



**TEKNOLOJİ HARİKASI  
ROBOT ELLERİN TASARIMI**

Geliştirme çalışmaları yapılmış bir sayı, gerçekleştirebileceğiniz çok daha fazlasıdır. Arayın, alın, gerçek elin kabiliyetini ortaya çıkaracak çeşitli işlerde kullanılabilecek "Ruhra E" geliştirme cihazlarını araştırın ve satın alın. Aynı şekilde Mark Curkoski, bu konuda yaptığı araştırmaları yapılarak, ilk yapılmış 10" mm (4" inç) kalınlıkta ortaya çıkmıştı.



Von Gero Von Randow

Sayfayı çevirdiğiniz zaman, elinizin birçok işi aynı anda yaptığını biliyor muydunuz? Bunun için sağ elinizi mi kullanıyorsunuz? Sayfanın sağ üst köşesinden tutunuz. Siz sayfayı tespit edip çevirirken, işaret ve orta parmağınız, baş parmağınıza basıncı uygulayacaktır. Böylece farkında olmadan sayfayı çevirir ve bırakırsınız. Biz insanlar nesnelere tutar, hisseder ve ellerimizle herhangi bir yöne doğru hareket ettiririz. Tabii bütün bu süreç, beynimiz tarafından bir düzene sokulur. Beyin, hislerimizi işler, düzenler ve yeni isteklerimizi plânlarken, önce bilinçsizce davranmasına karşılık, sonunda doğru kararı yine o verir.

"Robotik" bilim alanında elde edilen en önemli gelişme, yapay elle donatılmış ve her şeyi yapabilen robotlardır. Bu robotlar, uzay istasyonlarında ve montaj tesislerinde yararlı işler yapmak üzere kullanılacaklardır.

Yapıldıkları yerlere göre isimlendirilen robot ellerden birkaçı, "Utah-MIT-Eli, Standford-Eli, Tsukuba-Eli, Karlsruhe-Eli ve Darmstadt-Eli" dir. Darmstadt Teknik Üniversitesi'nde bir grup mühendis tarafından geliştirilen "Darmstadt-Eli"nin üç parmağı vardır. Bu el, bir bilgisayar monitörü ile yoğun bir kablo yığını arasında hareket ederek tüm hünerlerini göstermektedir. Darmstadt'taki ekibin şefi olan Henning Tolle, bilgisayar aracılığı ile yapay ele birkaç komut vererek bir makara-teyp bandını tutturabilmektedir.

İnsanlar için basit sayılan hareketler, robotlar için ayrı bir anlam ifade eder. Karlsruhe-Eli'ni yapmaya çalışan mühendis Hans-Jörg Schneebeli, bu konuda şunları söylüyor: "Robot eller üzerinde ne kadar çok çalışsam, insanların sahip oldukları ellere de o kadar çok hayran oluyorum. İnsan elinin yaptığı işin bir kısmına bile ulaşabilmemiz için daha çok zamanın geçmesi gerekir."

## ELDEKİ SÜPER FONKSİYONER: BAŞ PARMAK

Hans-Jörg Schneebeli gibi yaratıcı uzmanlar bile, insan elinin sahip olduğu eşsiz mekanik beceri karşısında hayrete düşüklerini gizlemiyorlar. Elimiz, çok sayıda kastan oluşan karışık bir sistem tarafından, çeşitli yönlere doğru hareket ettirilir.

Baş parmak, diğer parmakları idare eden bir görev yüklenir ve tutuşlarda "kuvvet kavrayıcısı" olma özelliğini kazanır.

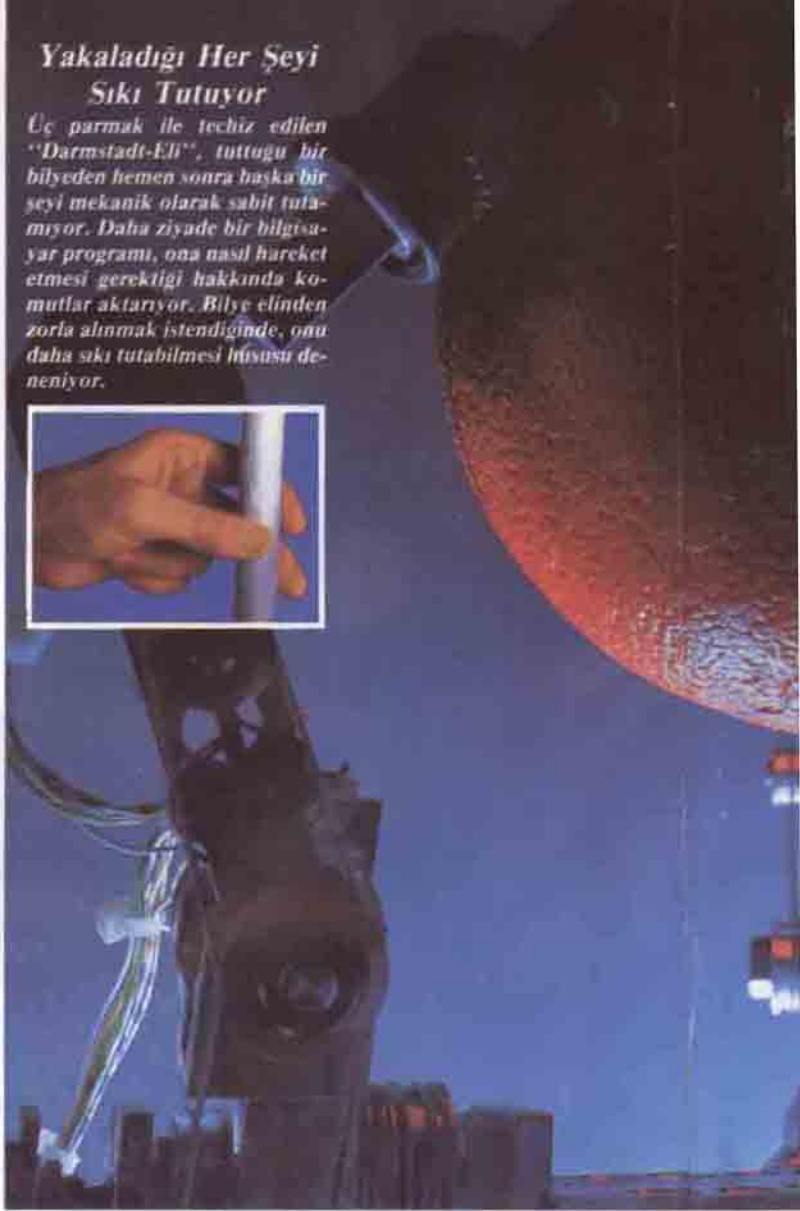
Baş parmağı, eldeki fonksiyonundan, dolayısıyla insanlara sağladığı kolaylıklar açısından "Uygarlığın temellini teşkil eden bir uzuv" şeklinde tanımlayabiliriz. Baş parmaksız bir el, normal elin yapabileceği işin ancak 2/3'ünü yapabilir.

## İNSAN ELİNİN KISA SÜREDE YAPABİLDİĞİ HER ŞEY, ROBOT UZMANLARINI KISKANDIRIYOR

Araştırmacıların günümüzde gerçekleştirdikleri robot eller, insan eline benzer şekilde daha gerçek-

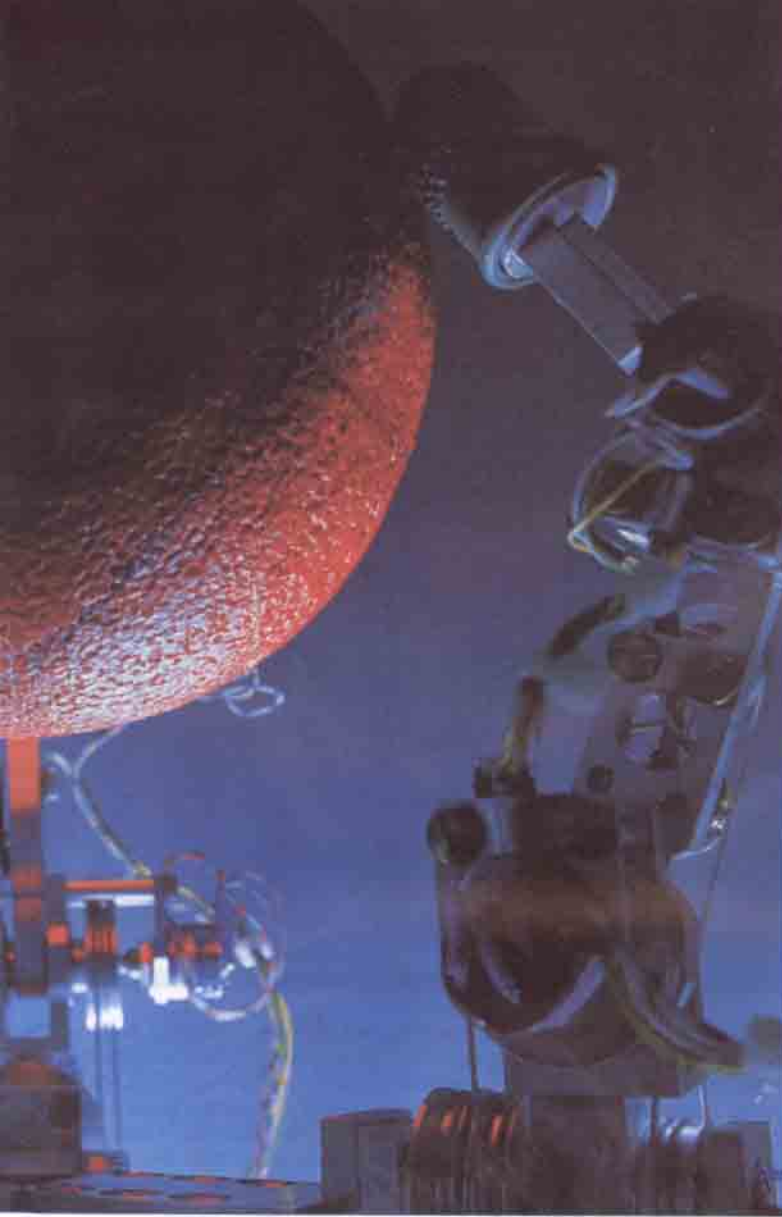
## Yakaladığı Her Şeyi Sıkı Tutuyor

Üç parmak ile teviz edilen "Darmstadt-Eli", tuttuğu bir bilyeden hemen sonra başka bir şeyi mekanik olarak sabit tutmuyor. Daha ziyade bir bilgisayar programı, ona nasıl hareket etmesi gerektiği hakkında komutlar aktarıyor. Bilye elinden zorla alınmak istendiğinde, onu daha sıkı tutabilmesi hususu deneniyor.



çi bir görünüme sahipler. Darmstadt laboratuvarlarındaki robot el, deney esnasında önünden bir şey alındığı zaman, sanki canlıymış gibi derhal karşı koyuyor. Stefan C. Jacobsen, seksenli yılların başında Utah Üniversitesi ve Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nde bir şeyleri tutabilen, aynı zamanda da nazik bir şekilde insan elini sıkabilen "Utah-MIT-Eli"ni geliştirdi.

Duygularımıza göre yapılan her şey, gerçekte umulduğu gibi olmuyor. İsviçreli psikolog Jean Piaget, insanların çevrelerini ayırt edebilmeyi çok erken yaşlarda öğrendiklerini, "çocuklarda kişilik gelişimi" hakkında yaptığı araştırmalarda tespit etti. Canlı bir yaratığa en çok benzeyen bir mekanik nesne ise, robotların en mükemmel olanıdır. Bu durum, robotla-



ladılar. Ancak bu proje bazı sorunları da beraberinde getiriyor. Uzayda tesis edilecek robot eller ve yer istasyonlarından bunları yönlendirecek personelin günün 24 saati çalışmaları, dolayısıyla "tele operasyon"un daha pahalıya mal olacağı ihtimali, bilim adamlarını daha şimdiden düşündürmeye başladı. Fakat asıl problem "Ölü zamanlar" dır. Bu da şu şekilde açıklanıyor: Sinyallerin, dünyadaki istasyonda görevli uzman ile uzaydaki robot eller arasındaki iletişimi kurabilmeleri, yaklaşık iki saniyelik bir gecikme ile gerçekleşiyor. Bu iki saniyelik süre de, ölü zaman olarak kabul ediliyor.

Alman Hava ve Uzay Araştırmaları Merkezi'nde, bu ölü zamanı daha da kısaltarak, "tele operasyon"u ekranda gösteren bilgisayar programları geliştirildi. Bu programlar sayesinde, yer istasyonundaki deney uzmanı, uzay laboratuvarındaki robot eli nereye yönelttiğini hemen hemen aynı anda görebilecektir. Kontrol tekniği konusunda uzman olan Henning Tolle, bu ilâvenin bile bazı sınırları olduğunu görüyor ve şöyle ifade ediyor: "Bununla pozisyon kontrolü belirlenebilir; ancak en önemli zorluk "güç" kontrolündedir. Çünkü, robot herhangi bir şeyle temas ederse güç, ilk iki saniye sonra değil, anında ortaya çıkıyor. Bu iki saniye içerisinde, bilgisayarın bile önceden tahmin edemeyeceği her şey meydana gelebilir."

Robot, komutu anlamlı ve kavrayıcı eli vasıtasıyla herhangi bir sistemi kurup, düzenleyebilir. Endüstri mühendisleri de bu konuyla ekonomik amaçlara yönelik olarak ilgileniyorlar. Eğer bugün üretim bandında bir ürünün montajı yapılacaksa, belirli tutuş şekilleri için yeni robot ellerin ve programların üretilme mecburiyeti de doğmuş demektir. Her şeyi yapabilen, hatta hassas montaj parçaları ile spagettiyi bile tutabilen bir mekanik el, belki o zaman hatasız olarak gerçekleştirilebilir. Münih Teknik Üniversitesi İş Makineleri Enstitüsü Bölümü'nden Robert Götz, "Kısa bir zamanda, şüphesiz montaj konusunda başka yollar da deneyeceğiz; çünkü "Robot El"lerden elde edilen randıman, endüstriyel kullanımlar için yapılan geliştirme masraflarını bile karşılayamadı. Esas itibarıyla şimdilik bu duruma, temel araştırma nazarı ile bakıyoruz." şeklinde ifade ediyor.

rın çekiciliği ve kendilerine has hareketleri ile, ileride tam anlamıyla yapay el olarak sahneye çıkacaklarını gösteriyor.

Robot uzmanları, kısa zamanda insan elinin mükemmeliyetine ulaşmak için robot eller konusunda ki son hedeflerini belirlediler. Henning Tolle, Darmstadt'ta şöyle bir açıklama yaptı: "Faydalanma amacımız uzay yolculuğudur. Gelecekte, insanlar tarafından ziyaret edilecek uzaydaki istasyonların sayısı artacaktır. Robotların burada esas itibarıyla iki görevi olacaktır: Onarım ve deney yapmak."

Tasarım mühendisleri, yer istasyonundan telsizle sevk ve idare edilebilen ve "tele operatör" diye isimlendirilen robot ellere daha şimdiden büyük ümit bağ-

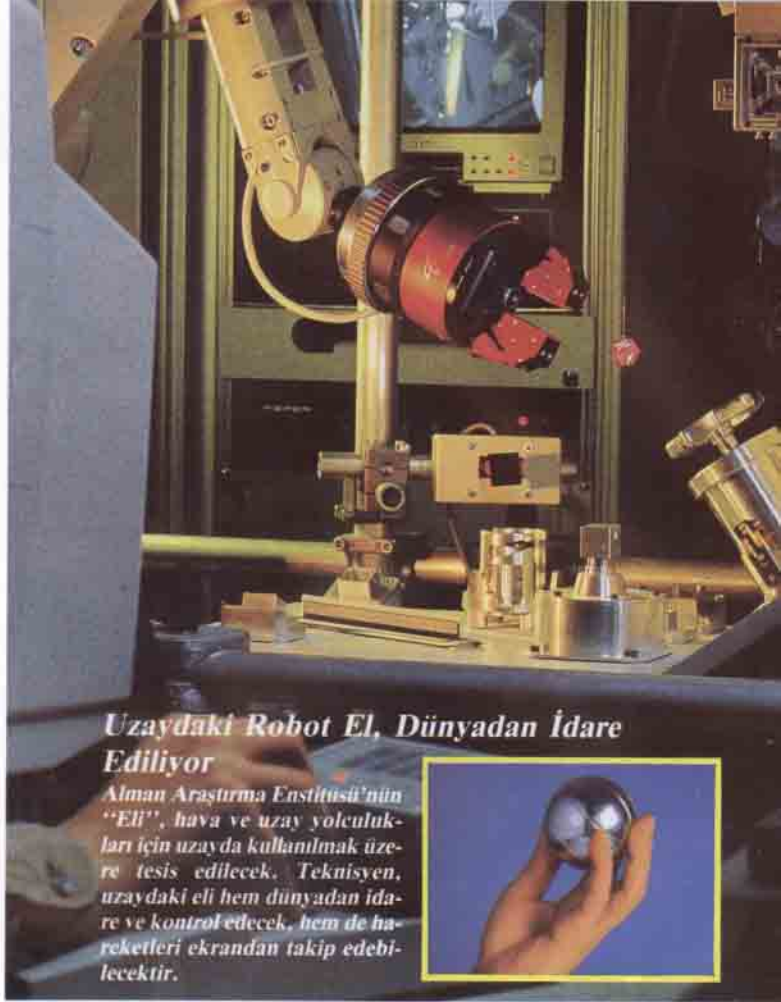
Robot eller, bugün hâlâ el protezleri için bir örnek teşkil edemediler. Robot uzmanları, biyo-sibernetikçiler ve protez uzmanları, robot ellerin karmaşık bir yapıya sahip olduğu ve herhangi bir özürünün, elektrikli itici kuvvetlerle (impuls) idare edilebilen yeni elini kolaylıkla kullanamayacağı konusunda görüş birliğine vardılar. Japon mühendisleri ise, ameliyatla bir uzvu kesme işlemini daha kolaylaştıran, sinyal ve sesli komutları algılayabilen mükemmel bir yapay elin, belki daha ilerideki bir zamanda yapılabileceği görüşünde birleşiyorlar.

Karlsruhe grubundan Hans-Jörg Schneebeli, "Prensip olarak zekice idare edilen çok amaçlı bir yapay ele, teknik imkânlar ölçüsünde insan eli örnek alınabilir." diye görüşünü açıklıyor. Araştırmacılar, insan elinin kendilerine nereye kadar yol gösterici olduğunu kesin olarak belirtemiyorlar. Japonya'daki laboratuvarlarda beş parmaklı, duyarlı ve birçok fonksiyona sahip robot eller mevcuttur. Bunlar, dış görünüş olarak insan eline çok benzerler. Halbuki robot eli yapan mühendisler, bu nesnenin birçok komplike işi gerçekleştirebilmeleri için çok uğraştılar. Bu mühendisler, elleri şimdilik belirli bir hünere yani, piyano çalmaya yöneltmekle yetiniyorlar. Stephan C.Jacobsen de "Utah/MIT-Eli" diye adlandırdığı robot elini biyolojik örneğe göre gerçekleştirdi. Onun prensibi, deneme yapan uzmanın, mekanik elin hatalı fonksiyonlarını daha iyi anlayabileceği yolundaydı.

Jacobsen'in arkadaşı Kenneth Salisbury, "Stanford-Eli"ni geliştirdiği zaman, insan elini bire bir örnek almak yerine, tam tersine hareket etti. Bu elin, Karlsruhe ve Darmstadt elleri gibi, nesnelere tutmak ve kullanmak için gerekli üç parmağı vardı. El, böylece daha kolay idare ve kontrol edilebiliyordu.

İnsan elini taklit eden bütün robot ellerin parmakları vardır. Fakat onları harekete geçiren motor güçleri, hiçbir zaman robot ele, biyolojik olarak tam bir benzerlik özelliği kazandıramamıştır. Robot eller, şu anda kendi kendini idare edebilen ve gerekli olan gücü sağlayabilen elektromotorlar tarafından mükemmel bir şekilde yönlendirilebiliyorlar.

Gerçi, zamanımızda Amerikalı, İngiliz ve Japon bilim adamları, termik, kimyasal ve elektriksel olarak uyarılabilen (stimüle) plastikten yapılmış kaslar geliştirdiler; fakat, bu yapay kaslar, henüz laboratu-



## Uzaydaki Robot El, Dünyadan İdare Ediliyor

Alman Araştırma Enstitüsü'nün "Eli", hava ve uzay yolculukları için uzayda kullanılmak üzere tesis edilecek. Teknisyen, uzaydaki eli hem dünyadan idare ve kontrol edecek, hem de hareketleri ekrandan takip edebilecektir.



var ortamından çıkamadılar. Aynı şey hafıza alışmaları için de geçerlidir: Şekilleri ısıya bağımlı olan metal alışmalara sıcaklık uygulanırsa, parmağın önceden belirlenen bir duruma kadar eğilebildiği ifade ediliyor. Bochum-Ruhr Üniversitesi'ndeki bilim adamları, ince tel parmakları hafızalı alışımın oluşmasını sağlayan bir robot el modeli geliştirdiler. Hafızalı alışımlar üzerine isim yapmış olan Norbert Jost, bu olayı şöyle açıklıyor: "Bu fikir, daha gelişmelerin başlangıcıdır."

Motorların gücünü parmaklara aktarabilmek, görüldüğü kadar basit değildir. "Darmstadt-Eli"nin parmakları motorların gücünü, üzeri sarıllı çelik tel (bowden kablosu) sayesinde alırlar ve diğer tarafta da elektromotorlardan oluşan bir blok bulunur. Bu arada, özellikle çelik tel ve üzerine sarıllı kılıf arasında, hesaplanması oldukça zor olan bir sürtünme kuvveti meydana gelir. Bu kuvvet, "Darmstadt-Eli"nin üç ince parmağı arasındaki oransızlığı (denksizliği) ve çekiş mekanizindeki güç kaybını büyük oranda etkiliyor. Buna karşılık, çok sayıda kas ve sinirlere sahip olan kollarımız, şartlara göre elimizin kuvvetli veya yumuşak kavramasında bir sorun çıkarmıyor.

Makara sistemleri, vinçlerde olduğu gibi, mümkün olduğu kadar sürtünme kuvvetini azaltırlar. Ne kadar çok eklem hareket ederse, sistem o kadar karmaşık bir hal alır. "Karlsruhe-Eli", çelik telsiz, yani kassız idare edilebiliyor; Elektromotorlar, doğrudan eklemlere takılmış. Bu yapı, her şeyden önce eli hantallaştırıyor ve "El" in hemen hemen insan eliyle hiçbir benzerliği kalmıyor.

**Çok sayıdaki kas, elin içindeki kemiklerin çeşitli istikametlere hareket etmelerini sağlar. Bunlar, burada sinirler (sarı) ve atardamarlar (kırmızı) gibi yarı şeffaflıktaki sinir ve bağ zincirleri tarafından kuvvetlendirilirler.**



Baş parmağın kısa çekici kasi  
Baş parmak karşı kasi  
Baş parmağın kısa bükücü kasi

Baş parmak çekici kas

Solucanasi kasi

Yuvarlak içe döndürücü kas

Baş parmağın uzun bükücü kasi

İki başlı kol kasi

Üç başlı ön kol kemikli kasi

Dışa döndürücü kas  
Yüzeysel parmak bükücü kasi

## ROBOT ELLERİN EN ÖNEMLİ SORUNLARI, ELLERİNE ALDIKLARI BİR CİSMİ BİR AZCIK KAYDIRMALARIDIR

Pizza Üniversitesi'nde görevli İtalyan araştırmacıların düşüncelerine göre, günün birinde, doktor parmaklarının yerine geçebilecek "teşhis parmağı" da, çok sayıda algılayıcı ile donatılacaktır. Nabız atışlarını saymak için en uygun yeri parmakla dokunarak bulan ve "pulse" (nabız) olarak adlandırılan bu program, robot elde bulunan "keşif parmağı"nın maharetini daha da artıracaktır. Bu parmak sivri ucunu bir yere değdirdiği zaman, bir algılayıcı titreşimleri kaydediyor ve yüzeysel yapı hakkında bilgi elde ediyor. Basınca tepki gösteren algılayıcılar, iki yapay tabaka arasında bulunurlar. Dış algılayıcı, yüksek bir çözünümlüme gücüne sahiptir ve temas edilen nesnenin şekli hakkındaki bilgileri aktarır. İç algılayıcı da maddenin sertliğini kaydeder. Diğer algılayıcılar ise, hastanın ateşini ve bölgenin yüzeysel düzgünlüğünü tayin eder.

Tanınmış Japon robot uzmanları, Avrupa ve Amerikalı araştırmacılar, çevre hakkındaki bilgileri görerek değil de, bilakis dokunarak elde edebilmeyen, geleceğin robotu için en önemli bir özellik olacağı görüşünde birleşiyorlar. Robotların özellikleri, bir cismin ağırlık merkezini veya ağırlığını, sıcaklığını, yüzeylerin vasıflarını görmeden parmakları ile o cisme dokunarak, yakalayıp tutabilmeleridir. Henning Tolle'nin Darmstadt ekibindeki çalışma arkadaşı Wolfgang Paetsch, "Resimsel ve algılayıcı verilerin kavranabilmesinin tespiti oldukça zordur." diye düşünüyor ve şöyle devam ediyor: "Örneğin, verilerin hangi sıra içerisinde işlenmesi, hangilerinin öncelikli olması gerektiği belirlenmelidir. Büyük bir kısmı

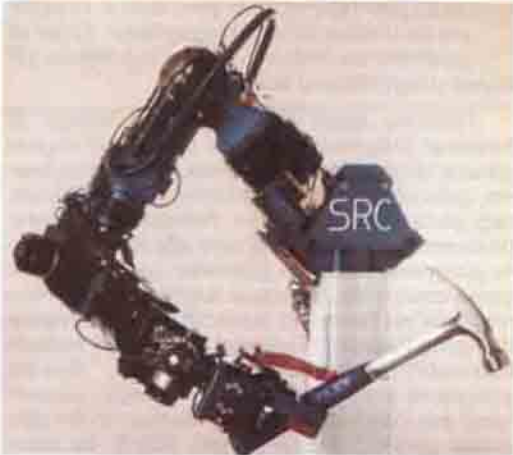


İnsanlar da dahil olmak üzere sürüngenlerin, kuşların ve memeli hayvanların ön uzuvları yassı bir şekil almıştır. Kaplumbağalar(1), bu değişime ideal bir örnek teşkil ederler. Bukalemunun pençesi(2) ve kertenkelenin tırnakları(3) ise, çok büyük özelliklere sahip uzuvlardır. İnsan elinin benzeri sadece primatlar da(4) bulunur. Ön kol ve ayaklar, diğer memeli hayvanlarda genellikle hareket için kullanılır. Çengel el(5), koşu eli (6-11), kazıcı el(12), yüzme eli(13,14) ve uçuşa eli(15), müşterek bir geçmişten gelerek gelişip büyüyen ve farklı fonksiyonlu klasik uzuvlar olarak nitelendirilir. Kanatların kuşlara ait olduğu hoatzin tavuklarının(16) kanat tırnaklarının sırrı açıklığa kavuşmamıştır.



## SRC-Eli, Çivi Bile Çakabiliyor

Utah'daki Sarcos Araştırma Kuruluşu'nun "SRC-Eli" çivi çakıyor, civata büküyor ve daha da ileri giderek kübik cismi, bütün yüzleri görülebilecek bir şekilde döndürebiliyor.



önemli olmayan verilerle değişken bir çevrede hareket eden robotlar, görme sistemi ile donatılmışlardır." Bundan dolayı, Amerika ve Avrupa'daki robot geliştirme laboratuvarları, gerektiğinde robot ellerinin algılayıcılarına ilâve olarak yapay gözleri de yerleştirmek istiyorlar.

Sayfayı çevirdiğiniz zaman, onu birazcık kaydırdığınızı hatırlıyormusunuz? Bu, dikkatsizlik değil, bilakis sayfanın çevrilmesindeki "bilinçsiz strateji" niye ait olan bir harekettir. Kenneth Salisbury de bu olayı şu şekilde yorumluyor: "Kontrol altındaki kaymalar, belki de insan eliyle yapılan marifetli işlerin en önemli bir şeklidir." Salisbury'un MIT-Grubu, kasıtlı kaymaları ve yuvarlanmaların metotlarını araştırıyor. Karlsruhe'deki araştırmacının eli de, yaptığı deneylerde yapay el parmakları ile ince nesnelere kaymasına mani olamıyor.

Çevre, nesne ve görev belli ise, robot hangi tutuş şeklini uygulayacağına karar verebilmelidir. Tıp literatürü altı tutuş şeklini şu şekilde açıklar: Parmak ucu, çengel, hentbol, yuvarlak, silindirik ve yan tutuş. Fakat Stanford Üniversitesi'nden Mark R. Cutkosky, beş yıl önce uzman mekanikçilerin "El tutuş şekilleri"ni araştırmaya başladığı zaman ümitsizliğe kapılmadı; çünkü çok kısa bir zaman sonra kendisi 16 tutuş şeklini buldu. Cutkosky, önce bu tutuş şekillerini benzerlerine göre tasnif etmeye başladı. Amacı, bir mekanik elin hangi durumlarda hangi tutuş şeklini seçeceğini önceden tahmin edebilen bir bilgisayar programını gerçekleştirmekti. Ancak, "Grasp-Exp." (tutuş denemesi) diye adlandırılan bu program henüz yazılmadı. Cutkosky, daha şimdiden tutuş şekillerinin seçiminde kullanılan yaklaşık 50 kural buldu ve 50 kural daha bulacağını tahmin ediyor.

Başka bir yolda ilerlemeyi ümit eden Michael Kuperstein, beynimizdeki fonksiyonlarla benzerlik arz eden "Sinir ağı" sistemi üzerine Massachusetts Brookline'de çalışmalarına devam etmektedir. Çevre uyarımı sebebiyle aralarında sinyal değişikliği yapan ve sonunda çevreye bir tür cevap veren böyle bir sinir ağı sistemi çok sayıda elemandan oluşur. Bu sinir sistemi ağı, basit bir bilgisayara verilen çok sayıda komutlardan veya kâğıt üzerinde yapılan matematiksel hesaplamalardan oluşturulan elektronik dağıtım elemanlarından meydana gelmektedir (Sinir ağı sisteminin bağlandığı malzeme, yapısı ve işlevi açısından önemli değildir). Eğer her ikisi de doğru seçilirse, yapay bir sinir ağı, insanların öğrenme olayındaki hareket tarzını ortaya koyabilir. Kuperstein'in "Infant" adındaki robotu, insan beyninin fonksiyonlarına benzer bir şekilde değil de, eskiden beri bilinen deneme-yanılma metotlarından sonra doğru tutuş şeklini öğrenebildi. "Infant"ın bir topu tutabilmesi, ancak binlerce saat süren denemelerden sonra gerçekleştirilebildi.

Bütün yapay el yapımcıları, modern bilgisayar sistemleri ile çalışır. Onları programlayabilmek, araştırmanın temelini teşkil eder. Bu sistemler, iç içe geçmiş karışık çok sayıda alt sistemden oluşur. İşleri yapan bir amatör için tecrübe, refleks, duyu ve he-



## Her El, Bir Bilgisayar Tarafından Yönlendirilir

*Robot ellere yapılan en büyük masraflın, yukarıda görülen "Standford-Eli"ne yapıldığı açıkça ortada: Motorlar, parmak uçlarının altındaki hassas algılayıcılar ve bilgi işleme gelen karmaşık programlar...*



## Fakat Sayfayı Çeviremiyor

*Tokyo Waseda Üniversitesi'nde Prof. KATO, org çalabilen bir robot geliştirdi. Atölyeden çıkan usta "Virtüöz", video-gözü ile bakarak çalabilme ve ayakları ile pedal çevirebilme yeteneğine sahiptir. Daha mükemmel olabilmesi için küçük bir ayrıntıya ihtiyaç var: Sayfayı çeviremiyor.*

def nasıl önemli ise, robotlar için de mükemmel bir şekilde hazırlanmış programlar önemlidir. Bazı alt programlar, aynı zamanda birbirleriyle paralel çalışmalı ve üç veya beş parmağın hepsi birden, aynı anda hissedebilmelidir. Program yapımcıları, sürekli yeni projeler hazırlayarak ve yeni marifetler tasarlayarak robotun beyin mekanizmasına kabiliyet kazandırmalıdır. Banyodaki bir sabunu tutmada biz insanların becerisi tartışılmaz. Robot ellerin programlanması, yüklenen bilgilerin amaçlarına bağlıdır.

Kenneth Salisbury, bu durumu şu şekilde açıklıyor: "Yüksek dereceli fonksiyonel mekanik, zengin algılayıcı-girdileri ve zihni kabiliyet, insanın becerisini ortaya çıkarır. Buna karşılık mekanik beceri ise, yukarıda bahsedilen bu üç alandaki eksikliklerden

sıkıntı çekmektedir. Robotlar, hâlâ çocukluk çağlarını atlatabilmişlerdir."

"Robot eller günümüzde her ne kadar hassas işler yapabiliyorlarsa da, yine de onlara kendimi tıraş ettirmek istemezdim." şeklinde düşüncelerini ifade eden yazar, robotların, bazı insan vasıflarına sahip olabilmeleri için, daha çok zamanın geçmesi gerektiğini önemle vurgulamak istiyor.

GEO Ekim 1991'den çev.: İdris ÖZYILDIRIM

**Azla mutluluk, çokla didişmekten iyidir.**

B. Franklin