

ARİ GİBİ DÜŞÜNMEK

Rodney Douglas, balarılarının bilişsel yeteneklerine hayranlık duyanlardan. "Neler yapabildiklerine bir bakın. Nasıl uçacaklarını öğreniyor, yollarını bulabiliyorlar. Karmaşık izlekleri tanıma ve bir dereceye kadar da iletişim kurabilme yetisine sahipler" diyor. "Alıcılarıysa hayli puslu. Hiç dünyayı bir arının gözlerinden gördünüz mü? Son derece ürkünçtür." Douglas bir hayvanbilimci olsaydı, böylesi çoşkulu sözler kimseyi şaşırtmazdı. Oysa onun Zürich'te bulunan Nörobilişim Enstitüsü'ndeki çalışma grubunun asıl ilgi konusu hayvanlar değil; silikon devreler. Douglas, hayvan beyinlerinin işleyiş tarzını taklit eden mikroelektrik devreler yaratmakla uğraşan "nöromorfoloji mühendisliğinin" önde gelen isimlerinden birisi. Sayısal bilgisayarların, bol sıfırlı sayısal hesaplamalarda kesinlik açısından son derece başarılı oldukları bir gerçek. Nöromorfoloji mühendislerine göre hayvanlar da gerçek yaşamın karmaşıklığıyla ve



rimli bir etkileşime girmelerine olanak tanıyan evrimleşmiş beyin ve duyulara sahipler. O halde, bu ikisinin en iyi yönlerini birleştiren cihazlar neden geliştirilmesin? Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nde çalışan elektronik mühendisi Rahul Sarpeshkar, "Aptal-görünümlü organizmalar inanılmaz güç hesaplamalar yapıyor" diyor. "Bunu elektronikte taklit etmemiz gerekiyor."

Beyin Taklitleri

Yapay sinirsel ağlar yoluyla hayvan beyinlerinin taklit edilmesine yönelik girişimler 1940'lardan beri sözkonusu. Buradaki ana fikir, ağdaki diğer birimlerden gelen sinyalleri birleştirebilen ve diğer bir birimler grubuna sinyaller gönderebilen bağımsız işlemci birimlerini -yapay sinir hücrelerini- birbirine bağlamak. Birimlerden her biri ancak sınırlı miktarda bilgi işleyebilecek olsa da bunlar bir ağ bünyesinde toplandıklarında, en azından kuramsal olarak, gerçek bir beyin işlevlerini taklit etmeleri bekleniyor.

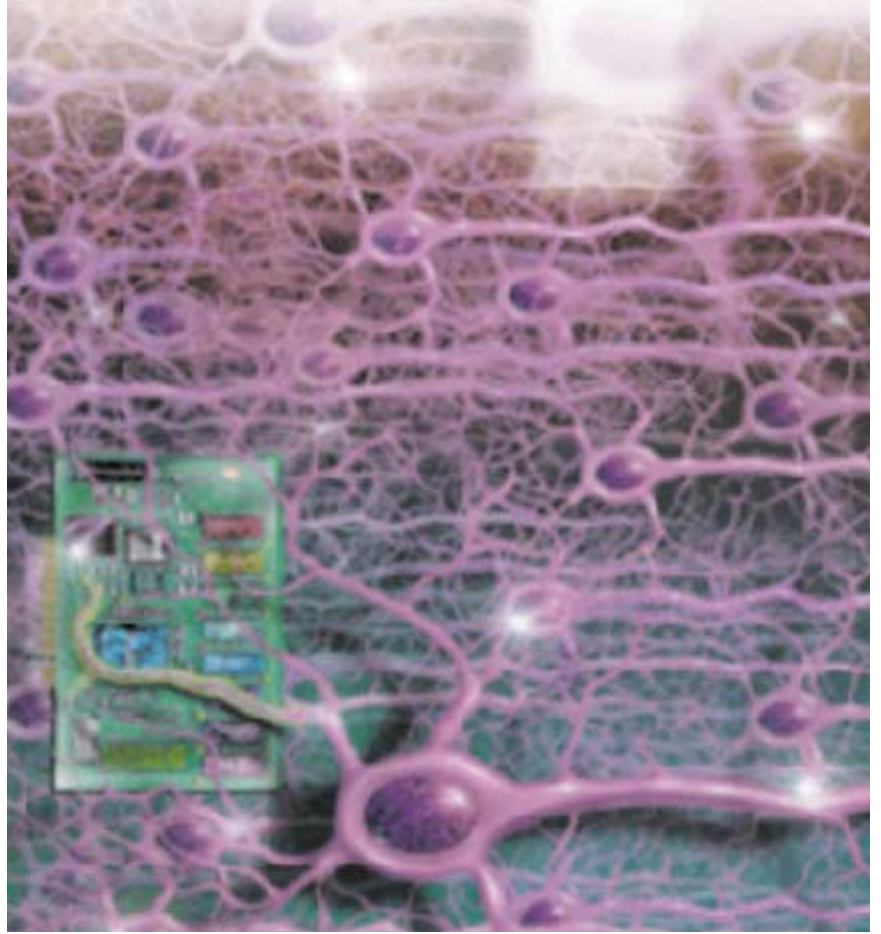
Sinirsel ağlar 1980'lerin başlarında araştırmacıların, ağları belirli örgüleri tanıma yönünde "eğitme"lerine olanak tanıyan karmaşık öğretici "kural-lar" geliştirmeleriyle gündeme gelmiş-ti. O sıralar, programcılar sayısal bilgi-sayarların kalıplar veya örüntüleri ayırdetmelerini sağlamakta hayli zor-lanmaktaydı. Örneğin, imzaları ele ala-lım. Her imza atışımızda, birbirleri arasında ufak farklar taşıyan örüntü-ler yaratırız. Bir otomatik imza tanıma sisteminin çalışması için, sistemin bu farklı örüntüleri aynı imzanın birer ör-neği olarak tanınması gerekir. Bu işi sa-yısal bilgisayarlar yoluyla başarmak güç; oysa yapay sinirsel ağlara bu tek-nik öğretilir. Bir kişinin imzasının çeşitli örnekleri girdi sinir hücrelerine sunulurken, çıktı sinir hücreleri de sü-rekli aynı çıktıyı verecek şekilde dü-zenlenir. Çıktı birimleriyle bir imzanın değişik biçimleri karşısında devreye giren çeşitli arabulucu sinir hücreleri arasındaki bağlantıların seçici bir şe-kilde güçlendirilmesiyle, ağlar imzala-rı tanımayı öğrenebilir.

Ancak silikon kullanarak bu tür bir sinirsel ağ inşa etmek hiç de kolay de-ğil. Ağda tek halde bulunan sinir hü-c-releri arasındaki bağlantılar, araların-daki bitişme noktalarında saklanan yük miktarının değiştirilmesi ve korun-masıyla güçlendirilir. Nöromorfoloji mühendislerinin ilk temsilcileri için bu büyük bir sorundu: ağların her kapat-lılışında yükler kayboluyor ve ağlar öğ-rendikleri görevleri "unutuyordu".

Geleneksel bilgisayarlarda bu tür bir sorun yaşanmaz; dolayısıyla sili-kondan ağlar kurmak yerine araştı-rmacılar yazılımlardan yararlanarak bunları taklit etmekte ve çalışılmış du-rumları bilgisayarın sayısal hafızasın-da saklayabilmekteler. Geçtiğimiz 30 yılda, taklitçi sinirsel ağlar (beyni di-ğerlerine göre daha iyi takilt edebilen-ler) üzerinde bir hayli çalışıldı. Bun-lar, gerçek beyinlerin nasıl çalıştığına ve çok sayıda yararlı uygulamayı nasıl gerçekleştirdiğine epeyce ışık tuttu.

Taklit Etmek

Ancak taklitçi ağlar nöromorfoloji mühendisliğinin gerçek ruhundan farklı bir noktada. Biyolojide, beyin-ler ve duyu organları hayli hızlı bir şekilde ve fazla güç harcamadan çalı-



şır. Taklit süreciyse yavaş olup aşırı güç harcayan bilgisayarlara gereksi-nim duyar. Ancak Pasadena'daki Ca-lifornia Teknoloji Enstitüsü'nden Carver Mead ve ekibinin 1980'lerin sonlarından itibaren yürüttükleri araştırmalar sayesinde, dünya çapın-da yayılmış bir düzine araştırma gru-bu, günümüzde gerçek nöromorfolo-jik devreler üzerinde çalışmakta.

Mead'in, analog elektroniğe dayalı silikon devreler yaratmakla uğraşmış-tı. Dijital bilgisayar çiplerinde sorun-lar kesin algoritmaların kullanımıyla çözülür. Sayılar ikili bir kodla -ayrı

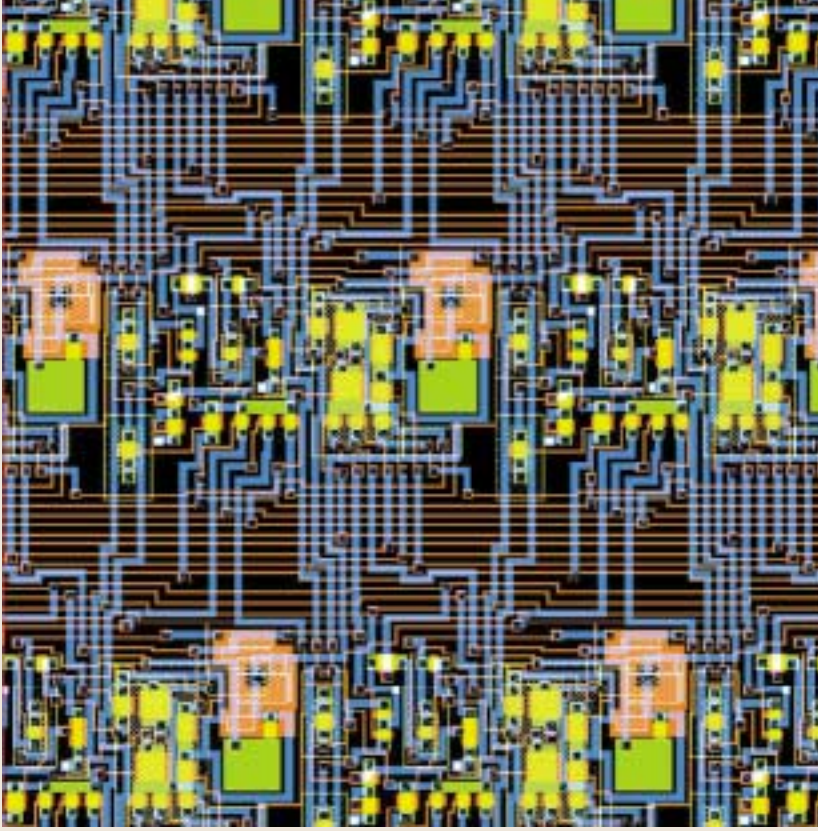


voltajlara karşılık gelen '0' ve '1' ile temsil edilir ve merkezi bir "saat" bil-ginin çip üzerinden nasıl gönderilece-ğini düzenler.

Karşılaştırıldığında analog devre-lerin hayli düzensiz olduğu görülür. Farklı sayıları göstermek üzere bir dizi gerilim kullanılır ve sinyaller merkezi bir kontrol olmaksızın dev-renin farklı bölümleri arasında dola-şır. Kesin algoritmaları uygulamak olanaksızdır. Bunun yerine, devre, sinyallerin "doğal" akışının yararlı iş-lemler yapacağı şekilde tasarlanmış-tır ki bu, hayvan beyinlerinin çalışma biçimine bir hayli yakındır.

Mead'in sağladığı en büyük katkı-lardan biri, yükün uzun süre güvenli bir şekilde saklanabildiği cihazlar olan yüzer-geçit (floating gate) ana-log yapıların icadıdır. Bellek sorunu-nun çözülmesine yardımcı olan bu icat, retinanın, yani gözlerimizin arka bölümünde bulunan ışık-algılayıcı katmanın işlevini taklit eden nöro-morfolojik aletlere giden yolun önü-nü açmış bulunuyor.

Retina bir fotoalıcı (ışığa hassas alı-cı sinir) hücreler toplamından ibaret



Çipler Görme Yetisini Daha Çok Anlamamızı Sağlıyor

Nöromorfoloji mühendisleri doğanın hesaplama yapmak için kullandığı numaralarından özgürce esinlenirler. Ancak alışveriş tek taraflı değil. Araştırmacılar, hayvan beyinlerinin silikon modellerini yaparak aynı zamanda biyoloji hakkında bilgilerini geliştirmekteler.

Nöromorfoloji mühendislerinin çoğu bu fikri ağızlarına sakız etmenin ötesine geçmemişken, Züriç'te bulunan Nörobilişim Enstitüsü araştırmacıları bu konu üzerinde çalışmalara başladı. Nörobilimci Kevan Martin ile elektronik mühendisi Shih-Chii-Liu insan beyninin görsel imgeleri nasıl işlediğini araştırmak üzere bir projede ortaklaşa çalışıyorlar.

Proje, Liu tarafından yapılan, kabuksal çip adlı (insanın görme sisteminin bir bölümü üzerine yerleştirilen analog silikon devresi) bir cihaz üzerine kurulu. Zihinlerimiz beyin kabuğunun bir dizi farklı bölgesini kullanarak görüntüleri inceliyor. Bunların ilki, "V1" olarak adlandırılıyor ve hareketi yakalama, çizgileri saptama gibi düşük seviyeli işlemleri gerçekleştiriyor.

Liu'nun cihazında V1'deki altı katmanın ikisi modellenmeye çalışılmış. Cihaz, 4. ile 6. katmanlar arasındaki bağlantıları taklit etmek üzere yapay sinir hücrelerinden bir ağ kullanıyor. 4. katman ilginç bir yer; V1'e gelen girdilerin çoğunu burası alıyor. Çipi olabildiğince gerçekçi bir şekilde yapabilmek için, çipin girdileri de

biyolojiden alınmış durumda. Martin kedilerin, V1'in 4. katmanına sinyal göndermekle ilgili sinirlerin faaliyetlerini kaydetti ve Liu da bu kayıtları doğrudan çipe girdi.

Liu, ağın tamamının performansını nasıl etkilediklerini görmek üzere yapay sinir hücrelerinin bağlantılarını ve özelliklerini ayarladı. Liu, özel parametrelerde (4. katman ile 6. katman arasındaki bağlantı sayısı gibi) ince ayarlar yaparak Martin'in nörofizyoloji alanındaki çalışmalarında kullanabileceği bilgiler edindi. Martin, "yanıtlanmayı bekleyen soru sayısı çok ama çok yüksek" diyor.

Örneğin, Martin 4. katmandaki farklı sinir hücrelerinin nasıl belirli "alıcı alanları" oluşturduğunu -diğer bir deyişle, bunların her birinin neden gözün görüş alanı içindeki farklı bir uzamsal alana tepki verdiğini- merak ediyor. Her bir sinir hücrelerinin alıcı alanının, beyin talamus adı verilen diğer bir bölgesinden gelen girdilerce kontrol edildiği düşünülüyor. Ancak Martin durumun bu kadarla kalmadığından şüphelenmekte. "4. katmanla kurulan bağlantıların yüzde ellisi 6. katmandan geliyor" diye dikkat çekiyor; "o halde, 6. katmanın görevi ne? Bu devre sayesinde 6. katmandaki sinir hücreleri bağlantılarını taklit edebilir ve neler olduğunu anlamak için gerçek veriler kullanabiliriz."



değil. Hesaplamalar yapar, nesnelerin kenarlarını daha belirginleştirmek üzere bilgileri işler (buna "kenar çıkarsama" denir), parlak veya karanlık koşulları dengelemek üzere sinyalin "kazanımını" ya da büyütülmüş halini ayarlar. Güçlü dijital makineler bu "önişleme"yi taklit edebilir, ancak sinir sistemleri bu işi basit, az güç gerektiren analog devrelerle yapar.

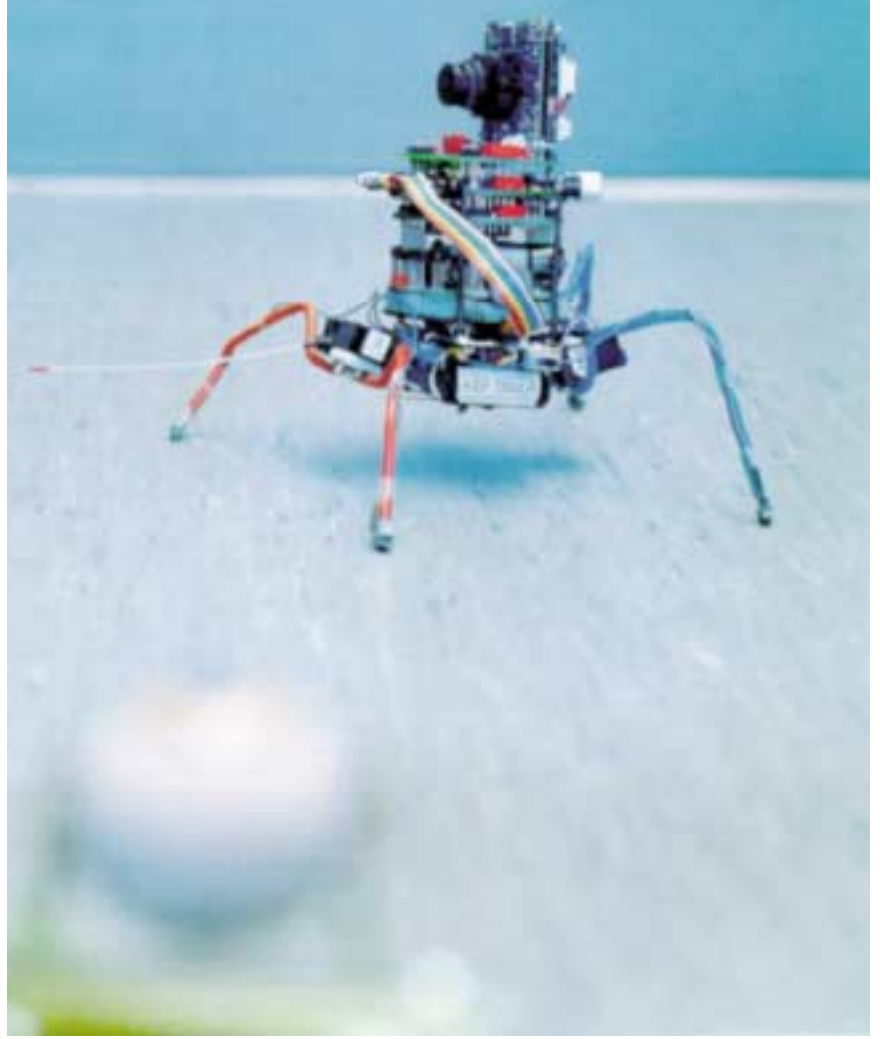
Mead bu basitliğin taklit etmek için yaptığı çalışmalarda Caltech biyologlarından Misha Mahowald ile birlikte çalışmıştı. İkisinin ürettiği ilk retina, zaman içinde daha yetkin fotoalıcılar ve daha karmaşık devre tasarımlarıyla geliştirildi. Ancak temel felsefe aynı kaldı. Silikon retinalar, her bir alıcının komşularına bağlandığı bir dizi fotoalıcıdan oluşur. Dirençler, yükselticiler ve diğer cihazlardan oluşan bir ağ sinyallerin alıcılar arasında gerçek zamanda akmasını sağlar. Bu devreyi gerçek retinalardaki ağları fiziksel olarak taklit edecek şekilde tasarlamak olanaksızdır; hücrelerin ve bunlar arasındaki bağlantıların miktarı son derece büyüktür. Bunun yerine, nöromorfoloji mühendisleri retinadaki ağların önişlemleri nasıl yaptıkları üzerinde çalışmakta, ardından da aynı işi yapan daha basit analog ağlar tasarlamakta

lar. Günümüzde, modern versiyonlar, örneğin Douglas ve onun Zürich'teki meslektaşları tarafından üretilen cihazlar, biyolojik retinalar kadar kenar çıkarsaması ve kazanım ayarlaması yapabilmekte.

Mahowald 1992'de, nöromorfoloji mühendisliğinin aletkutusuna adres-olay-temsili / AOT (address-event-representation) görünümünde yeni bir kalem ekledi. Bu yöntem çiplerin birbirleriyle iletişim kurmasına olanak tanıyordu. Her ne kadar nöromorfolojik çipler genellikle birbirlerine bağlı yüzlerce yapay sinir nöronu içerse de, bir çipin dış dünyayla kurabileceği bağlantı sayısının bir sınırı var. İki nöromorfolojik çip birbirine bağlandığında, tek tek bütün nöronları birbirine doğrudan bağlamak olanaksızdır. AOT'de belirli birimlerle ortaklık kurmuş giren ve çıkan sinyaller, bir merkezi "veri yolu" (bus) ile gönderilir. Çiplerin içindeki bağlantıların yönetilmesi çok daha kolaylaşır, böylelikle de veri yolu, "adres"lerini (her bir birime özgü, onu tanımlayan bir sayı) kullanarak tek tek birimlerle doğrudan konuşabilir.

Herşeyi Gören Fare

Nöromorfoloji mühendisleri ticari başarı şansına sahip bir ürüne bile dikkat çekiyor: 1994'te, California'da bulunan Fremont Logitech tarafından ortaya çıkarılan optik bilgisayar faresi. Gövdesindeki top yoluyla hareketi izleyen alışılmış farelerden farklı olarak, Logitech'in ürettiği cihaz, altındaki masaya "bakarak" hareketi takip eden görsel bir alıcıyla konumundaki değişiklikleri gözlüyor. Bu tür bir soruna ilişkin sayısal yaklaşımda, alıcının ilerleyişi boyunca sahnenin çekilen ardışık enstantane görüntülerinin karşılaştırılması sözkonusu; bu da cihazın ucuzluğu göz önüne alınırsa oldukça talepkar bir işlem. Bunun yerine Logitech, önce André van Schaik, ardından da Zürich'te bulunan İsviçre

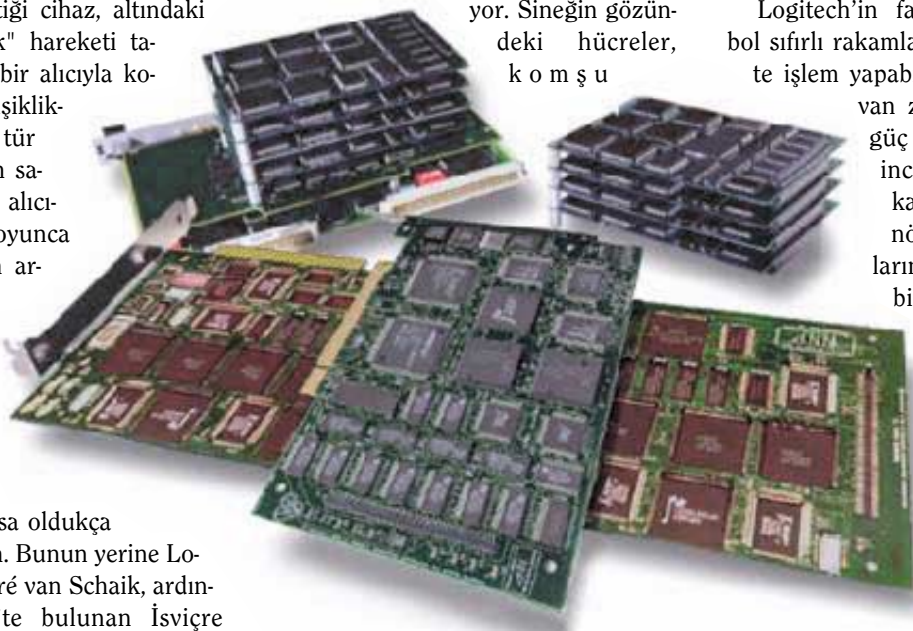


Elektronik ve Mikroteknoloji Merkezi tarafından geliştirilen bir nöromorfolojik çipi piyasaya sürdü. Van Schaik ucuz, az güç gerektiren bir cihaz tasarlamak için sineklerin görme sistemine ilişkin bilgilerini kullanmıştı.

Şu anda Avustralya'da Sidney Üniversitesi'nde bulunan Van Schaik, "Sineklerin zihinleri bir fotoalıcıda meydana gelen yoğunluk değişikliğini komşu alıcılardaki gecikmiş versiyonlarla karşılaştırır" diyor. Sineğin gözündeki hücreler, komşu

fotoalıcılardan gelen çıktılarını inceleyerek, gördüğü hareketli nesnelerin hızını ve yönünü tahmin eder. Fakat tek haldeki "hareket-saptayıcı" hücreler bu miktarlarla ilgili ancak kaba tahminlerde bulunur. Harekete ilişkin daha kesin tahminler, işlemlerin daha ileriki aşamalarında hücrelerin farklı hareket-saptayıcı hücrelerden gelen çıktılarını karşılaştırmasıyla gerçekleştirilir. Optik farenin çalışma prensibi de bunun gibidir.

Logitech'in faresi, bilgisayarların bol sıfırlı rakamlarla şaşmaz kesinlikte işlem yapabilme becerisini, hayvan zihinlerinin hızlı, az güç gerektiren örüntü incelemesi becerisiyle kaynaştırarak, analog nöromorfolojik cihazların geleneksel sayısal bilgisayarlarla nasıl birleştirilebileceğini ortaya koyar. Fakat eğer nöromorfolojik cihazlar bu denli büyük bir potansiyele sahipse, neden bu alanda binlerce değil de sadece





yüzlerce araştırmacı çalışıyor? Bunun nedenlerinden biri, analog bilgisayarçılığın, sayısal-çip teknolojisinde yaşanan dur durak bilmez ilerlemelerin kurbanı oluşu. Çip üreticileri, örneğin bir analog konuşma işleme aletine yatırım yapmakta gönülsüz davranırken, aralıksız bir şekilde gelişen bilgisayar teknolojisi, soruna sayısal bir yaklaşım getirmek üzere yeni yollar sunmakta.

Sinir Hücreleri

Bu dinamik karşısında, nöromorfoloji mühendisleri, biyolojiden esinlenmiş bilgisayar teknolojisinin taşıdığı avantajların gözardı edilemeyeceği hücre uygulamaları üzerinde yoğunlaşmakta. Örneğin, kendi başına çalışması gereken devingen cihazlar üzerinde çalışan araştırmacılar için, nöromorfolojik aletlerin güç randımanı çok cazip.

"Biyonik" yerleştirim cihazları üretmek üzere nöromorfoloji teknolojisini kullanmanın altında yatan mantık budur. Günümüzün, doğuştan sağır kişilerin duyma yetilerini bir ölçüde onar-

mak üzere kulak salyangozuna yerleştirilen cihazları, ses dalgalarını algılayan saç hücrelerinin mekanik versiyonlarını içerir. 30.000'den fazla kıl hücrenin işitme sinirlerine girdilerini 10 ila 20 elektrod kullanarak taklit eden yapay salyangozlar görece kabardır; yine de sonuçlar hayli etkileyici olabilir. En iyi durumda, yerleştirilen cihazlar kullanıcısının telefon görüşmesi yapmasına olanak tanımıştır.

Ancak günümüzün cihazları hacimli, aşırı güç harcayan ve harici kullanımlı sayısal-sinyal işlemcisinden yararlanır. Ayrıca, yerleştirilen cihazın birkaç haftada bir yeniden doldurulması gerekir, ki bu da kullanıcının uzun saatlerini bir dolmuş istasyonunda geçirmesi anlamına gelir.



Londra'daki Imperial College'in bir yan kuruluşu olan Toumaz Technologies, şu sıralar sayısal-sinyal işlemcisinin daha küçük, daha az güç harcayan bir analog versiyonunu üretmekle uğraşmakta. Bu projenin beyinlerinden elektronik mühendisi Chris Toumazou'a göre, hem yeni, az güç harcayan elektrodları hem de bunun işlemcisini kapsayan cihaz, kulağın içine yerleştirilecek ve yılda sadece bir kez yeniden doldurulması gerekecektir. Toumazou klinik denemelerin bu yılın sonuna doğru başlayacağını umud ediyor.

Toumazou ayrıca Mead ile Mahowald'ın öncülüğünü yaptığı analog retinaların işlevsel tıbbi cihazlara dönüştürülmesi üzerinde çalışmaya başlamış durumda. Bu, salyangoza yerleştirilen cihazların geliştirilmesinden daha zorlu bir iş, çünkü retinadaki önışlemler çok daha karmaşık ve işin içinde olan sinir sayısı çok daha fazla. (Her bir görme sinirimizde 1 milyon lif bulunur, işitme sinirindeyse bu sayı 30,000'dir.

Öte yandan, Baltimore'da bulunan Johns Hopkins Üniversitesi elektronik mühendislerinden Ralph Etienne-Cummings, insan omuriliğinin yürüme sırasında bacaklarda yaşanan kas gerilmesini ayarlama biçimini taklit eden bir devre üzerinde çalışmakta. Bunun bilincinde olmasak da, yürüme karmaşık ve kesintisiz gerçek-zamanlı hesaplamalar gerektirir. Omuriliğimiz, doğru kasılma dizgesini hesaplamak üzere dengemize ve bacak konumlarımıza ilişkin bilgileri biraraya getirir. Etienne-Cummings Mahomet, Illinois'de bulunan Iguana Robotics ile birlikte, belden aşağısı felçli kişilerin omuriliklerine yerleştirilerek onların yeniden yürümelerine yardımcı olacak bir çip yaratmak üzere çalışıyor.

En çoşkulu nöromorfoloji mühendisleri bile mevcut ürün sayısının -bir bilgisayar faresi- pek de etkileyici olmadığını farkında. Ancak bir dizi başarılı biyolojik yerleştirim cihazı durumu bambaşka bir noktaya taşıyacak. Toumazou'nun çalışanlarından, şu sıralar Johns Hopkins'te bulunan Andreas Andreou, "Yolumuz engibelerle dolu, fakat şu an için durum hayli heyecan verici" diyor.

Giles, J., "Think like a bee" Nature, 29 mart 2001

Çeviri: Hira Doğrul