederek cisme zarar vermeden ve cisim düşürmeden gereken işlemi yerine getirmesi henüz çözülmüş bir kontrol problemi değildir ve ortamın değişkenliği varyasyonel teori ile modellenerek kontrol metoduna entegrasyonu amaçlanır.

Robot sistemleri, doğrusal olmayan birbirine bağımlı çok değişkenli sistemlerdir ve bu sistemlerin kontrolü, bağımlılık parametreleri gibi sistem veya ortam bilgi parametrelerinin değişimlerine adaptif olmak zorundadır. Ro-



bot kontrol sistemleri mikro işlemci uygulamalı olup ortam, yük, amaç ve robot sistem parametre değişimlerine uyum gösterecek biçimde tasarlanırlar ve bu değişimlerdeki kararsızlıklar probleme stokastik bir boyut kazandırır.

ESNEK AMAÇLI ROBOTLAR: YENİ KULLANIM ALANLARI

Genelde sanayi robotları katı otomasyonun bir parçası olarak görev alırlar. Bu robotlar, önceden programlanmış olup değişmeyen kesin yapıdaki (well structured) ortamlara uygundur. Ortamın veya amacın en ufak değişimi sistemin yeniden tasarımını gerektirir. Günümüzde yaygınlaşan esnek otomasyon sistemleri ise programlama değişiklikleri ile ortamın veya amacın değişimlerine uyum sağlarlar. Burada ortam yine kesin yapıdadır ve değişimler deterministik veya istatistiksel olarak ön görülebilir kabul edilirler. Esnek amaçlı robot sistemleri bu tür otomasyonun yapı taşlarından olduğu gibi akıllı otomasyonunda önemli elemanlardır. Akıllı otomasyon sistemleri kompleks dinamik ve kesin yapıda olmayan ortamlarda işlev görürler. Bu tür otomasyonun elemanları robotlar, ortam hakkında ön bilgi olmaksızın beklenmedik değişimlere uymaları gerekir.

Böyle ortamlarda bulunan uygulama alanlarından örnek vermek gerekirse: 1) uzayda, deniz altında, nükleer santrallarda veya kimyasal kontaminasyona uğramış ortamlarda donatım bakım ve tamir işleri; 2) montaj işlemlerinin hızlı rekonfigurasyonu gerektiren akıllı imalat sistemleri; 3) tıbbi uygulamalar: teşhis ameliyatları, protez veya felçli hastalar için akıllı tekerlekli sandalye gibi yardımcı robotlar; 4) katı otomasyona elverişli olmayan tarım, madencilik veya inşaat alanları.

Robotlarda amaç esnekliği ortam gereği olmasının yanı sıra, çok robot kollu sistemlerde ya da çok parmaklı robot ellerdeki koordinasyonun, seri ve paralel işlem esaslarına dayalı hücresel robot ağlarının işlemlerine, çok duyarlıktan elde edilen örüntü entegrasyonunun ana gereğidir.

DOKSANLI YILLARDA ROBOT KONTROLÜ

Robot sistemlerinin akıllı kontrolleri nümerik kontrolün yanı sıra meta seviyede sembolik kontrolünü de gerektirir. Her iki tür kontrolün entegrasyonu ise deterministik, stokastik, nümerik ve sembolik dinamik problemlerinin entegrasyonuna dayalıdır. Bu problemlerin çözümleri, ağırlıklı olarak bilgisayar (data structures) ve dağıtılmış paralel işlem mimarilerinin geliştirilmesine bağlıdır. Bu yönde günümüzde araştırmalar yapay sinir ağları ile akıllı robot kontrol tasarımları üzerinde yoğunlaşmıştır.

Adaptif, kendini düzenleyen (self-organizing) ve akıllı kontrol temalarının önemleri gittikçe atıyor. Otomatik adaptasyon günümüzde sınırlı kalmıştır. Gelecekte adaptif kontrol teorisi ile doğrusal olmayan dinamik sistem teorisi kuvvetli etkileşim içinde olacaktır.

Ayrıca, akıllı robot kontrol sistemlerinde dinamik geri besleme döngüsü içinde nümerik, sembolik ve optik bilgilerin entegrasyonu aşılması gereken bir engel olarak beliriyor. Sayısal olay sistemleri ve örüntü entegrasyon modelleri bunu hedefleyen çeşitli çalışma alanlarından iki önemli ama robotikte uygulamaları ender olan örnek oluşturuyor.

BİLİM UFKUNDA ROBOT KONTROL

Geleceğin akıllı kontrol üniteleri, neyin kontrol edileceğine, hangi kontrol stratejilerinin kontrol ortamının ne tür değişimleri altında kullanılacağına karar verebilecek şekilde gelişecekleri ön görülebilir.

Bunun yanı sıra, geleceğin "akıllı robotları kontrol stratejilerini saptamada değişik soyutluluk seviyelerini (derecelerini) göz önünde tutacaklardır. Bu tür sistemlerde, yüksek seviye kumandaların yerine getirilmesi, klasik kontrol sinyalleri yerine sembol dizgeleri sonucu olacaktır.

Bu analize göre, çağımız, kontrol teorisi, yapay zeka, problem kavramcılığı, kuramcılığı ve bilgisayar biliminin amalgamı olan bir kontrol alanı gelişecek diyebiliriz. Bu teorik alan, modellerin yapısal gösterimini değişik soyutluluk derecelerinde inceleyip geliştirecek. Ayrıca bu alan, bilgisayar teknolojisinin aşamalarına bağlı olarak, öğrenme, adaptasyon ve organizasyon konularına matematiksel değişiklikler getirecektir.