

Haptik Teknolojisi ve Uygulamaları

Dokunma Duyusu Taklit Edilebilir mi?

Dr. Tuncay Baydemir [TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi

Dokunma duyusu gerçek ya da sanal ortam ile son kullanıcı arasında iki yönlü bir enerji ve bilgi akışı sağlaması bakımından benzersiz bir algılama şekli. Bu duyu mekanizması mekanik, termal ve kimyasal sinyaller aracılığıyla bilgi toplar. Dolayısıyla dokunma duyusu ile ilgili ekranlar ve arayüzler gibi insan merkezli teknolojilerin mühendisliği, bu duyu sisteminin niteliği ve kapasitesi tarafından belirlenir. Bu nedenle dokunma duyusu ile ilgili teknolojiler yani haptik teknolojiler geliştirilirken dokunma duyusunun işleyişini iyice kavramak gerekir.

Haptik kelime anlamı olarak Yunanca “dokunma duyusu ile ilgili” anlamına gelen *haptesthai* fiilinden türetilmiştir. Dokunma duyusu yoluyla çevredeki nesnelerin ve ortamların algılanması ve manipülasyonu bilimini ifade eder. Nesnelere ve/veya çevreye “dokunma”; insanlar, makineler veya her ikisinin bileşimi tarafından gerçekleştirilebilir; dokunma sırasında nesneler ve ortamlar gerçek, sanal veya bu ikisinin birleşimi olabilir. Ayrıca bu etkileşime görme ve işitme gibi diğer duyular da eşlik edebilir.





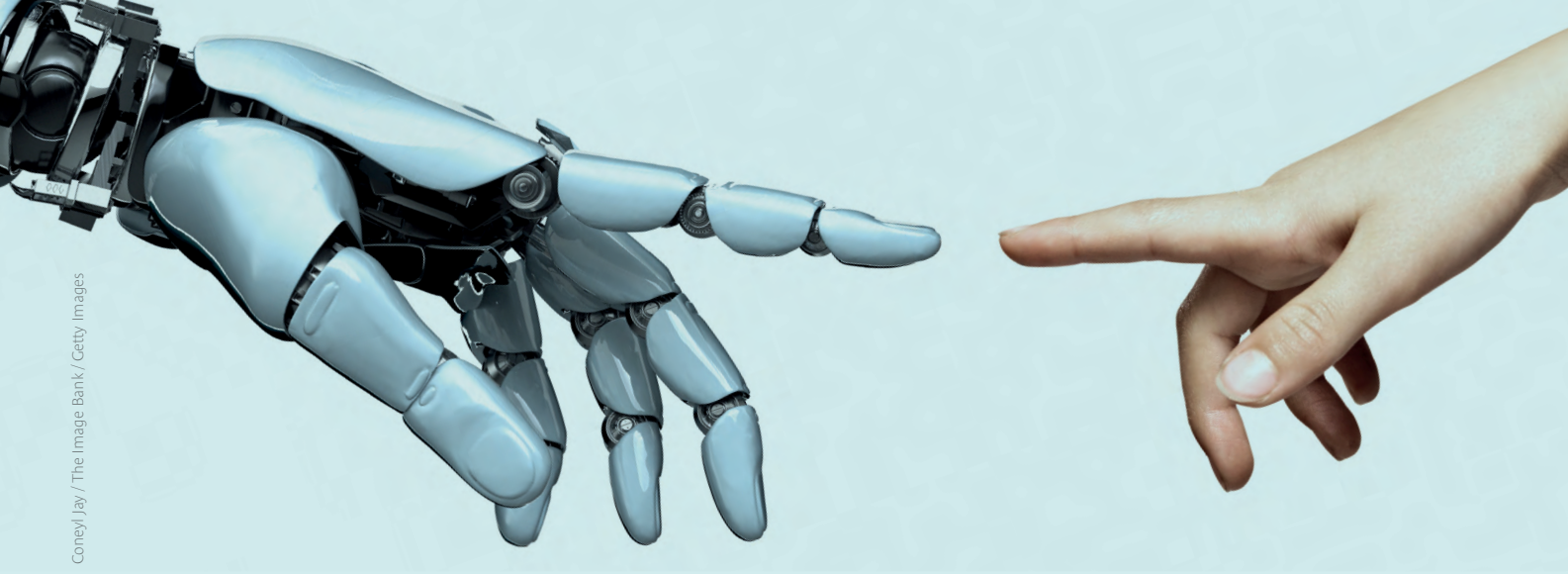


Insan haptik sistemi en büyük duyu organı olan deriyi, kas-iskelet sistemini, çevresel duyusal sinir sistemini ve beyni kapsar. Vücuttaki deri ve ilişkili dokular yoğun bir şekilde sinirlerle donatılmıştır. Ancak dokunsal hassasiyet farklı bölgelerdeki sinir yoğunluğuna bağlı olacak şekilde vücut yüzeyi boyunca değişiklik gösterir. Örneğin parmak uçları gibi vücudun en hassas bölgelerinde santimetrekare başına binlerce nöron bulunur. Bu duyusal algılayıcılar, bilinçli veya istem

dışı olması fark etmeksizin, vücudun çevreyle olan etkileşimi hakkında çok fazla bilgi içeren mekanik, termal ve kimyasal sinyalleri yakalar. İnsan sinir sisteminin iki işlevi haptik alanında birincil derecede rol oynar. Bunlardan ilki olan kinestezi; kaslar, tendonlar ve eklemler içindeki kuvvetlerin ve yer değiştirmelerin içsel olarak algılanmasıdır. İkincisi ise dokunsal algılama yani ciltteki değişikliklerin algılanmasıdır.

Psikoloji ve sinir bilimi literatüründe haptik teriminin karşılığı, kinestetik (kuvvet/pozisyon) ve kutanöz (dokunsal) algılayıcılar aracılığıyla insan dokunuşunun algı ve manipülasyonu ile ilgili çalışmalardır. Robotik ve sanal gerçeklik literatüründe ise haptik teriminin tanımı, robotlar ve insanlar ile gerçek ve sanal ortamlar arasındaki gerçek veya yapay dokunsal etkileşimler ve bu etkileşimlerin kombinasyonlarıdır. Dokunma yoluyla algılamanın tüm bileşenleri bir araya geldiğinde; nesnelerin, yüzeylerin ve malzemelerin özelliklerini algılamak ve bunlar üzerinde çeşitli fiziksel faaliyetler gerçekleştirmek mümkün hâle gelir. Dokunma hissi olmadan ve dokunsal geri bildirim sağlanmadan düğme iliklemek, not yazmak ve tokalaşmak gibi oldukça basit görevlerin bile gerçekleştirilmesi son derece zorlaşır.

Haptik araştırmaları için disiplinler arası çalışmalar yapmak gerekiyor. Biyomekanik, psikoloji, nörofizyoloji, mühendislik ve bilgisayar bilimleri gibi pek çok alan uzmanı haptik teknolojisi araştırmalarına katkı sağlıyor.



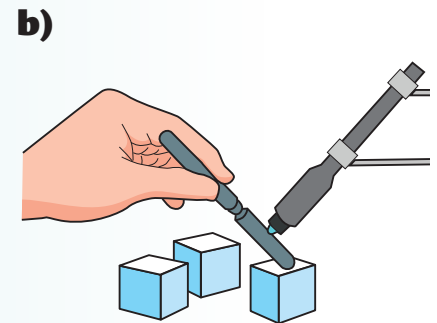
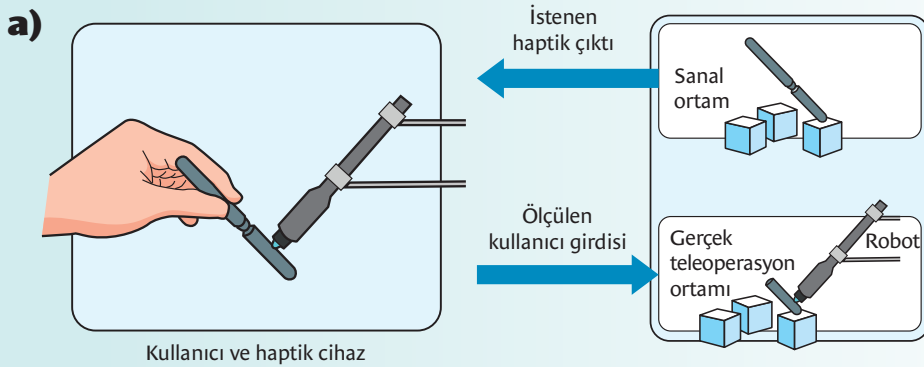
Genel Bir Haptik Döngü Nasıl Çalışır?

Dokunsal arayüzlerin amacı, mekatronik cihazlar ve bilgisayar kontrolü aracılığıyla gerçek bir ortamı manipüle ederek dokunsal deneyimi artırmaktır. Bu arayüzler, bir haptik cihaz ve kullanıcı girdilerinin haptik cihazla iletişimini sağlayan bir kontrol bilgisayarından oluşuyor. Dokunsal arayüzlerin yapıları ve çalışma prensipleri temel olarak

bu şekilde olsa da uygulamaların çeşitliliğine göre bazı farklılıklar görülebiliyor.

Haptik döngüyü en basit bir şekliyle tarif etmek gerekirse ilk önce haptik cihaz kullanıcı girdilerini (konum ve türevleri, kuvvet, kas aktivitesi vb.) algılar. Daha sonra ise algılanan girdi uzaktan kontrol edilen bir ortama uygulanır. Bu ortam ya sanal bir ortamdır ya da bir teleoperasyon sistemidir. Kullanıcı girdisinin sanal ortamdaki nesneler üzerindeki etkisi ve bundan dolayı kullanıcıya verilecek yanıt çeşitli modellemeler

ve haptik algoritmalar kullanılarak hesaplanır. Teleoperasyon sistemlerinde ise uzaktan gerçekleştirilen kullanıcı girdisi izlenir ve gerçek ortamla etkileşim hâlinde operatörlere aktarılabacak bu haptik bilgi kaydedilir. Son aşamadaysa dokunma duyuları haptik cihaz tarafından kullanıcıya iletilir. Kullanıcı kontrolünün bilinçli veya istem dışı olmasına bakılmaksızın, haptik geri bildirimle ilgili olarak kullanıcı girdisi değiştirilir ve yeni bir haptik döngü başlar. Oldukça basit görünen bu döngü, son derece karmaşık haptik arayüzler geliştirilirken çok zor bir



Hannaford, B., Okamura, A.M. (2016). Haptics. In: Siciliano, B., Khatib, O. (eds) Springer Handbook of Robotics. Springer Handbooks. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-32552-1_42

a) Genel bir haptik arayüzü döngüsü. Haptik cihaz insan kullanıcı girdilerini (konum, kuvvet vb.) algılar ve sistem bu girdiyi sanal veya teleoperasyonlu bir ortama uygular. Kullanıcıya aktarılabacak ortam yanıtı ise modeller, algoritmalar ve algılayıcılar yoluyla hesaplanır. Sonra haptik cihazda bulunan aktarıcılar üzerinden kullanıcıya dokunma duyuları iletilir.

b) İdeal bir senaryoda kullanıcı gerçek bir çevre ile doğrudan etkileşime girdiğini hisseder.

hâl alabiliyor. Bunların üstesinden gelmek ve başarılı uygulamalar geliştirmek içinse temel robotik teorisi ve insan haptik kabiliyetinin çok iyi anlaşılması gerekiyor.

Haptik arayüz performansı genel olarak insan algılama ve motor kontrol özelliklerine dayanıyor. Bu nedenle haptik cihazlar geliştirirken hem fiziksel dinamiklerin sürekli doğasının hem de bilgisayar kontrolünün ayırık doğasının dikkate alınması gerekiyor.

Dokunarak Neleri Öğreniriz?

1980'lerdeki araştırmaları sayesinde Susan J. Lederman ve Roberta L. Klatzky, insan haptik öğrenme prosedürleri olarak bilinen standartları ortaya koydu. Bu çalışmalarda gözleri kapalı kişiler ellerine yerleştirilen nesneleri değişik hareketler ve algılama kabiliyetleriyle tanımlayabildiler. Nesneyle ilgili (şekil, sıcaklık, doku gibi) özel bir bilgi istenildiğinde ise kişiler aynı prosedürleri izleme eğilimi gösterdiler.

Lederman ve Klatzky yaptıkları çalışmalar sonucunda, insan haptik algısını “keşif prosedürleri” olarak adlandırılan sekiz farklı uygulama ile

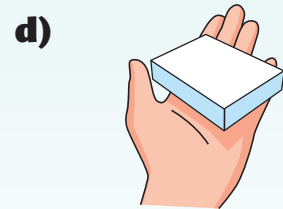
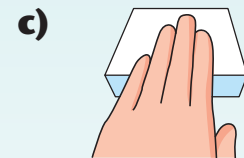
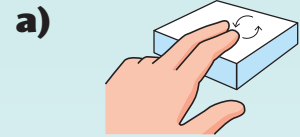
tanımladılar. Nesnedeki farklı özelliklerin doğru bir şekilde tanımlanabilmesi içinse iki elin birlikte kullanılması; el, bilek ve kol hareketlerinin serbest bir şekilde yapılabilmesi ve duyu mekanizmalarının doğru bir şekilde çalışması gerekiyor. Haptik cihazların tasarımı için bu keşif prosedürleri yol gösterici olarak büyük önem taşıyor. Araştırmalarda bu prosedürlerin hepsini birden destekleyecek bir cihaz tasarlamak hedeflense de günümüz teknolojisi ile bunu tam olarak gerçekleştirmek epeyce zor görünüyor.

Keşif prosedürleri uygulandığında nesnenin farklı özelliklerinin algılanması mümkün oluyor:

- 1) Yanal Hareket – Yüzey dokusu**
- 2) Bastırma - Sertlik**
- 3) Statik temas – Sıcaklık**
- 4) Desteksiz tutuş – Ağırlık**
- 5) Çevreleme – Şekil, Hacim**
- 6) Kontur takibi – Kesin şekil, hacim**
- 7) Parça hareket testi – Hareket kabiliyeti**
- 8) Fonksiyon testi – Özel işlevsellik**

Dokunma yoluyla pürüzlülük, uyum, sürtünme, deformasyon, esneklik ve kayganlık gibi farklı özelliklerin yanında eğrilik, şekil ve yönelim gibi özellikler de algılanabilir. Ayrıca eldeki nesnelerin adedi de sayılarak veya alt sınıflara ayrılarak belirlenebilir. Haptik cihazlarla bu işlevselliklerin

mümkün olduğunca fazla sağlanması hedefleniyor. Haptik arayüzlerin kullanımı ticari anlamda henüz çok yaygın olmasa da büyük bir potansiyel taşıdığı çok açık. Haptik uygulamaları otomotiv, tasarım/modelleme, eğitim, eğlence, insan-bilgisayar etkileşimi, imalat/montaj, tıbbi simülasyon, mikro ve nanoteknoloji, cerrahi robotik, moleküler biyoloji, uzay, rehabilitasyon ve tıbbi cihaz/protez gibi çok farklı alanlarda kullanılmak üzere geliştiriliyor.



Keşif prosedürlerinden bazılarının şematik gösterimi.

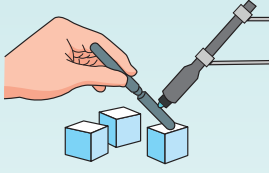
Yanal hareket (a) ile doku, bastırma (b) ile sertlik, statik temas (c) ile sıcaklık ve desteksiz tutuş (d) ile ağırlık hakkında bilgi ediniliyor.

Haptik Cihazlar

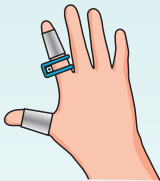
Haptik cihazlar kavranabilir, giyilebilir ve dokunulabilir sistemler olarak sınıflandırılıyor. Bu sınıflarda dokunsal geri bildirimler farklı mekanizmalar yoluyla gerçekleştirilebilir.

Kavranabilir sistemler, genel olarak kinestetik (kuvvet geri bildirimi) cihazlardır ve kullanıcının tuttuğu bir alet aracılığı ile nesneleri itmesine ve çekmesine izin verir. Kuvvet geri bildirimi alınan nesneler bir zeminle desteklenebildikleri gibi kimi durumlarda herhangi bir destek olmaksızın boşlukta da çalışabilirler.

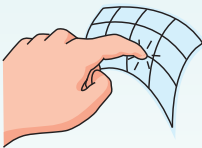
Giyilebilir sistemler genel olarak ellere veya vücudun diğer bölgelerine giyilen ve duyuları doğrudan cilde ileten kutanöz cihazlardır. Titreşim, cilt gerilmesi ve deformasyonu gibi bilgiler sağlayabilen



Kavranabilir Sistem



Giyilebilir Sistem



Dokunulabilir Sistem

Haptik sistem çeşitlerinin örneklerle gösterimi. Haptik cihazlar yoluyla gerçekleşen etkileşimlerin çeşitliliği bu üç farklı sistemle sağlanıyor.



Kilitto Chan / Moment / Getty Images

bu cihazlar; dış iskelet gibi vücuda bağlandığında kinestetik geri bildirim de sağlayabilir. Giyilebilir haptik cihazların kullanıcılara hareket özgürlüğü sağlaması onları mobil uygulamalar için son derece cazip kılıyor.

Dokunulabilir sistemler ise kullanıcının yüzeyi aktif olarak keşfetmesini sağlar. Bu cihazlar, mekanik ve yüzey özelliklerinin yanı sıra şekillerini de değiştirebilen hibrit kutanöz ve kinestetik cihazlar olabilir.

Disiplinler Arası Haptik Araştırmalar

İlk Dünya Haptik Konferansı 2005 yılında düzenlendi ve iki yılda bir olacak şekilde gerçekleştirilmeye devam ediyor. Dünyanın çeşitli bölgelerinden çok sayıda araştırmacının katılım gösterdiği bu konferanslar haptik araştırmalara olan ilgiyi de sergiliyor. 2008 yılında, uluslararası saygın bir organizasyon olan IEEE (Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü), *IEEE Transactions on Haptics* dergisini yayınlamaya başladı. Bu iki gelişme haptik algılama üzerine yapılan araştırmaları hızlı bir şekilde artırdı. Bu



noktada robotik ve bilgisayar alanındaki teknolojik gelişmelerin alana katkısını da unutmamak gerekiyor.

Haptik araştırmalar insan haptik sistemi, makine haptik sistemi, bilgisayar haptik sistemi ve multimedya haptik sistemi olarak dört alt alanda toplanıyor. Bu alanlardaki araştırmalarla gelişmeler yeni ve etkili haptik uygulamaların geliştirilmesine olanak sağlıyor.

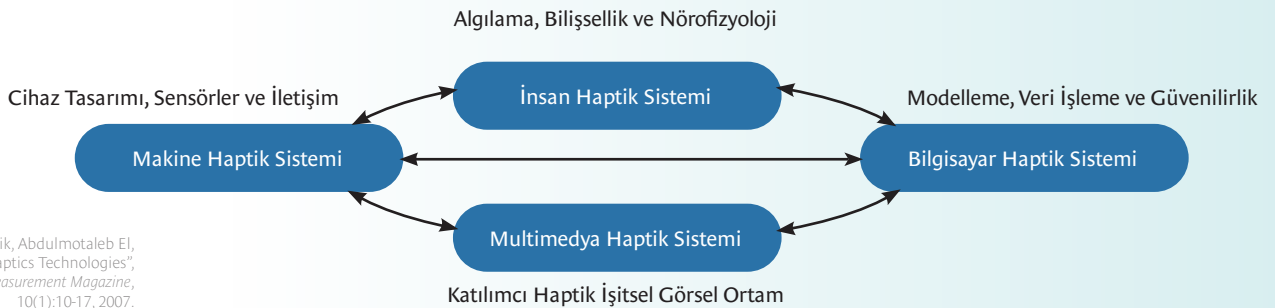
İnsan haptik sisteminde kullanıcı bir nesneye dokunduğunda cilde etkileşim kuvvetleri uygulanır. İlişkili duyu sistemi elde edilen bilgiyi beyne iletir ve algılama bu sayede gerçekleşir. Bunun üzerine

beyin, kasları harekete geçirmek için motor komutlar verir. İnsan haptik sistemi temel olarak insan duyu-motor döngüsünü ve dokunma algısı ile ilgili tüm yönleri inceler.

Makine haptik sistemi, insan dokunuşunu taklit eden veya geliştiren mekanik cihazlar tasarlamayı ve üretmeyi kapsıyor. Bu cihazlar, sinir sistemi ile bilgi alışverişinde bulunmaları için insan vücudu ile temas hâlinde bulunur. Haptik arayüzler genel olarak iki temel işlev gerçekleştirir. Birincisi insan vücudunun herhangi bir bölümünün pozisyon veya temas kuvvetini ölçmek. İkincisi ise elde edilen bilgiyi işleyerek pozisyon veya kuvvetleri konumsal ve zamansal olarak uygun şekilde kullanıcıya iletme.

Bilgisayar haptik sistemi sanal ortam ve nesnelerin dokunma hissiyle algılanmasını sağlamak amacıyla algoritmalar ve yazılımlar geliştirmekle ilgilenir. Haptik işleme ve görsel işleme gibi iki temel bileşenden oluşan sistem; sanal ortamdaki grafik, ses ve kuvvet tepkilerini kullanıcıya iletir.

Multimedya haptik sistemi ise çevreye ilişkin uzamsal, zamansal ve fiziksel bilgilerin edinilmesinin yanı sıra bu bilgilerin bir multimedya sistemindeki ses, video ve metin gibi diğer bileşenler ile entegrasyonu ve koordinasyonu olarak tanımlanıyor.



Haptik Uygulamalar ve Gelecekte Beklenen Gelişmeler

Teknolojik gelişmelerle birlikte geliştirilen haptik cihazlar da hayatın pek çok alanında kullanılıyor. Hızlı bir şekilde büyüyen ve gelişen mobil cihazlar ve robotik alanları haptik algı üzerine yapılan temel araştırmaları da olumlu yönde etkiliyor. Sanal gerçeklik ve teleoperasyon alanlarında haptik cihazların kullanılması, bu cihazların uygulama alanlarına her geçen gün yenilerini ekliyor.

Haptik teknolojilerin en basit uygulamaları arasında akıllı telefonlardaki titreşim ve dokunmatik ekranlar gösterilebilir. Dijital oyunlardaki haptik kuvvet geri bildirimli kumandalar ve direksiyon simitleri bu oyunlarda yaşanan tecrübeyi daha gerçekçi boyutlara taşımak için kullanılıyor. Grafik kullanıcı arayüzlerinde de haptik geri bildirimlerden yararlanılıyor.

Görme engelli kişiler, onlara özel olarak geliştirilen haptik cihazlardaki dokunmatik ekranı kullanarak hissedebilecekleri şekilde menü ve simgelere ulaşabiliyor, grafik bilgilere erişebiliyor, sanal grafikler oluşturabiliyor ve dokunmatik haritalar vasıtasıyla yönlerini tayin edebiliyor. Titreşimli giyilebilir cihazlar da onları gidecekleri

konuma yönlendirebiliyor ve kalan mesafe hakkında bilgi veriyor.

Otomotiv endüstrisinde dokunsal geri bildirim ile dikkat dağıtıcı kontrol panellerini kullanmaya gerek kalmadan pek çok ayarlama hızlı bir şekilde yapılabiliyor. Böylece sürüş güvenliği de artıyor.

Eğitim alanında, hareket ve dokunma yoluyla tecrübe edilen karmaşık konular daha kolay anlaşılabilir. Haptik uygulamalar ile görsel ve işitsel öğrenmeye odaklı eğitim yeni bir boyut kazanıyor. Haptik cihazlar kullanılarak nesnelerin statik ve dinamik özelliklerinin yanı sıra mikroskobik yapıların da deneyimlenmesi sağlanabilir, sanal molekül yapılar oluşturulabilir. Eğitimde haptik uygulamalar kullanılarak konu ve kavramların daha kolay anlaşılır hâle getirilmesi hedefleniyor.

Tıbbi simülasyon alanında kullanılan haptik arayüzler ile bazı cerrahi prosedürlerin eğitimi gerçekleştiriliyor ve teleoperatörler

ile uzaktan cerrahi operasyonlar yürütülüyor. Stajyer doktorlar sanal gerçeklik tabanlı enjeksiyon prosedürlerini uygulayabiliyor, biyolojik doku ve organ modellerini gerçekçi bir şekilde görerek ve dokunarak inceleyebiliyor, cerrahi prosedürler uygulayabiliyor. Böylece daha gerçekçi eğitimler ve deneyimlerle yetkin cerrahlar yetiştiriliyor ve birçok ameliyatta da daha az efor sarf edilmesine olanak tanınıyor. Haptik uygulamalarla mikro ve makro robotlar kullanmak da mümkün. Bu alandaki haptik araştırmalar gerçek zamanlı görüntüler için hem cihaz hem de yazılım algoritmaları geliştirilmesini içeriyor. Ayrıca hasta rehabilitasyon robotiğinde de haptik cihazlardan faydalanılıyor.

İnsan-bilgisayar etkileşimlerinin yanı sıra bilgisayarların aracılık ettiği insan-insan etkileşimlerini geliştirmek için de haptik sistemlerin kullanımı üzerine araştırmalar yapılıyor. Böylece ortak bir sanal ortamda iş birliği gerektiren görevlerde dokunsal



geri bildirimin etkisi inceleniyor. Beyin-makine arayüzleri ile birlikte dokunma algısını sağlayan ve beyin fonksiyonları ile yönetilebilecek akıllı protezler geliştirilmesi için de çalışmalar yürütülüyor.

Dokunsal geri bildirim modellerinden sanat ve tasarım alanlarında da faydalanılıyor. Sanal şekillendirme ve tasarımlar haptik uygulamalarla hayata geçirilebiliyor. Daha gelişmiş uygulamalar ile sanal sanat sergileri, konser salonları ve müzelere uzaktan katılım gösterebilmek, eserlere dokunarak onları hissetmek ve hatta müzik enstrümanlarını çalmak bile mümkün olabilecek. Sanal heykeltıraşlık da bireysel ya da grup hâlinde yapılabilecek.

Haptik uygulamaların gelecekte daha fazla çeşitlenmesi ve mevcut uygulamaların da ileri seviyelere taşınması bekleniyor. Bu konuda haptik teknolojilerin holografik projeksiyonla birleştirilmesi için çalışmalar sürüyor. Ultrason dalgalarına dayanan bu teknoloji sayesinde kullanıcının hologramdan aldığı yanıtı vereceği haptik tepki

ile nesnenin algılanması mümkün olabilecek. Biyometri alanında haptik uygulamalar kullanılması sayesinde ise konum, hız ve kuvvet gibi parametreleri kullanan eşsiz fiziksel modellemeler geliştirilecek ve kimlik tanıma bu temel üzerinden yapılacak. Elektronik ticaret işlemlerinde alınacak ürün ile uzaktan fiziksel etkileşime girmek ve ürün hakkında fikir edinmek mümkün olabilecek. Eğitim alanında üç boyutlu geometri problemlerinin görselleştirilmesi ile daha net çözümlere ulaşmak sağlanabilecek.

Elbette bu sayılan uygulamalar haptik algı teknolojilerinin kullanımının sadece bazı örneklerini kapsıyor. Bu uygulamalardan hangilerinin hayata geçirileceğini ve olası başka uygulamaların neler olacağını bizlere zaman gösterecek. Sonuç olarak sanal gerçeklik ve teleoperasyon boyutları düşünüldüğünde haptik algı kullanım alanlarının burada bahsedilenlerden çok daha fazlası olacağını öngörmek çok da yanlış bir yaklaşım olmayacaktır.

Sanal Gerçeklik ve Haptik Algı Kol Kola

Gelişen sanal ve artırılmış gerçeklik teknolojileri pek çok faaliyeti dijital ortamda yapmaya olanak sağlayabilir. Haptik teknolojiler insanın sanal ortamlardaki içeriği dokunarak algılamasına ve onunla etkileşime girmesine olanak sağlamada kritik bir rol oynayacak. Bu nedenle pek çok araştırmacı sanal gerçeklik ile dokunsal teknolojileri birbirlerine entegre etmek için yoğun bir şekilde çalışıyor. Öncelikli hedef kullanıcıların sanal nesnelere gerçekmiş gibi dokunup hissetmesine imkân veren haptik arayüzler oluşturmaktır.

Sanal, artırılmış ve karma gerçekliğin duyulara hitap edecek şekilde kullanılması ile geliştirilen teknolojiler “genişletilmiş gerçeklik” olarak tanımlanıyor. Bilim insanları ve endüstri ortaklığı ile yapılan yoğun çalışmalar sayesinde farklı duyulara hitap eden genişletilmiş gerçeklik teknolojilerinde son 10 yılda büyük ilerlemeler kaydedildi. Genişletilmiş gerçeklik araştırmalarında; bireyler, endüstri ve toplumun önemli ihtiyaçlarına yönelik yatırımlarının sürekli artması bu ilerlemelerin sağlanmasında önemli rol oynadı.

Sağlık, tıp, rehabilitasyon, eğitim, spor, araştırma, arkeoloji, sanat, tasarım, askeriye, havacılık, robotik, dijital oyun, telekomünikasyon, pazarlama ve reklamcılık, sanal seyahat, müzik, e-ticaret, eğlence



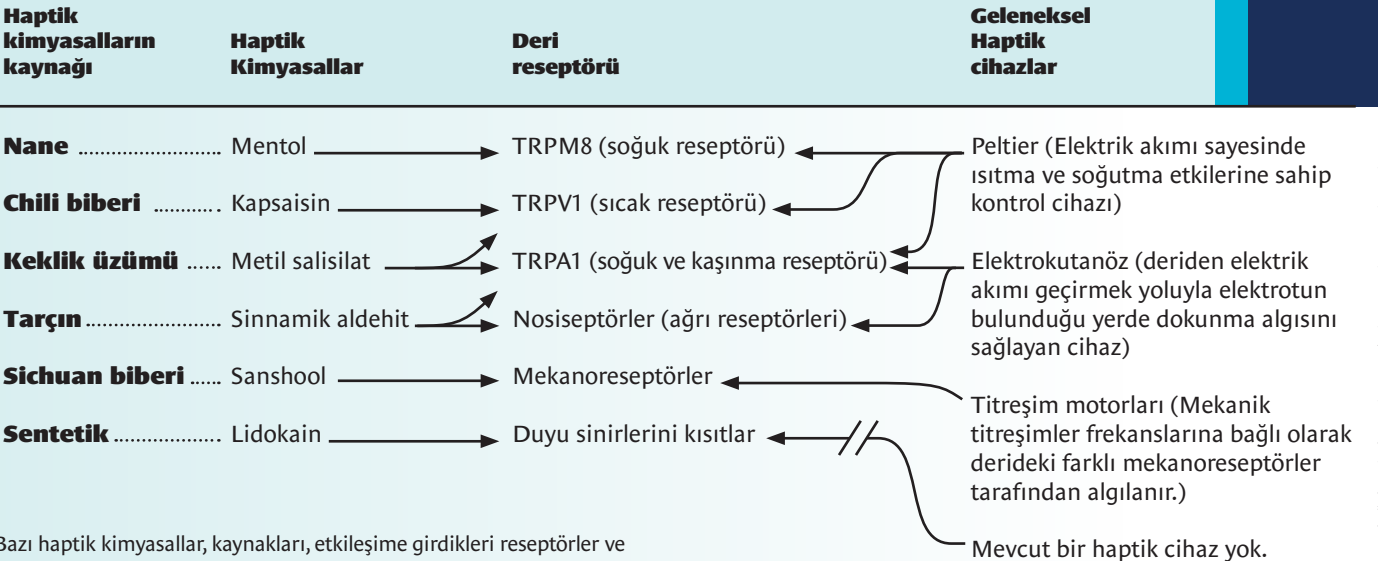
ve daha pek çok alanda büyük potansiyel taşıyan genişletilmiş gerçeklik sistemlerinin gerçek potansiyeline ulaşabilmesinin yolu haptik teknolojilerindeki gelişmelerden geçiyor. Her ne kadar insandaki haptik algı seviyesine teknolojik olarak ulaşmak zor gözükse de bilim insanları sınırları zorlamaya devam ediyor.

Uyarıcı Kimyasal Maddeler İle Dokunsal Duyum

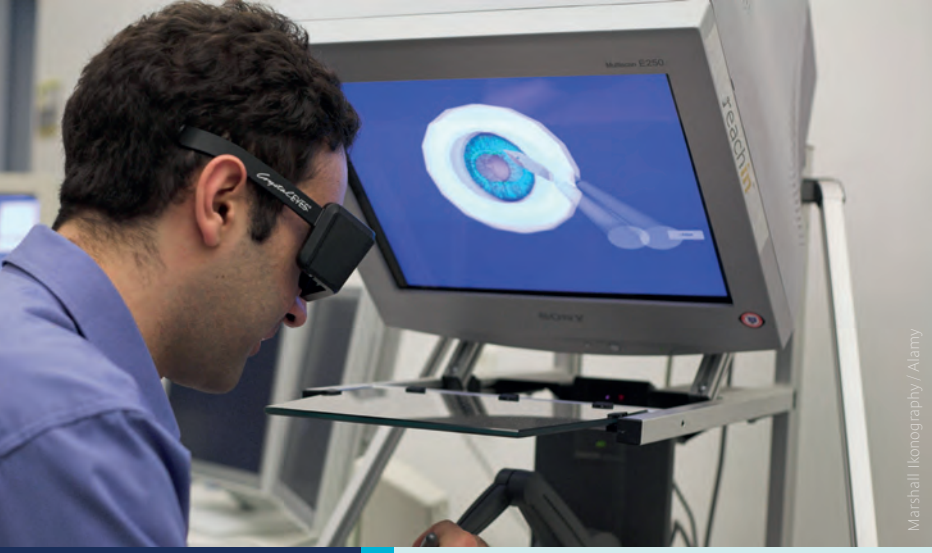
Fiziksel temas, fiziksel dünya ile etkileşimde bulunmak için kritik bir öneme sahip. Sanal gerçeklik söz konusu olduğunda ise sürükleyici ve gerçekçi deneyimler yaşamak için dokunsal cihazların geliştirilmesi ve kullanılması büyük önem taşıyor. Dokunsal hisleri doğrudan deriye ileten giyilebilir cihazlar basınç ve titreşimin yanı sıra deride gerilme ve esneme gibi fonksiyonelliklerle derideki algılayıcıları uyararak bunları başarabiliyor. Ancak dokunma yoluyla hissedebileceklerimiz bununla sınırlı değil.

Son yıllarda araştırmacılar; karıncalanma, kaşıntı, sıcaklık, ağrı gibi daha ince ve karmaşık duygusal çağrışımların hissedilmesini sağlayacak yollar üzerinde çalışıyorlar. Ancak bu dokunsal duyuların kullanıcıya yapay yollarla verilmesinin önünde bazı engeller var. Örneğin karıncalanma, gıdıklanma ve sıcaklık hissi vermek için kullanılan çoğu uyarıcının boyutları oldukça büyüktür, çok fazla enerji harcarlar ve bu yaklaşımların çoğu mekanik tetikleyiciler olup termoreseptörler (sıcağa ve soğuğa tepki veren duygusal algılayıcılar) ve nosiseptörler (ağrı algılayıcıları) gibi cilt algılayıcılarının çoğunu harekete geçiremezler.

University of Chicago'dan araştırmacıların yaptığı bir çalışmada ise kullanıcı derisine verilen sıvı kimyasal uyarıcılar ile yeni bir haptik cihaz sınıfı da hayat buldu: "Kimyasal Haptik Cihazlar". Güvenli ve düşük dozlarda aktif kimyasal bileşenler içeren bu uyarıcılar, kullanıcının cildine uygulandığında derideki algı reseptörleri kimyasal yollarla tetikleniyor ve dokunsal algılar bu sayede oluşturuluyor.



Bazı haptik kimyasallar, kaynakları, etkileşime girdikleri reseptörler ve bu etkileri elde etmek için kullanılan bazı geleneksel cihaz örnekleri



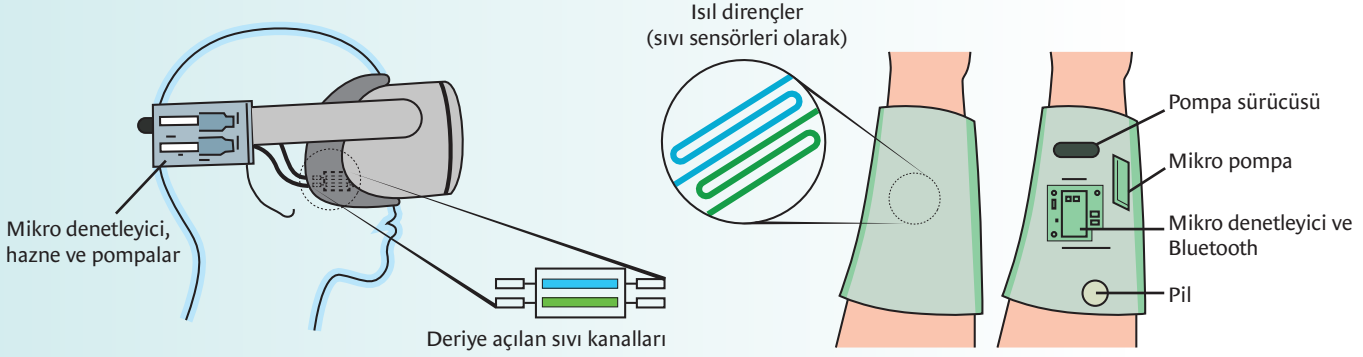
Marshall Ikography / Alamy

Araştırmacılar yaptıkları çalışma ile belirli sürede etkili olan dokunsal algılar sağlamak için farklı kimyasal maddeler belirlediler: Sanshool (karıncalanma hissi), Lidokain (uyuşma hissi), Sinnamik aldehit (batma hissi), Kapsaisin (ısınma hissi), Metil salisilat (soğuk, sıcak ve yanma kombinasyonu hissi) ve Mentol (soğutma hissi). Yaklaşımlarının sanal gerçeklik gibi ortamlarda uygulanmasını sağlamak için vücudun yüz, kol ve bacak gibi çeşitli bölgelerine giyilebilen bir cihaz tasarladılar. Silikon bir yama şeklinde uygulanan bu cihaz, sıvı uyarıcı olan bu kimyasalları istenilen zamanlarda mikro pompalar ile kullanıcının derisinin yüzeyine gönderiyor. Deri tarafından emilen bu kimyasallar da çeşitli dokunsal algıları harekete geçiriyor.

Çalışma temelde iki kısımdan oluşuyordu. İlk kısımda her bir kimyasalın tetiklediği duyumların etki zamanı profilleri ortaya kondu ve bunlara özgü etkileşimli sanal gerçeklik deneyimleri tasarlandı. İkinci kısımda ise haptik kimyasallar kullanılarak tasarlanan sanal gerçeklik deneyimleri kullanıcılar üzerinde test edildi. Kullanıcılar üzerinde iki farklı giyilebilir

cihaz denendi. Bunlardan ilki kullanıcının yüzü ile sanal gerçeklik başlığı arasında olacak şekilde yanaklarda, ikincisi ise kılıf şeklinde ön kolda bulunuyordu. Üzerindeki piller sayesinde kablosuz çalışan bu cihazlar, sanal gerçeklik başlığıyla iletişimlerini Bluetooth aracılığı ile sağlıyordu. Tasarlanan sanal gerçeklik senaryosunda ise kullanıcılardan nükleer reaktördeki çekirdek erimesinin önüne geçmeleri ve felaketi önlemeleri bekleniyordu.

“Sanal gerçeklik deneyimi senaryosunda kullanıcı kendini bir nükleer santraldeki reaktör çekirdek erimesinin eşiğinde bulur. Amaç reaktörü kapatarak felaketin önüne geçmektir. Yaklaşan erime hakkında uyarılan kullanıcı, kollarına sabitlenmiş bir arayüz ile kapıları açar ve büyük bir patlama sesi duyar. O esnada kontrol panelini kullanmak ister; görsel olarak elektrik arızası kaynaklı kıvılcımları görmekle kalmaz, aynı zamanda ön kolunda bir karıncalanma hisseder (sanshool etkisi). Koridorları geçen kullanıcı karlı ve soğuk olan açık havaya çıkar ve üşür (mentol etkisi). Reaktör odasına girmek için kullanıcının kolundaki arayüzden kimlik doğrulaması yapması istenir ve o esnada sanal kol arıza verir. Kişi sanal gerçeklik ortamında kolundaki arızayı ve işlevsellik kaybetmeyi uyuşma yoluyla algılar (lidokain etkisi). Kullanıcı reaktör odasının kapısını açmayı başardığında sıcak buhar odaya dolar. Görsel olarak bunu görmekle kalmayan kullanıcı aynı zamanda yanaklarındaki cihaz sayesinde sıcaklığın da yavaş yavaş arttığını hisseder (kapsaisin etkisi).”



Sıvı kimyasal uyarıcıları yanaklara ve kol bölgesine vermek üzere iki farklı cihaz tasarlandı.

Yapılan araştırmanın sonuçlarına göre kullanıcılar haptik kimyasallarla sanal gerçeklik ortamında daha gerçekçi deneyimler yaşadıklarını belirttiler. Çalışma, dokunma duyusu algısını sadece basınç ve titreşimin ötesine taşıyarak haptik uygulamaların sınırlarını genişletiyor ve çoklu dokunsal duyular elde edilmesine olanak sağlıyor. Ayrıca bundan sonra yapılacak haptik araştırmalarda mevcut uygulamalarla birlikte kimyasal uyarıcıların da kullanılmasına öncülük ediyor.

Değerlendirme

Haptik cihazların ve uygulamalarının çok çeşitli alanlarda kullanılabileceği yapılan çeşitli araştırmalar ve gelecekteki olasılıklar eşliğinde açık bir şekilde ortaya konuluyor. Robotik, bilgisayar, akıllı malzeme, iletişim ve sensör teknolojileri gibi alanlardaki gelişmeler daha etkili arayüzler geliştirilmesine ve sanal dokunma algısının daha gerçekçi olarak algılanmasına yol açıyor.

Haptik ve sanal gerçeklik araştırmalarının hedefi insan haptik sistemindeki kusursuzluğa erişmektir. Bunun için kullanıcıların doğal

haptik kapasitelerini kullanarak sanal nesne ve ortamlarla etkin bir şekilde etkileşime girebilmelerinin sağlanması gerekiyor. Genişletilmiş gerçeklik sistemlerinin gerçek potansiyeline ulaşması da buna bağlı görünüyor.

Geliştirilen haptik cihazlar; maliyetleri, boyutları ve harcadıkları güç bakımından değerlendirildiğinde henüz istenilen seviyede değiller. Bu nedenle daha küçük boyutlarda, giyilebilir, düşük enerji sarfiyatına sahip ve kablosuz çalışan yüksek teknoloji haptik cihazlar geliştirmek büyük önem taşıyor. ■

Kaynaklar

- Hannaford, B., Okamura, A.M. (2016). Haptics. In: Siciliano, B., Khatib, O. (eds) Springer Handbook of Robotics. Springer Handbooks. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-32552-1_42
- Saddik, Abdulmotaleb El, "The Potential of Haptics Technologies", *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, 10(1):10-17, 2007.
- Kappers, A.M.I., Tiest, W.M.B., "Haptic Perception", *WIREs Cognitive Science*, 4:357-374, 2013.
- Culbertson, H., Schorr, S.B., Okamura, A.M., "Haptics: The Present and Future of Artificial Touch Sensations", *Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems*, 1:12.1-12.25, 2018.
- Sreelakshmi, M., Subash, T.D., "Haptic Technology: A Comprehensive review on its applications and future prospects", *Materials Today: Proceedings*, 4, 4182-4187, 2017.
- Srinivasan, M.A., "What is Haptics", *Laboratory for Human and Machine Haptics: The Touch Lab, Massachusetts Institute of Technology*, 1-11, 1995.
- Biswas, S. ve Visell, Y., "Haptic Perception, Mechanics, and Material Technologies for Virtual Reality", *Advanced Functional Materials*, 31, 2008186, 2021.
- Lu, J., Brooks, J., Liu, Z. Ve Lopes, P., "Chemical Haptics: Rendering Haptic Sensations via Topical Stimulants", *The 34th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '21)*, 2021.
- Lederman, S.J. ve Klatzky, R.L., "Hand movements: A window into haptic recognition", *Cognitive Psychology*, 19, 342-368, 1987.
- <https://www.newscientist.com/article/mg25333780-900-artificial-touch-the-new-tech-making-virtual-reality-more-immersive/>