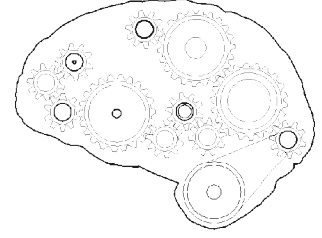


Sinir Ağları ve Yapay Beyinler



Gerçek bir beyin pelte gibidir. Beynin nöronları, kan damarları ve içi sıvı dolu karıncıkları lipid zarlardan, proteinlerden ve büyük ölçüde sudan meydana gelir. Parmağınızı beyne sokabilir, bir mikrotomda kesebilir, nöronlarına elektrot sokabilir ve kanın beyin damarları içinden pulslu akışını izleyebilirsiniz. Beynin incelenmesi biyoloji ve tıp ile sıkı sıkıya bağlı görünmektedir. Bununla birlikte, matematikçilerin, fizikçilerin, mühendislerin ve bilgisayar bilimcilerinin ilgisini beyin üzerine çeken bir başka taraf vardır. Onlar denklemler yazarak, bilgisayar modelleri ve hatta başımızın içindeki gerçek nöronları taklit eden araçlar yaparak beyin hakkında düşünürler.

Gerçek beyinler son derece uyumludur. Onlar hiç bilmedikleri yabancıların dilini anlaşılabilir hale getirme yeteneğine sahiptir. Ters giden şeylere toleranslı olabilirler. Hücreleri ölüyor olsa bile görevlerini yaşam boyunca oldukça iyi yaparlar, hatta yaşlılıkta bile yeni beceriler kazanma yetenekleri vardır. Günümüz robotları, bir otomobilin bir parçasını takmak gibi planlanan sınırlı bir alandaki görevleri yapmada çok başarılıdır, fakat işler ters gittiğinde çok daha az toleranslıdır.

Tüm gerçek beyinler birbirleri ile çok sayıda bağlantı yapan **sinir ağları**ndan oluşur. Nöronlar enerjiye, ağlar ise bir alana gereksinim duyar. Beynimiz kabaca 100 milyar sinir hücresi, 3,2 milyon kilometre 'kablo', milyon kere-milyar bağlantı ile 1.5 litrelik bir hacme sıkıştırılmıştır fakat yalnızca 1.5 kg ağırlığındadır ve sadece 10 Watt enerji harcar. Böyle bir beyni silikon çipler kullanarak yapmaya kalkarsak bu yapma beyin, 10 megawatt dolayında yani bir şehre yetecek kadar enerji harcayacaktır. Olayı biraz daha kötüleştirirsek, böyle bir silikon beynin ürettiği ısı, kendisinin erimesine neden olacaktır! Buradaki engel, beynin nasıl verimli ve ekonomik çalıştığını keşfetmek ve beyin-benzeri bir aracın yapımında benzer ilkeleri kullanmaktır.

Beyniniz 100,000,000,000 hücre; 3,200,000 kilometre kablo ve 1,000,000,000,000,000 sinaptik bağlantıyla 1.5 litrelik bir hacme ve 1.5 kg ağırlığa sahiptir. Sadece bir gece lambasının harcadığı enerji kadar elektrik enerjisi harcar!



Beyin devrelerini silikondan yapmak

Bir nöronun diğerine sinyal iletmenin **enerji maliyeti**, muhtemelen beynin evrimleşmesindeki temel faktör olmuştur. Beynin toplam enerji tüketiminin % 50-80 kadarı sinir liflerinde aksiyon potansiyeli iletiminde ve sinaptik iletimde harcanır. Geri kalanı üretim ve bakımda kullanılır. Bu, bizim beynimiz için olduğu kadar bir arının beyni için de doğrudur. Bununla birlikte, bir dijital bilgisayarın hızı ile karşılaştırıldığında, sinir impulsunun hızı çok düşüktür ve yalnızca saniyede birkaç metredir. Bir dijital bilgisayar gibi bir seri işlemcideki bu durum bizde de olsaydı yaşam çekilmez olacaktı. Bununla birlikte, biyolojik beyinler yüksek derecede paralel ağlar olarak yapılmıştır. Nöronların çoğu, diğer binlercesine doğrudan bağlantılıdır. Bunu gerçekleştirmek için beyin, hücre tabakalarını bükerek katlar, bağlantıları demetler şeklinde öreerek bir araya getirir ve herşeyi içinde toplayacak şekilde üç-boyutlu hacminden yararlanır. Bunun tersine, silikon nöronlar arasında makul sayılarda bağlantı yapmak bile çiplerin ve devrelerin iki-boyutlu doğası nedeniyle sınırlıdır. Böylece, beyindeki farklı olarak silikon nöronlar arasında doğrudan iletişim kesinlikle sınırlıdır. Bununla birlikte, ticari elektroniğin çok yüksek hızından yararlanarak pek çok silikon nöronun çıkardığı impuls katlanarak "çoğaltılabilir" (aynı bir hat üzerinde çok sayıda farklı bilgiyi aynı anda taşıyan bir süreç). Bu yolla, silikon mühendisleri biyolojik ağların bağlanabilirliğine ulaşmaya veya onu geçmeye çalışmaya başlayabilirler.

Gücü azaltırken hızı artırmak için, sinir sisteminden esinlenen mühendisler **dijital kodlama yerine analog** kodlamayı kullanan biyolojik planlama ustalığını benimsemişlerdir. Kaliforniya'daki silikon vadisinin önderlerinden biri olan Carver Mead, nörobiyolojinin teknolojiye dönüşümünü açıklamada 'nöromorfik mühendislik' tanımını uydurmuştur. Analog devreler, 0'lar ve 1'ler cinsinden dijital olarak kodlama yerine, nöronların eşik altı durumdayken yaptıklarına benzer şekilde (Bölüm 3) voltajdaki sürekli değişiklikleri kodlar. Silikon araçların temel fiziği kullanıldığından, hesaplamalar birkaç basamakta gerçekleştirilebilir. Analog hesaplamalar, toplama, çıkarma, üssel işlemler ve integral alma gibi temel işlemlerin kolayca yapılmasını sağlar, oysa bunların tümü dijital makineler için karmaşık işlemlerdir. İster biyolojik, isterse silikon olsun, nöronlar hesaplayarak 'kararlar' verdiklerinde, yanıtlarını hedef nöronlara iletmek üzere aksonları boyunca impuls yayarlar. Puls kodlaması enerji açısından masraflı olduğundan, verimli kodlama **gereksiz kullanımı** azaltarak impuls desenleri şeklinde gösterilen informasyon miktarını en üst düzeye çıkarır. Olabildiğince az sayıda aktif sinir hücresi kullanılarak enerji verimliliği de artırılmış olur. Bu, **seyrek kodlama** olarak adlandırılır ve yapay sinir ağları kurmada, mühendislere diğer önemli bir planlama ilkesi sağlar.

3

1

2

Silikon retina

Bir biyolojik ağı basit bir yapay örneği, ışığı algılayan ve çıkışı otomatik olarak aydınlanma koşullarındaki değişime uyarlayan bir silikon retinadan yapılmıştır. Bu retina, görme korteksindeki gerçek nöronlar gibi retinal görüntüdeki kontrast sınırları ve iki doğru arasında kalan açı ile ilgili bilgi çıkarma görevine sahip iki silikon nörona bağlanmıştır.

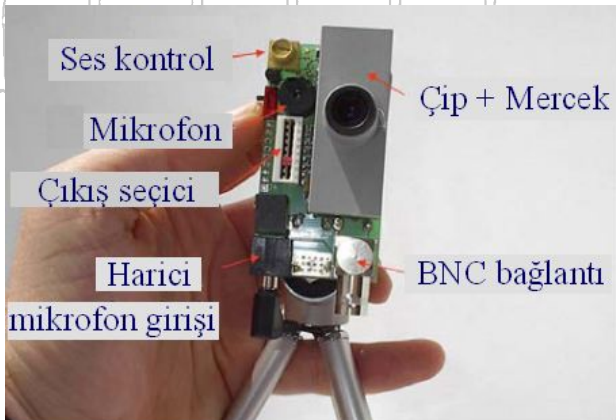
Bu ilk modeldeki nöronlar, topla ve ateşle (**integrate-and-fire**) nöronları olarak adlandırılır, bu nöronları nöromorfik mühendisler çok kullanmıştır. Onlara bu isim verilme nedeni, sinapslarına kadar ulaşan ağırlıklı girdileri 'toplama'ları ve sonuç voltajın eşik değere ulaşması durumunda aksiyon potansiyeli oluşumunu 'ateşleme'leridir. Silikon nöronlar, transistörlerden yapılmıştır, fakat transistörleri anahtar olarak kullanmak ve dijital sistemlerde olduğu gibi voltajları doygunluk değerine ayarlamak yerine, transistörler eşik altı aralıkta çalıştırılmıştır. Transistörler bu aralıkta, gerçek sinirlerin hücre zarları gibi davranırlar. Ek transistörler, gerçek iyon kanallarından voltaj ve zamana bağlı akım geçişine benzeyen aktif iletkenlikleri sağlar. Bu küçük görsel sistem, geliştirilmekte olan ve çok daha özenle hazırlanan yapay görsel sistemlerin ilk örneğidir fakat çok gürültülü bilgi içeren gerçek dünyadan gelen girdilerin basit bir karar oluşturmada nasıl hızla işlenebildiğini gösterir. Bu sistem, örneğin bir sahnedeki çizginin yönelimini belirlemek gibi yapması planlanan işi yapar ve sinirbilimciler daha şimdiden bu basit silikon görsel sistemi araçları test etmek ve öğrencileri eğitmek için kullanılmaktadır. Yapay ağlarla ilgili en önemli şey onların gerçek zamanda ve gerçek dünyada çalışmalarını ve çok az güç kullanmalarınıdır.

Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları (YSA) sıklıkla öğrenme ve belleği incelemek için kullanılmaktadır. Bu ağlar, genellikle bir bilgisayardaki yazılımdır ve bir ağda birbirleri ile çok iyi şekilde bağlantılı olan çok sayıda basit işlem biriminden oluşmuştur. Yapay sinir ağlarının en basit modeli, birbirleri ile bağlantılı giriş ve çıkış birimlerinin tabakalarına sahip olan **ileri beslemeli birleştiricidir**. Birleştirilebilen bir bellek, tabakalar arasındaki bağlantıların şiddeti değiştirilerek, örneğin bir girdi deseni gösterildiğinde o desenle ilgili olarak depolanmış desen tekrarlanarak kodlanabilir (Bir sonraki sayfada verilen **Matematiksel Yapboz Kutusuna** bakınız). Daha karmaşık bir YSA **tekrarlayan sinir ağıdır**. Bu, her birimin birbiri ile bağlantılı olduğu ve tüm birimlerin giriş ve çıkış olarak davrandıkları bir tek tabakadan oluşur. Bu kulağa garip gelmekle birlikte, böyle bir planlama sadece parçaları eşleştirmeyi değil, desenleri depolamayı olanaklı kılar. Böyle bir **oto-birleştirici ağı** kodlarının çözülmesi depolanmış bir desenin tekrarlanan incelenmesi ile elde edilebilir. 1000 birimlik bir ağ için, tekrarlanan desenlerdeki hatalar çok büyümeden aşağı yukarı 150 desenin yeniden edinilebileceği gösterilmiştir.

Yapay sinir ağlarının bilgi depolama ve işleme biçimi beyne benzer. Onun işlediği 'bilgi', ağı kendisinde mevcuttur. Aritmetik işlemci ve bellek adreslerinin ayrı olduğu dijital bilgisayardakine benzer şekilde ayrı bellek konumları yoktur. Bunun yerine, **içerik-adresli depolamaya** sahiptirler. Bir YSA'da informasyon, sinapsların öğrenme sırasında bağlantılarının dayanıklılığını değiştirmelerine benzer şekilde, bağlantıların ağırlıkları ölçüsünde depolanır. Yapay sinir ağları verilen herhangi bir işlemi yerine getirmek için programlanmamıştır. İçerisindeki her bir 'nöron' 'dilsiz' dir ve basitçe ağırlıklı girdilerin toplamına göre yanıtta bulunur. Buna rağmen, akıllı nesnelere olmaları için eğitilebilirler. Sinir hücreleri arasındaki bağlantıların dayanıklılığını değiştirerek ağı eğiten **öğrenme kuralları** verilen bir girdi desenine karşı ağı çıktılarını alan ve onu istenen desenle karşılaştıran bilinen bir kuraldır. Ağ, hata sinyali dereceli olarak minimuma düşürür. Bu yöntem çok yavaş çalışır.

Hata yapmanın önemli olduğu ve hata yapmayan bir ağı öğrenmesinin olanaklı olmadığı anlaşılmıştır. Bu öğrenmenin gözden kaçırılabilen bir özelliğidir. Hata yapmayan aşırı eğitilmiş ağlar, sonunda sadece bir tür girdiye yanıtta bulunacaklardır. Böyle ağlar, insan beynindeki efsane 'büyükanne hücrelerine' gönderme yapılarak sadece birisinin bir büyükannesini ortaya çıktığında yanıtta bulunan ve mecazi olarak asla yanılmayan anlamına gelen **büyükanneleştirilmiş** olarak adlandırılmaktadır. Öğrenmek zorunda olduğumuz her şey için ayrı bir ağ gerektiren bu durum, gerçek uygulamalarda yararlı değildir. Tersine, YSA'nın yeteneklerinin olağanüstü yanı, eğitilirken asla etkisinde kalmadığı girdi desenlerine **genelleştirme yapabilmesinde** yatar. Böyle ağlar ilişkileri görür, ortak yanları yakalar ve desenlerdeki düzenlilikleri keşfeder. Tam da gerçek beyinlerde olduğu gibi hata yapar, idare eder. Girdi deseni gürültülü olsa veya tam olmasa bile, depolanmış bir deseni tekrar ortaya çıkarabilir. Bu biyolojik beyinlerin çok önemli bir özelliğidir ve YSA'lar da bunu yapabilir.



Silikon retina önüne yerleştirilmiş bir kamera merceği.

Modern hesaplama teknolojisinin gelişmeleri

Bilgisayarlarda matematiksel benzerlerinin oluşturulması, günümüz YSA'larının gelişimidir. Benzerini oluşturma zaman aldığı ve YSA'ları gerçek zamanda çalışmadıklarından bu durum onların gerçek dünyada kullanılmasına çok fazla sınırlar getirir. Gürültüye karşı sağlam ve dirençli olmaları, ağıdaki bazı birimlerin çalışamaz hale geldiği durumda da işlerini sürdürmeye devam etmeleri nedeniyle YSA'ları bir otomobili sürmek veya bir uçağı uçurmak için çok uygun olduğunun düşünülmesi gerekir. Oysa, otomatik pilotlarda kullanılan uzman sistemler basamaklıp deterministik yazılımlarca programlanan bilgisayarlardır ve güvenlik açısından daima bir yedeğini gerektirir. Buna rağmen, uçakta işler ters gittiğinde, bu uzman sistemler sorunun üstesinden gelemezler. İnsan pilot yönetimi devralmalıdır. Günümüzde YSA'ları için eğitilen algoritmalar, böyle olağanüstü durumlarda çok yavaştır. Şimdiye dek yapılamamakta birlikte, silikon nöronlar öğrenebilseydi bu sorunların çoğu yok olacaktı. Beynin çalışma şeklini öğrendikçe, gerçek beyin benzeri işleri yapabilecek çok daha becerikli sinir ağlarını kurabileceğiz.



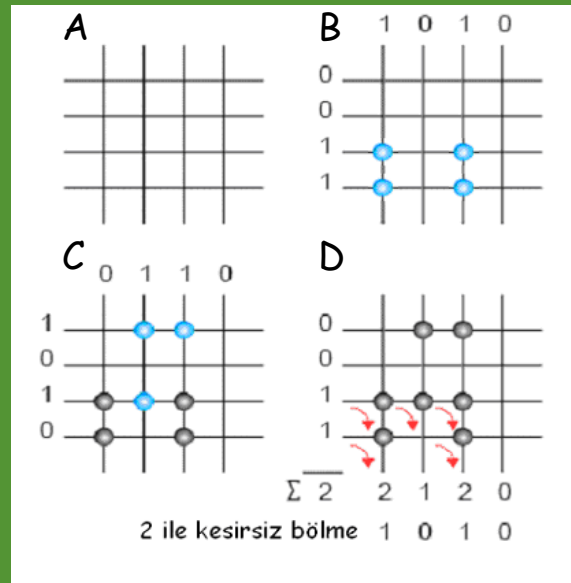
NOMAD gelecek için düşünülen makinelerin yerinde duramayan ama düşünceli bir öncüsüdür. Silindirik biçimli gövdesi ile yaklaşık 60 cm boyundadır, bu makine "gözlere", "kulaklara", kısıkaç şeklinde "kollara" ve gezinmesine yardım eden diğer algılayıcılara sahiptir. Kodlanmış emir ve kurallar olmadan çalışması, NOMAD'ı diğer pek çok robottan farklı yapar. Bunun yerine, NOMAD 10.000 taklit (simüle) beyin hücresiyle bir bilgisayar-taklit beyine ve çevresini algılamak ve yanıtta bulunmak için bir milyondan daha fazla bağlantıya sahiptir. Küçük boyalı küplerin oraya buraya dağıtıldığı bir yerde dolaşmak için yaptığı hatalardan yararlanarak doğruyu öğrenebilir ve yeni durumların üstesinden gelebilir. Dağınık küplerin bazıları onları "lezzetli" yapacak şekilde şeritli ve elektriksel olarak iletkenlerdir. Diğerleri daha az lezzetli olacak şekilde benekli ve iletken değildir. NOMAD küpleri arayıp bulup kısıkaçlarındaki elektrik algılayıcılarla tadarak benekli küpleri atlamayı öğrenebilir ve kendine göre tatlı olanlara yönelebilir.



Matematiksel Yapboz Kutusu

İçeriği-Adreslenebilir Dağıtılmış Bellek

Düşey konumdaki 4 telle kesişen ve kesim noktalarında devreyi açıp kapayan bir "anahtar" olan (A şekli) yatay telleri dikkate alınız. Bu matris, bir belleğe karşılık gelmektedir. Bilgi, örneğin 0011 ve 1010 da olduğu gibi ikili sayılarla gösterilir ve anahtarlar 1 değeri 1'e karşılık geldiği yerde devreden akım geçecek şekilde düzenlenebilir (B'de mavi olarak gösterilmiş). Bunlar, eşleşen bu iki sayıyı depolar. Matris ilk çiftin üzerindeki diğer sayıları da, 1010 ve 0110 gibi, depolayabilir. Matrisin son durumu, C de gösterildiği gibi, 7 anahtara sahip olmalıdır. İlk 0011 sayısı matrisin son durumunda tekrar gösterilirse ve devreyi açan bir anahtarın bulunduğu düşey tellerde etki ile akım oluşacak şekilde düzenleme yapılırsa (D), tabanda düşey tellerden çıkan 2120 sayısı ile orantılı bir akımla karşılaşsınız. Bu, onunla ilk eşleştirilen 0011 sayısı değildir. Fakat, 2120 sayısını, 1'lerin toplamını alarak hatırlatmada ipucu olacak (0+0+1+1 = 2 şeklindeki) 2 sayısı ile bölüp elde edilen sayının tamsayı kısımlarını alarak (geri kalanları yok sayarak), 1010 sonucuyla karşılaşsınız. Böylece, matris birincinin en üstünde başka bir mesaj depolanmış olsa bile 0011 değerini 1010 ile "hatırlar". Bunun böyle olduğunu ikinci bir sayı çifti ile kontrol edebilirsiniz.



Bu bellek, bir bilgisayardaki gibi, özel konumlarla ilişkilendirilen bir bellek türüdür. Bilgi, sinaptik ağırlıktaki değişikliklere göre ağ boyunca dağıtılarak depolanmıştır ve içeriğine bağlı olarak yeniden elde edilebilir. Karşılaşılabilecek bir sorun, özel olarak sadece 4 tel varsa, bu tür bir belleğin çok çabuk doygunluğa ulaşacak olmasıdır. Bununla birlikte, 1000 tane tel çifti ile oluşturulan bir matris, çok fazla girişim olmaksızın üst üste gelen çok sayıda mesaj çiftlerini depolayabilir.