

Optik Bilgi İşleme: Işıkla Çalışan Bilgisayarlar

Birçok kişi yaşadığımız çağı bilgi çağı olarak adlandırıyor. Bilginin bir yerden bir yere iletilmesi ve istenen şekle getirilmek üzere işlenmesi ile ilgili teknolojiler her zamankinden daha önemli bugünün ve yarının dünyasında. Çünkü askerî, ekonomik ve ideolojik güçlülük bilgi tarafından besleniyor. Bilgiye ve onu kontrol edecek teknolojilere sahip olmak (ki bu da bilgi), giderek toprak, maden ve benzeri kaynaklara sahip olma-ya göre önem kazanıyor. Tarih boyunca bilginin bir yerden bir yere iletilmesi, istenen şekle getirilmesi, saklanması için birçok teknoloji geliştirilmiş. Bugün, haberleşme dediğimiz, bilginin (örneğin şehirlerarası bir telefon hattında olduğu gibi) bir yerden bir yere iletilmesi konusunda optik teknolojiler büyük başarı sağlamış durumdadır. Optik, en basit tanımıyla, fiziğin ışıkla ilgili olayları inceleyen dalıdır diyebiliriz.

Haldun M. ÖZAKTAŞ*

Optik haberleşmenin ilkeleri aslında çok basit. El fenerinizi kullanarak sizden uzaktaki bir arkadaşınıza *Mors alfabesiyle* söylemek istediklerinizi iletebilirsiniz. Bu yöntemin sakıncaları, fenerden çıkan hüzmelerin uzaklıkla dağılarak gücünü kaybetmesi ve kötü hava koşullarında ışığın büyük uzaklıklardan görülememesi. Eğer ışığı dışına şaşırmadan bir yerden bir yere iletebilecek bir tür boru olsaydı elimizde, daha büyük uzaklıklar arasında iletişim kurabilirdik. Örneğin içi ayna kaplı bir boru bu işi görebilir (Bir ucundan içine tuttuğumuz ışık, borunun ayna kaplı iç yüzeylerinden yansıya yansıya borunun öbür ucuna varacaktır). Ancak böyle borular hantal ve pahalı olacaklarından, üretilip kullanılmıyorlar. Neyse ki buna benzer prensiplerle ışık gören, ama çok daha kullanışlı, ucuz ve ince (milimetrenin yüzde biri kadar) ışık boruları yapmak mümkün. Bunlara *optik fiber* deniyor (fiber = elyaf). Bugün, bir ucundan ışık verildiğinde, öbür ucundan alınabilen yüzlerce kilometre uzunluğunda optik fiber kablolar üretiliyor. Bu kablolar hız, kapasite ve güç tüketimi açısından eskiden kullanılan bakır elektrik kablolarından kat kat üstün oldukları için onların yerini alıyor, hatta uyu bağlantılarıyla bile rekabet edebiliyorlar.

Bazı araştırmacılar, nasıl optik haberleşme bakır elektrik telleriyle haberleşmenin yerini alıyorsa, *optik bilgisayarların* da *elektronik bilgisayarların* yerini alacağını savunuyorlar. Bu sav bugün hâlâ tartışılıyor. Yarının bilgisayarları ışıkla mı çalışacak? Bu sorunun yanıtını tartışmadan önce, bir bilgisayarın ışıkla çalışmasının ne demek olduğunu anlamalıyız.



Işıkla çalışan bilgisayarlar deyince aklınıza güneş enerjisiyle çalışan hesap makineleri gelebilir. Ama bunlar, optik bilgisayar değil, ışık enerjisiyle çalışan basit elektronik bilgisayarlardır; yani içlerinde elektrik akımları dolaşan elektronik devrelerden yapılmışlardır. Bu yazıda optik bilgisayar diye söz edeceğimiz, çalışmalarını için gereken enerjiyi elektrik prizinden (ya da pillerden) alan, fakat bilginin ışıkla temsil edildiği, işlemlerin optik devrelerle gerçekleştirildiği makineler.

Yazımıza bazı temel kavramlardan söz ederek devam edeceğiz. Bilginin ve bilgi işlemenin ne olduğu hakkında fikir vermeye çalışacağız. Daha sonra sırasıyla elektronik ve optik bilgi işlemin ne olduklarını ve farklarını anlatacağız.

Bazı Temel Kavramlar

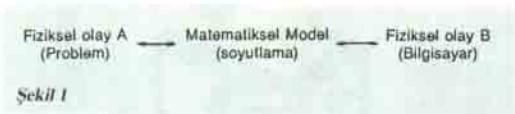
Bilgi ve Bilgi İşlem: Diyelim bir piknikte sandviç ekmeklerinin ayrı renkli üç sepetten hangisinde olduğunu hatırlayamıyorsunuz, arkadaşınıza soruyorsunuz. "Yeşil sepette" diyerek size ekmekleri bulmanız için gerekli *bilgiyi* veriyor. Bu örnek bilginin, belirsizliği ortadan kaldıran bir unsur olma özelliğini gösteriyor. Ya da diyelim ekmeklerin yerini sorduğunuzda arkadaşınız "Ya kırmızı, ya yeşil sepette ama hangisi hatırlayamıyorum" diyor, kızınızsa "ya sarı, ya yeşil sepette" diyor. Her ikisi de tek başına size ekmekleri bulmaya yetecek bilgiyi vermemiş olmakla beraber, basit bir mantıksal çıkarımla ekmeklerin yeşil sepette olduğuna karar veriyorsunuz. Bu çıkarım, *bilgi işlemin* basit bir örneği.

Günlük yaşamda bu tür basit işlemleri zihinsel, kâğıt kaleme ya da sayaç, abaküs benzeri âletlere dayalı yöntemlerle yapabiliriz. Ancak, bazı problemlerin çözümünde karşımıza çıkan çok sayıda işlemin

* Yrd.Doç.Dr., Bilkent Üniversitesi Elektrik Mühendisliği, 06533 Bilkent, Ankara.

otomatik makineler tarafından çok daha yüksek hızla ve yanlış yapma olasılığı çok daha düşük olarak yapılması mümkün. Bu makinelere bilgisayar diyoruz. Şimdi analog ve sayısal denen iki tür bilgi işleminin farklarını öğrenmeye çalışacağız.

Analog Bilgi İşleme: İki sayıyı toplamak için (diyelim 6 ve 3), kimya laboratuvarlarında kullanılan dereceli silindirlere yararlanabiliriz. Bir silindire 6, ikincisine ise 3 birim su doldurup, sonra birindeki suyu diğerine boşalttığımızda sonucu 9 birim diye okuyabiliriz. Böylece, 'yarı otomatik' 'hidrolik' bilgisayarımızla toplama işlemine indirgenen problemlerin çözümünü bulabiliriz. Burada matematiğin rolü, iki fiziksel olay arasında köprü görevi görmek, aralarında var olan *analog*ın kolayca görülebilmesini sağlamak (şekil 1). Dereceli silindirlere sular ek-



lendiğinde, ikinci silindirdeki su miktarının bulunması, birçok başka fiziksel problem gibi, matematiksel olarak toplama işlemiyle modellenilebilir. Bu nedenle de bu fiziksel olaylardan bir tanesi diğerleri için model kabul edilebilir ve onlarla ilgili sonuçlar elde etmemize olanak tanır. Başka bir deyişle, doğada gözlediğimiz fiziksel olaylara anlam verebilmek için, onların soyut matematiksel modellerini kurarız. Eğer iki fiziksel olay aynı matematiksel modele sahiplerse, bunlar birbirlerinin *analog*udurlar diyoruz. Bu fiziksel olaylardan birisiyle ilgili gözlemlerimizden diğeriyle ilgili sonuçlar çıkarabiliriz.

Yukarda verdiğimiz örnekte, sayısal nicelikler halinde ifade ettiğimiz bilgi, suyun miktarıyla temsil ediliyordu. Bu *hidrolik* bilgi işleme bir örnek. Burada toplama işlemi, maddenin korunumuna ilişkin fiziksel yasadın yararlanarak gerçekleştirirdik. Öyleyse bilgiyi (çoğu zaman sayısal halde) fiziksel niceliklerle temsil ediyoruz ve bu fiziksel niceliklerin uymak zorunda oldukları fiziksel yasalardan faydalanarak istediğimiz temel aritmetik işlemlerini gerçekleştiriyoruz. Bir bilgisayarı hidrolik, elektronik ya da optik yapan da, bilginin suyun miktarıyla mı, elektrik akımının miktarıyla mı, yoksa ışığın şiddetiyle mi temsil edildiğiyle ilgili.

Sayısal Bilgi İşleme: Analog bilgi işlemde, sayısal bir nicelik, kendisiyle orantılı bir elektrik akımıyla temsil edilebilir. Örneğin 8 sayısı, 4 sayısının iki katı bir elektrik akımıyla temsil edilir. Ya da telsizle konuşan bir insanın sesi, 3 kat yüksek çıktığında, verici telsizden havaya 3 kat şiddetli radyo dalgaları yayınlanırlar.

Parazitin yoğun olduğu ortamlarda telsizle haberleşirken, karşımızdakinin ne dediğini anlamak güçleşebilir. Böyle durumlarda, doğrudan konuşmak yerine, söylediklerini Mors alfabesini kullanarak, harf harf, kısa ve uzun 'düt' sesleriyle şifreleyebiliriz. Örneğin 'K' harfi bir uzun, bir kısa, bir uzun düt

sesiyle temsil edilebilir. Burada önemli olan, parazitin doğrudan insan sesini ayırt etmeye ve söylenenleri anlamaya olanak vermeyeceği kadar çok olduğu durumlarda bile, kısa ve uzun düt seslerini ayırt etmenin ve bu şekilde söylenmek istenenlerin anlaşılmasının mümkün olabileceğidir.

Benzer nedenlerle, modern haberleşme ve bilgi işlemde de bilgi, *aç-kapa, var-yok, DOĞRU-YANLIŞ* gibi kolayca ayırt edilebilen simgelerle şifrelenir. Örneğin 'A' harfini 'akım var - akım yok - akım yok - akım yok - akım yok - akım yok - akım var' şeklinde şifreleyebiliriz. Burada 'akım' dediğimiz, bir tel den geçen elektrik akımı. Hatırı sayılır parazit ve gürültü olan ortamlarda bile iletilmek istenen bilginin 'A' harfi olduğunu anlamak genellikle mümkündür. Oldukça parazitli de olsa 'akım var' üretilerek 'temizlemesine' olanak verir. Bu şekilde, parazit ve gürültünün birikerek iletilen ya da işlenen bilginin anlaşılması hale gelmesini önleyebiliriz. Analog bilgisayarlarda ise gürültü sürekli olarak birikir ve bu nedenle belli bir karmaşıklıkta öte işlemler gerçekleştirilmeye engel olur. Oysa sayısal bilgisayarlarda ki bu 'temizleme' olanağı sayesinde sınırsız karmaşıklıkta işlem yapılabilir. Bu nedenle modern genel amaçlı bilgisayarlar sayısal bilgisayarlardır.

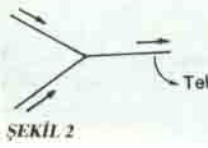
Bilgisayar İçi İletişim: Karmaşık bir problemin çözümü, birçok aritmetik-mantık işleminin aynı anda yapılmasını ve bunların sonuçlarının uyumlu bir şekilde bir araya getirilmesini gerektirir. Bu nedenle bilginin nasıl temsil edildiği ve aritmetik-mantık işlemlerinin nasıl gerçekleştirildiğinden öte önemli bir konu da, karmaşık bir bilgisayarın birçok birimleri arasında bilginin nasıl ilerli-geri iletileceğidir. 1980'lerden önce daha az önemsenen bilgisayar içi iletişim konusu, son yıllarda giderek artan bir önem kazandı. Bunun nedeni, büyük bilgisayarların birimlerini birbirine bağlayan tellerin bilgisayarın gücünü ve hızını sınırlayan temel unsur haline gelmesi. Bu ise, yaygın olarak kullanılan bakır-alüminyum vb. malzemelerden yapılan tellerin elektrik akımına direnç göstermek, kısa devre yapmak ve bunun gibi istenmeyen özelliklerinin sonucu. Bu nedenle bazı araştırmacılar, bakır ve benzeri normal iletken tellerin yerine, elektrik akımına direnç göstermeyen süper iletken tellerin kullanılmasını öneriyorlar. Yine bazıları ise - daha sonra tekrar değineceğimiz gibi - büyük bir bilgisayarın birimleri arasındaki haberleşmenin ışıkla sağlanmasının en iyi çözüm olduğunu savunuyorlar.

Elektronik Bilgi İşleme

Günümüzde yaygın olarak kullanılan genel amaçlı bilgisayarların hemenhepsi elektronik bilgisayarlardır. Asıl konumuz olan optik bilgi işlemin ne olduğunu daha iyi anlayabilmek için öncelikle - analog ve sayısal olmak üzere iki paragrafta - elektronik bilgi işleminden söz edeceğiz.

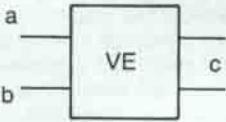
Analog: Elektronik bilgi işlemde bilgi elektrik akımları (ya da elektrik potansiyelleri) ile temsil edilir. Örneğin 5 sayısı, 5 Amperlik bir akımla temsil edilebilir. Şekil 2, iki koldan gelen akımlarla temsil edi-

len sayıların analog olarak toplanmasını gösteriyor. Bu işlem, elektrik akımının korunumu yasası sayesinde gerçekleşiyor: Sağdaki telden çıkan akım soldaki iki telden giren akımların toplamına eşit olmak zorundadır. Böyle basit bir bilgisayar, iki sayının toplamını bulmak gibi bir problemin çözümünde kullanılabilir. Daha karmaşık problemlerin çözümü için, buna benzer birçok temel işlem birimini bir araya getirmek ve çözümü istenen problemi bu temel işlemler cinsinden ifade etmek gerekir.



ŞEKİL 2

Sayısal: Daha önce değinildiği gibi, sayısal elektronik bilgi işlemde sembolik mantığın DOĞRU-YANLIŞ değerleri, akım var-akım yok şeklinde temsil edilebilir. Elektrik akımını oluşturan elektronların davranışlarına ilişkin temel fiziksel özellikler 'VE', 'VEYA' gibi sembolik mantıktaki işlemleri gerçekleştiren birimler yapılmasını olası kılar. Burada ayrıntılarına girilmemekle beraber, katı hal fiziği ve yarı iletkenler fiziği, bu işlemleri yapacak birimlerin hangi malzemeden ve nasıl yapılacağını saptamamızı sağlar. Örneğin şekil 3'te 'VE' işlemini gerçekleştiren bir birim gösterilmiştir. Eğer a ve b kollarının her ikisinde de 'akım var' ise, c kolunda da 'akım var' gözlenir. Ama a ve b kollarının



ŞEKİL 3

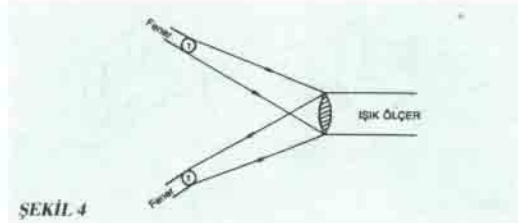
herhangi birinde bile 'akım yok' ise c kolunda da 'akım yok' gözlenir. Bu ise mantıktaki 'VE' işleminin başka bir şey değildir. Elektronik bilgisayarlar, yukarıda en basit şekliyle anlatmaya çalıştığımızı benzer birbirine bağlı çok sayıda birimden oluşurlar.

Optik Bilgi İşleme

Optik bilgi işlemden söz ederken analog ve sayısal bilgi işlemin yanı sıra, optik bilgi işleme ile yakından ilgili olan *holografi* ve yakın zamanlarda önem kazanan *yapay sinir ağları* konularına da kısaca değineceğiz.

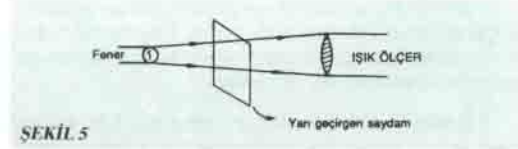
Analog: Analog optik bilgi işlemde bilgi elektrik akımları yerine, ışık ışınlarının *alan* şiddetiyle temsil edilir. Diyelim iki sayıyı toplamak için, ışık şiddeti ayarlanabilir iki el feneri ve bir ışık ölçerden yararlanabiliriz. El fenerlerini toplanacak sayılarla orantılı şiddete ayarlayıp, ikisinden de çıkan ışınlar üst üste ışık ölçerinin üstüne düşecek şekilde tutarsak, ışık ölçerinin göstergesinden toplama işleminin sonucunu okuyabiliriz (şekil 4).

Optik yöntemlerle çarpma işlemini de gerçekleştirmek mümkün. Çarpılacak sayı yine bir ışının şiddetiyle temsil edilsin. Çarpan sayı ise yarı geçirgen bir saydam maddenin geçirgenliğiyle temsil edelim. Örneğin eğer çarpan 0 ise, saydam hiç ışık geçirmesin. Eğer çarpan 1/2 ise yarısını geçirsün vb.



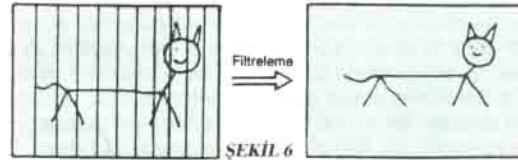
ŞEKİL 4

Çarpılacak sayıyı temsil eden ışını bu saydamın içinden geçirip bir ışık ölçerinin üstüne düşürdüğümüzde, ışık ölçerde çarpma işleminin sonucuyla orantılı bir ışın şiddeti ölçeriz (şekil 5). Bu yöntem çarpan sayıyı 0 ilâ 1 arasında sınırlıyorsa da genellenmesi mümkündür.

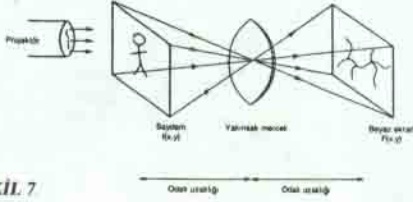


ŞEKİL 5

Kısacası, optik yöntemlerle toplama ve çarpma işlemlerini kolaylıkla yapmak mümkün. Ama analog optik bilgi işlemin esas önemi *Fourier dönüşümü* adıyla bilinen görece karmaşık bir işlemin yakınsak bir mercekle yardımcıyla kolayca gerçekleştirilebilmesinden kaynaklanıyor. Fourier dönüşümünün önemi ise, *filtreleme* adı verilen, bilgi işlemde çok önemli bir işlemin (kolaylıkla yapılabildiğini yukarıda gördüğümüz), çarpma işlemine indirgenmesine olanak tanimasından kaynaklanıyor. Filtreleme, bir matematiksel fonksiyonun, bir diğer fonksiyon tarafından belli bir değişikliğe uğratılmasıdır. Filtreleme yoluyla yapılabilecek işlemler arasında şekil/karakter tanıma, çeşitli matematiksel dönüşümler, bilgiyi gürültüden arındırma ya da gürültüye gömülü sinyalleri tanıma ve kodlama sayılabilir. Daha somut örnekler de verilebilir. Diyelim elimizde iki boyutlu (iki değişkenli) bir fonksiyon olarak bakabileceğimiz siyah-beyaz bir fotoğraf var. Burada fotoğraf kâğıdının beyazdan siyaha grilik derecesi yatay ve dikey koordinatların bir fonksiyonu. Kâğıdın üzerindeki her noktanın koordinatlarını (yani adresini), fotoğrafın sol alt köşesini olan yatay ve dikey uzaklığı ile belirtebiliriz. Bu şekilde belirlediğimiz her noktaya karşı gelen grilik derecesi ise fonksiyonumuzun bu noktadaki değeri. Diyelim bu fotoğrafın üzerinde şekil 6'da görüldüğü gibi, istenmeyen bir nedenden ötürü eşit aralık paralel çizgiler meydana gelmiş (örneğin fotoğraf bir kafesin arkasından çekilmiş) olabilir. Bu sistematik kusur uygun bir filtreleme işlemi ile giderilerek paralel çizgiler (çok kalın olmadıkları varsayılarak) görüntüden çıkarılabilir.



ŞEKİL 6



ŞEKİL 7

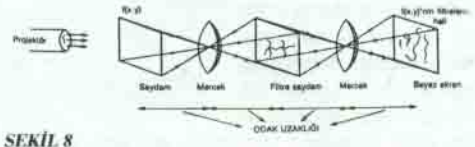
İkinci bir örnek olarak, hızla hareket eden bir aracın fotoğrafını çektiğimizi düşünelim. Eğer enstantane yeterince hızlı değilse, görüntü bulanık çıkacaktır. Bu kusur da yine uygun bir filtreleme işlemi sonucu giderilebilir ve aracın net görüntüsü elde edilebilir.

Yukarıda kısaca önemi ve yararlılığını vurgulamaya çalıştığımız filtreleme işleminin, Fourier dönüşümü yardımıyla çarpma işlemine indirgenmesi ise şu matematik teoremine dayanıyor:

Diyelim f ve h iki fonksiyon olsunlar. f fonksiyonunu h fonksiyonu ile filtrelemek için f fonksiyonunun Fourier dönüşümünü h fonksiyonunun Fourier dönüşümüyle çarpıp, çarpımın ters Fourier dönüşümünü bulmak yeterlidir. Öyleyse Fourier dönüşümünü ve çarpma işlemi yapabiliyorsak, filtreleme işlemini de aynı kolaylıkla yapabiliriz (Ters Fourier dönüşümü, burada ayrıntısına girmeyeceğimiz küçük bir farklılık dışında, düz Fourier dönüşümü ile aynı işlemdir).

Çarpma işleminin nasıl yapılabileceğini daha önce görmüştük. Fourier dönüşümünün nasıl yapılacağı ise Şekil 7'de gösterilmiştir. Sol taraftaki projektörden gelen ışık, f fonksiyonunu temsil eden yarı geçirgen saydamı aydınlatıyor (Eğer f fonksiyonu siyah-beyaz bir görüntü ise, sözü geçen saydam bu görüntünün diapositifinden başka bir şey değildir). Bu durumda, sağ taraftaki beyaz ekranda, F olarak ifade ettiğimiz f fonksiyonunun Fourier dönüşümünü gözleriz (Bu optiğin temel yasalarının ve burada vermediğimiz Fourier dönüşümünün tanımının basit bir sonucudur). Bir fonksiyonun Fourier dönüşümünü almak için gereksindiğimiz tek şey yakın-sak bir mercektir!

Şekil 8'de ise, yukarıda söz ettiğimiz teorem uyarınca filtreleme işleminin nasıl yapıldığı gösteriliyor. Bu şeklin sol yarısı Şekil 7'nin aynısı, f fonksiyonunun Fourier dönüşümünü bulmak işlemi gerçekleştiriyor. Ancak bu sefer, önceki şekildeki beyaz ekranın yerine, h fonksiyonunu filtreleyecek f fonksiyonunun Fourier dönüşümünü temsil eden bir saydam konuyor. Böylece f fonksiyonunun Fourier dönüşümü, h fonksiyonunun Fourier dönüşümüyle çarpılıyor (Daha önce anlatıldığı gibi, çarpılacak görüntü temsil eden ışık, çarpan görüntüyü temsil eden bir saydamın içinden geçince, çarpımı temsil eden bir görüntü elde ediyoruz). Sistemin sağ yarısının görevi ise sol yarısının tersi, küçük bir düzeltmeyle ters Fourier dönüşümünü gerçekleştiriyor. İstenen sonuç sağdaki beyaz ekranda gözlenebiliyor veya buraya konan bir fotoğraf kağıdına kaydedilebiliyor.



ŞEKİL 8

Optik sistemlerin yukarıda örneklediğimiz ve aralarında en önemlisi Fourier dönüşümünü kolayca gerçekleştirebilme özellikleri çoktan beri bilinmekteydi. Ancak bu özelliklerin uygulamaya konulmasına olanak tanıyan özelliklere sahip kaliteli ışık kaynakları yoktu. 1960'larda keşfedilen *lazerler* istenen özellikleri sağlayarak bu boşluğu doldurdular. Elektrik mühendisliği bünyesinde gelişmiş haberleşme ve sinyal işleme ile ilgili kavramların optik sistemlere uygulanması da yine bu tarihlere gerçekleşti. Bu iki unsur bir araya gelerek optik bilgi işleme araştırmaları ve uygulamalarında hızlı bir gelişmeye yol açtı.

Holografi: Sayısal optik bilgi işleminden söz etmeden önce, yine analog optik bilgi işlemin bir kol sayılabilecek holograftan söz etmek istiyoruz.

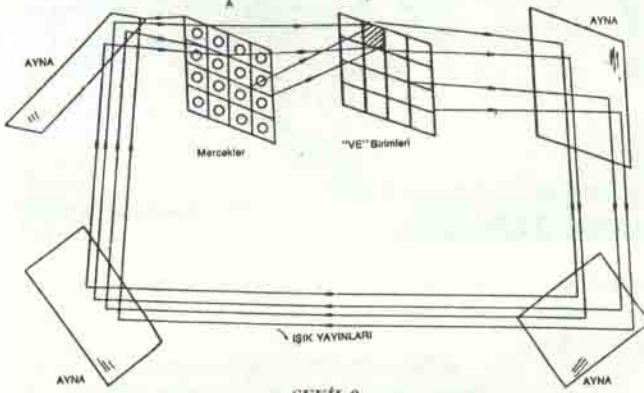
Konserde bir müzik eserini canlı olarak dinlediğimizde çalgılardan yayılan ses dalgaları kulağımızdaki sinirleri uyarır ve müziği algılamamıza yol açar. Eğer aynı müziği evimizde de dinlemek istiyorsak, plağın bulup çalabiliriz. Plağı çalan alet, konserde kulağımıza gelen ses dalgalarını çok benzerini odamızda yaratır ve bizde müziğin o an odamızda çalındığı sanısını uyandırır.

Günlük hayatta cisimleri, genellikle üzerlerinden yansıyan ışığın gözümüzdeki sinirleri uyarması yoluyla algılarız. Holografi (nasıl plağa ses dalgalarını kaydedip sonra çalıyoruz), bu yansıyan ışık dalgalarının kaydı ve tekrar üretilmesidir. Böylece kaydı yapılan cismin olmadığı bir yerde bile üzerinden yansıyan ışığın üretilmesiyle o cismin üç boyutlu olarak orada olduğu sanısı uyandırılabilir. Holografının normal fotoğrafçılıktan farkı, cismin üzerinden yansıyan ışığın sadece iki boyutlu izdüşümünün değil, o cismin bize bakan yüzüne ilişkin tüm üç boyutlu bilgini kaydedilmesidir.

Holografının gelişimi optik bilgi işleminin gelişimine paralel olmuştur. 3 boyutlu görüntülerin kaydedilmesinden öte, çeşitli bilgilerin yoğun biçimde saklanması, filtre sentezi ve ışık ışınlarının karmaşık doğrultularda yönlendirilmesi gibi önemli uygulamaları vardır.

Sayısal: Bugün bilgisayar deyince akla ilk gelen genel amaçlı sayısal bilgisayarlardır. Acaba elektronik benzerlerinden üstün özellikleri olan optik sayısal bilgisayarlar yapmak olası mı? Şekil 3'te 'VE' işlemini gerçekleştiren elektronik bir birim göstermiştir. Benzer işlemleri yapan optik birimler üretmek de mümkün; tek fark elektrik akımlarının yerini ışık ışınlarının alması. Sembolik mantıktaki DOĞRU'yu 'ışık var'; YANLIŞ'ı ise 'ışık yok' ile temsil edebiliriz. Işıkın maddeyle etkileşimi ile ilgili bildiklerimiz, 'VE' işlemini gerçekleştiren bir birimi nasıl üretmemiz gerektiğini saptamamıza yardım eder.

Şekil 9) örnek bir sayısal optik bilgisayarı göstermektedir. Sağ taraftaki B düzlemi üzerinde iki boyutlu bir matris şeklinde çok sayıda 'VE' kapısı dizili. Işık ışınları bu birimlerin üstüne sol taraftan ikiyeşer düşüyorlar ve her birimin sağ tarafından 'VE'



ŞEKİL 9

işleminin sonucunun karşılığı bir ışın çıkıyor. Bir birimden 'ışık var' çıkması için, o birimin üstüne düşmesi beklenen ışınların her ikisinin de 'ışık var' şeklinde olması gerekiyor. B düzleminin sağında 'ışık var' ve 'ışık yok' karelerinden oluşan matris şeklindeki görüntü, aynalarla yansıtılarak bir tur atıp A düzleminin sol yüzüne düşürülüyor. Burada bu ışınlar yine iki boyutlu bir matris şeklinde dizilmiş yönlendirici mikro mercekler sayesinde, B düzleminin üstüne düşmeleri planlanan 'VE' birimlerine doğru odaklanıyorlar. Sonra bu döngü tekrarlanıyor. Bu şekilde ardışık olarak gerçekleştirilen mantık işlemleriyle karmaşık problemlerin çözümü mümkün oluyor.

Burada iki noktanın üzerinde duracağız. Birincisi, böyle bir bilgisayarda çok sayıda işlemin aynı zamanda paralel olarak yapılabilmesi. Örneğin, yukarıda anlatılan sistemde birçok 'VE' işlemi aynı anda yapılabiliyordu. İkincisi ise yönlendirici mikro mercekler yardımıyla mantık işlemlerini yapan birimlerin kolayca birbirlerine bağlanabilmeleri.

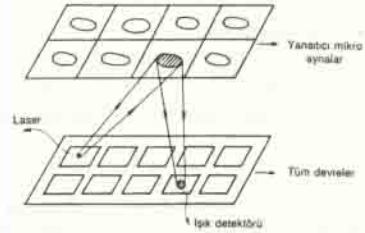
Bu iki özellik optik bilgisayarların elektronik bilgisayarlara göre en önemli iki üstünlüğü. Bu üstünlüklerin ilki, optik sistemlerin - bugünkü üretim teknolojisi sonucu iki boyutlu (yassı) yüzeylere mahkum elektronik sistemlerin tersine - üç boyutlu olarak gerçekleştirilebilmelerinden kaynaklanıyor. İkinci üstünlük ise ışık ışınlarının etkileşmeden, elektrik telleri gibi kısa devre yapmadan, birbirlerinin içinden geçebilmelerinin bir sonucu. Bu şekilde, elektronik sistem tasarımcılarının korkulu rüyası olan karmaşık ve çapraşık bağlantıların gerçekleştirilmesi mümkün.

Optik mantık birimlerinin bir üçüncü özelliği de hız. Prensipten, optik olarak gerçekleştirilen ve 'VE' işlemi, elektronik olarak gerçekleştirilenden çok daha hızlı yapılabilir. Ancak uygulamada, bu üstün-

lüğün yararı hâlâ tartışılmakta, çünkü bu yüksek hızlarda işlem yapıldığında işlem başına enerji tüketimi de çok yüksek olmaktadır.

Optik mantık birimlerinin en çok eleştirilen yönü de bu yüksek enerji tüketimleri. Bu daha da ileri götürerek, bu nedenle optik bilgisayarların hiçbir zaman gerçekleşmeyeceğini ve mantık işlemlerinin en iyi elektronik birimler tarafından yapılabileceğini savunanlar da var. Bu nedenle geçtiğimiz on yıl optoelektronik bilgisayar fikrinin doğuşuna ve gelişmesine tanık olduk. Madem optikle birçok işlemin aynı anda yapılması ve çapraşık bağlantıların kurulması, elektronik ile düşük enerji tüketimi ile mantık işlemlerinin gerçekleştirilmesi mümkün; öyleyse mantık işlemlerini elektronik birimlerle yapıp, bu birimler arasında iletişimi ışıkla sağlayalım deniyor.

Bu fikrin bir uygulaması elektronik bilgisayarların yapıtaşları olan mikroelektronik tümdevreler arasındaki bağlantıların optik olarak gerçekleştirilmesi (şekil 10). İçlerinde çok sayıda elektronik mantık birimini barındıran tümdevreler alt yüzeyde dizili bulunmaktadır. Birinden diğerine bağlantı yapmak, yani bir iletişim hattı kurmak için bilginin çıkacağı tümdevreye bir lazer ışık kaynağı yerleştirilir. Buradan çıkan



ŞEKİL 10

ışık üst yüzeyde bulunan yansıtıcı mikro aynalar tarafından alıcı tümdevre üzerindeki bir ışık detektörüne yansıtılarak odaklanır. Bu şekilde iki tümdevre arasında 'ışık var', 'ışık yok' şeklinde sinyallerle haberleşmek mümkün olur. Bu haberleşme sayesinde birçok tümdevre karmaşık bir problemin çözümüne hep beraber katkıda bulunurlar. Bu düzenlemeyle elektronik tümdevreler arasında elektrik telleriyle gerçekleştirilebileceğinden çok fazla sayıda bağlantının gerçekleştirilebilmesi olasıdır.

Yapay Sinir Ağları: Yapay sinir ağları, hayvanların beyinlerinin yapısından esinlenilerek tasarlanan yapay sistemlerdir. Yaygın olarak kullanılan sayısal bilgisayarlar, insan beyninden çok farklı prensiplere dayalı olarak çalışırlar, bu nedenle de insan beyninden çok farklı özellikler gösterirler. Sayısal bilgisayarlar çok sayıda tekrarlanması gereken işlemleri hızlı ve hatasız yapmak konusunda insan beyninden çok üstündürler.

ÖZEL HIZLI TREN

Şikago şehri ile banliyöleri arasındaki yoğun trafik tıkanmaya doğru giderken, Bölge Ulaştırma Teşkilatı yöneticileri değişik, hatta radikal taşıma projelerini iyiden iyiye düşünür oldular.

Kişisel hızlı tren taşıma metodu, bir kavram olarak ortaya çıktığı 50'li yıllardan beri sabırla beklendi, şimdi kendi otomobili ile şehir merkezine gidip gelen banliyö sakinlerine araçlarını terk ettirecek gibi gözüküyor.

Bu kavram 3-5 kişi gibi az sayıdaki yolcuyu belirli duraklar arasında döşenmiş raylar üzerinde hareket ederek taşıyan tam otomatik küçük vagon-araçlar filosuna ifade etmektedir. Araçlar bir lineer motor ile saatte yaklaşık 50 km hızla seyredecekler. Hepsinin bağlı olduğu merkezi bir bilgisayar sistemi yardımıyla yolcunun bulunduğu hemen her durağa, hem de yoğun saatlerde dahi en fazla 3 dakika içerisinde boş bir araç gönderilecek. Yolcu manyetik bilet satan bilgisayar kontrollü kapıdan geçerek durağa girdiğin-



de boş bir araca otomatik olarak "gel" işareti verilmiş olacak.

Bölge ulaştırma Teşkilatı yetkilileri, banliyölere 3 km'lik bir deneme hattı kurmak için iki ayrı mühendislik firması ile anlaşmaya vararak proje hazırlattı. Bunlardan birisi TAXI 2000 adını verdiği 3 kişilik aracın tasarımını hazırlarken, rakibi kutuya benzer 4 kişi alan aracı teklif etti.

Bugünlerde deneme güzergahı tespit ediliyor. İnşaatı için yeşil ışık yandığında deneme seferleri muhtemelen 1995'te başlayacak.

PM Ekim 92'den çev.: Nurettin ÖNCÜL

Ancak her problemin çözümü bu tür tekrara dayalı bir biçime verimli bir şekilde indirgenemeyebilir. Bu özelliğe sahip bir problem, birbirinden farklı, ama aynı sınıfa dahil edilebilecek cisimlerin ya da olguların tanınması ve sınıflandırılmasıdır. Bir insan için, ilk defa gördüğü dört bacaklı üstü düz bir cismin 'masa' olduğunu anlamak çok kolaydır, o masayı daha önceden hiç görmemiş olmasına rağmen. Bu genelleme yeteneği, beynimizin yapısının bir sonucudur. Oysa göz niyetine bir video kamerasıyla donatılmış sayısal bir bilgisayar için bir masanın 'masa' olduğunu algılamak son derece güç bir problem.

Yapay sinir ağları bu tür problemlerin çözümünde başarı sağlamak için tasarlanıyor. Bu sistemlerin en büyük özelliği (insan beyni gibi), çok sayıda işlemin aynı anda paralel olarak yapılması ve işlem birimleri arasında çok sayıda çapraşık bağlantı bulunması. Daha önce gördüğümüz gibi optik sistemlerin bu iş için biçilmiş kaftan olması nedeniyle, bu tür bilgisayarların yapımında optiğin önemli bir rol oynamasını bekleyebiliriz.

Sonuç

Sonuç olarak özellikle yüksek performanslı süper bilgisayarların birimleri arasında ışıkla iletişimin giderek yaygınlaşacağına, bugün kullanılan bakır, alüminyum vb. iletken tellerle iletişimin yerini optik bağlantıların alacağına ve bunlarla bugün mümkün olandan daha hızlı ve güçlü bilgisayarların yapılabileceğine kesin gözüle bakabiliriz. Bu nedenle optik teknolojilerin geliştirilmesi, haberleşmenin yanı sıra bilgi işlem açısından da önem taşıyor. Öte yandan, sözünü ettiğimiz temel aritmetik-mantık işlemlerinin, optik yöntemlerle gerçekleştirilmesinin elektronik olarak gerçekleştirilmesine yeğ tutulup tutulmayacağı ise hâlâ tartışma konusu. Bu konuda bizim ve kavrayışımız arttıkça yarının bilgisayarlarının optoelektronik mi yoksa yalnızca optik mi olacağı sorusunun cevabını da elde edebileceğiz.

KAYNAKLAR

1. Joseph W. Goodman, Four decades of optical information processing (Optik bilgi işleminin kırk yılı). *Optics and Photonics News*, February (Şubat) 1991.
2. *Byte* özel sayısı, No. 11, 1990.