



# İnsan Hareketi Animasyonu

*Bilgisayar animasyonları artık doğal bir görünüm kazanmaya başladı. Fizik yasalarını temel alan simülasyon sayesinde, araştırmacılar, koşan, dalan, bisiklete binen ve jimnastik hareketi yapan sanal insanlar meydana getirdiler.*

Bilgisayar animasyonları artık doğal bir görünüm kazanmaya başladı. Fizik yasalarını temel alan simülasyon sayesinde, araştırmacılar, koşan, dalan, bisiklete binen ve jimnastik hareketi yapan sanal insanlar meydana getirdiler.

Biz insan davranışlarındaki ince ayrıntıları farkedebilecek yeteneğe sahibiz. Örneğin uzaktan bir arkadaşımızı sadece yürüyüş tarzından tanıyabiliriz. Bu yüzden animasyon yapımcıları, yaptıkları insan davranışı animasyonlarında yüksek standartlar peşinde. Bir bilgisayar tarafından oluşturulmuş bir hareketin gerçekçi ve canlı olabilmesi için, sanal aktörün doğal bir şekilde hareket etmesi gerekir.

Animasyon, sanal ortamlar ve video oyunları gibi uygulamalar için, sentetik insan hareketlerine ihtiyaç duyulur. Animasyon yapımcıları, çocukları ekran başına çeken Toy Story filmi gibi animasyonlar yapmak istiyorlar. Antrenörler sporcularını motive etmek ve eğitmek amacıyla sanal rakiplerden yararlanabilirler. Video oyun tasarımcıları, yüksek çok etkileşimli ve çekici karakterlerin bulunduğu ürünler yaratabilir. İnsan hareketleri simülasyonunun, ergonomi, sporcuların yürüyüşlerinin incelenmesi ve fizik tedavileri gibi önemli bilimsel uygulamaları da var.

Her ne kadar sentetik insan hareketlerinin birçok uygulaması olsa da, bir hareketi bilgisayara tanıtmak şaşırtıcı derecede zordur. Örneğin zıplayan bir topu inandırıcı bir şekilde canlandırmak zor olabilir. Çünkü insanlar, yalnızca nerede olduğunu bilmesede, hareketteki doğal olmayan bölümleri hemencecik yakalayabiliyor. İnsanın animasyonu oldukça zaman alıcı bir iş, çünkü kişilik ve ruh halini yansıtmaları için hareketteki inceliklerin yakalanması gerekir.

Bilgisayar animasyonu teknikleri üç ana sınıfa ayrılıyor: anahatlama, hareket yakalama ve simülasyon. Her üçü de, animasyonu yapan kişinin hareketin ince ayrıntıları üzerindeki kontrol düzeyiyle, bilgisayarın kendi başına yaptığı iş arasında bir uzlaşma içeriyor. Anahatlama hassas kontrollerle izin veriyor, ancak sonucun doğallığını animasyonu yapan kişinin sağlaması gerekiyor. Hareket yakalama ve simülasyon, hareketi otomatik şekilde oluşturuyor ancak ince ayarlamalara pek fazla olanak tanımıyor.

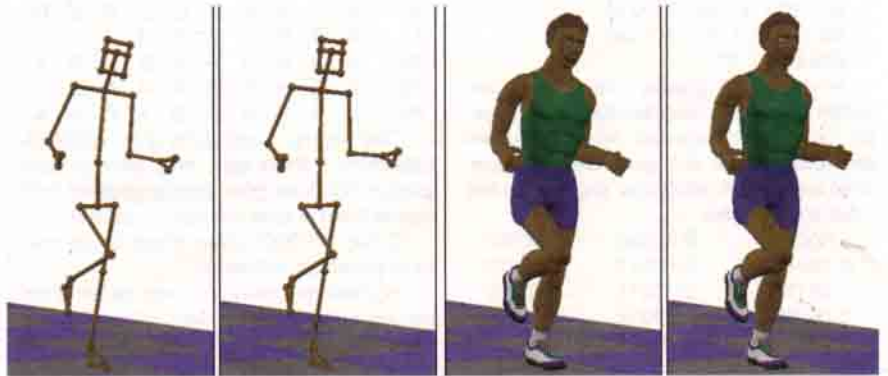
## Anahatlama ve Hareket Yakalama

İsmi elle yapılan geleneksel animasyon tekniğinden alan anahatlama, animasyonu yapan kişiden, cisimlerin kritik ya da anahtar konumlarını tanımlamasını girmesini gerektirir. Bilgisayar daha sonra bu konumlar arasında yumuşak bir geçiş (enterpolasyon) sağlayacak şekilde eksik çerçeveleri doldurur. 1995 yılında yapılan Toy Story filmindeki karakterler bu yöntemle canlandırılmışlardı. Her ana karakter için 700'den fazla kontrol gerekmişti. Örneğin, bir karakterin kaşının değişik bölgelerindeki hareketler farklı kontroller gerektiriyordu.

Anahatların ayrıntılı bir şekilde tanımlanması, vücuttaki eklem noktalarının yerleştirilmesine yardımcı olan teknikler sayesinde bir parça otomatikleştirildi. Eğer bir karakterin elinin belli bir konumda olması gerekiyorsa, bilgisayar gerekli dirsek ve omuz açılarını hesaplayabilir. Bu gibi teknikler işlemi kolaylaştırırsa da, anahatlama animasyonu yapan kişinin, hareketli cisimlerin zaman içerisinde nasıl hareket ettiği konusunda ayrıntılı bilgi sahibi olmasının yanı sıra, bunları anahatlanmış şekiller aracılığıyla ayarlarla ifade edebilme yeteneğinin olmasını gerektiriyor.

Başka bir teknik ise hareket yakalama. Burada manyetik ya da görüntü tabanlı alıcılar 3 boyutlu bir ortamda söz konusu insan ya da hayvanın hareketlerini kaydediyor. Daha sonra bir bilgisayar bu verileri bir karakterin canlandırılmasında kullanıyor. Bu teknoloji, spor konulu video oyunlarındaki karakterlerin canlandırılmasında kullanılacak gerekli hareketleri bazı ünlü atletlerden elde etti.

Hareket yakalamanın yaygınlığı artıyor. Bunun nedeni, sıradan insan hareketlerini görece olarak daha kolay kaydedebilme olanağı vermesi; ancak bazı problemler onun tüm uygulamalar için en uygun çözüm olmasını engelliyor. İlk başta, insan vücudunun







En solda kum üzerindeki gerçek ayak izi ve sırasıyla kum, çamur ve kar üzerindeki ayak izi animasyonları

hareketinin doğrulukla ölçülmesi kolay değil; çünkü cilt ve giysi üzerine yerleştirilen işaretler, oyuncunun hareketi sırasında kayıyor; bu da hatalı verilere neden oluyor. İkincisi, sözkonusu oyuncu ile yaratılacak grafik karakterin şekil ya da boyutları arasındaki farklılıklar sorun çıkarabiliyor. Örneğin, gerçek karakter bir masaya dokunurken, daha kısa olan grafik karakterin eli masanın içine giriyormuş gibi görünebilir.

Sonuç olarak, mevcut teknoloji bazı hareketlerin kayıtlarında zorluklar çıkarabiliyor. Manyetik sistemler, model kişinin kablolar aracılığıyla bilgisayara bağlanmasını gerektiriyor ki bu da hareket alanını sınırlıyor. Bu sistemler de, eğer koşan model karakterin hareketini yakalamak için kullanılsan, örneğin adımölçer gibi metal cisim veya aygıtlar bulunuyorsa yine hatalı veriler çıkabiliyor. Optik sistemlerde ise vücudun bir parçasının bir başkasının görüşünü engellemesi gibi sorunlar da var. Bu sorunlara rağmen, piyasadaki filmlerdeki animasyonlar da elde edilen veriler, sanal karakterin boyutu ve istenilen hareketlerine uyacak şekilde düzeltiliyor.

## Simülasyon

Anahatlıma ve hareket yakalama tekniklerinin aksine, simülasyon, şekillerin ve diğer cisimlerin hareketlendirilmesinde fizik yasalarını kullanıyor. Sanal insan, katı vücut parçaları birleştirilerek oluşturuluyor. Örneğin

vücudun alt bölgesi, üst bacak, alt bacak ve ayakların, kalça, diz ve ayak bilekleri gibi eklemlerde birleştirilmesiyle oluşturuluyor. Burada, doğru bir model elde edebilmek için, daha önce birçok biyomekanik çalışması verileri ve kadavra üzerinde yapılmış ölçümler de kullanılıyor. Örneğin yetişkin bir sanal erkeğin ön kolunun kütlesi 1.1 kg, uzunluğu 0.24 m ve çevre uzunluğu da yaklaşık 0.25 m.

Modeller fiziksel açıdan kabul edilebilir olsalar da, sadece insan vücudunu yaklaşık olarak temsil ederler. Rijit vücut parçalarının birleştirilmesi, kasın kemiğe göre hareketini tanımlıyor; her ne kadar omuz 3 serbestlik derecesi olan tek bir birleşme noktası olarak modellenirse de, insanın köprücük ve kürek kemiği, omuz silmek gibi daha karmaşık hareketlere olanak tanıyor. Yakın geçmişte araştırmacılar daha karmaşık modeller oluşturmaya başladılar. Bu gibi ayrıntılar eklendikçe simülasyonlar daha doğal bir görünüm kazanacak.

Eğer modeller su veya giysi gibi cansız varlıklarsa, bilgisayar bunların hareketlerini fizik kanunlarına dayanan hareket denklemlerine uyacak şekilde belirleyebilir. Dağdan yuvarlanan topun hareketi, yerçekimi ve topun yer arasındaki sürtünme kuvvetleri hesaba katılarak simüle edilebilir. Ancak insanlar yalnız canlı ve hareketli değil, ayrıca iç enerjisi olan varlıklardır. Bu yüzden sanal insanlar bir çeşit kontrol sistemi olan kas ya da hareket kaynağı gerektiriyorlar. Yazılım karakterin istenilen bir hareketi yapması

için vücudun her eklemine, hesapladığı döndürme momentini uyguluyor. Örneğin, koşma için olan bir kontrol sisteminin, koşucunun sürçmesini önlemek üzere, yere basmadan önce bacağı öne atmayı sağlayacak döndürme momentlerini belirlemesi gerekli.

Koşma, dalma, bisiklete binme ve jimnastikte kullanılan beygir atlama gibi atletik faaliyetler için de kontrol sistemleri geliştirildi. Bu hareketler aslında karakter olarak birbirinden farklılıklar gösterir ama yapay sistemlerin hepsi ortak parçalardan oluşup aynı şekilde çalışıyor.

Kontrol sistemi bir durum makinası kullanıyor: her bir eklem noktasının her an ne yapacağını belirleyen; yazılım içersine yerleştirilmiş bir algoritma. Bu, bütün eklemlerin belli zamanlarda belirli görevleri yerine getirmesini sağlayan bir orkestra şefine benzetelebilir. Örneğin, koşmak, bir bacağın destek sağladığı duruş fazıyla ayakların yere değmediği uçuş fazı arasında gidip gelen yinelenen bir harekettir. Duruş fazında yerle temas halinde olan bacağın bileği, dizi ve kalçası destek ve denge sağlamak zorunda. Bacak havadayken, kalçanın farklı bir görevi vardır; bacağı bir dahaki yere değmeye hazırlamak amacıyla öne fırlatma. Durum makinası, kalçanın değişik rolleri arasından, koşma sırasında bulunulan faza ait doğru hareketi seçiyor.

Her fazla ilişkili olarak kontrol yasaları, simülasyonu yapılan insan vücudunun her 30 eklem noktası için gerekli açığı hesaplıyor. Kontrol yasaları, hareketin her fazı için vücudun her parçasının yapması gereken görevi tanımlayan denklemlerdir. Eklem noktalarının istenilen konuma getirmek için gerekli döndürme momentini kontrol sistemi yay hareketi denklemlerini örnek alarak hesaplıyor; yani eklem noktasını istenen açığa göre çekecek. Gerçekte, bu hesaplamayı yapan denklemler, vücudun belli kısımlarını doğru konumlarına getiren sanal kaslardır.





Kontrol yasalarını tanımlama problemini basitleştirmek için, pek çok halde birkaç parça (organ) birbiriyle beraber çalışacak şekilde kullanılıyor. Örneğin, simülasyonu yapılan koşucunun ayak bileği ve dizi duruş fazında yeri itecek şekilde beraber çalışıyor. Mümkün oldukça, kontrol yasaları sistemin pasif davranışlarını da istenilen etkiyi elde edebilmek için kullanıyor. Yapılan varsayım insanın verimli yani enerjisini saklayan bir varlık olması. Pasif davranışlarla insanlar daha gerçekçi şekilde taklit edilebilir. Örneğin, duruş fazında koşucunun dizi yay gibi, önce sıkışarak enerji depolayacak, sonra da açılarak bu enerjiyi dışa çıkaracak şekilde hareket eder.

Simülasyonu yapılan hareket belli bir fazda boşta kalan organların kullanılmasıyla daha doğal hale getirilebilir. Bu şekilde vücudun diğer kısımları tarafından yaratılan bozukluklar da azaltılır. Koşma simülasyonunda, kontrol yasaları, atletin kollarını bacaklarla ters olacak şekilde sallamasını sağlayarak vücudun yalpalamasını engeller.

## Avantajları ve Dezavantajları

İnsan hareketinin sentezi için bir teknik olarak simülasyonun, anahatlama ve hareket yakalamaya göre iki potansiyel avantajı var. Önce, simülasyonlar fiziksel gerçekleri koruyarak fazla değişik olmayan hareket dizileri yaratmak için kullanılabilirler: Örneğin saniyede 5 metre yerine 4 metre



*İkincil hareketlerin olduğu bir animasyon sahnesi. Sahnenin gerçekçi görünmesi için trampolinin ve salıncakta sallanan kızın eteğinin hareket etmesi gerekir. Rüzgarda uçan uçurtma gibi ek elemanlar sahnenin gerçekçiliğini artırıyor.*

hızla koşan biri için. Ancak bunu aynı animasyonun hızlı ya da yavaş gösterilmesi şeklinde yapmak, hareketin doğallığını bozabiliyor. İkincisi, gerçek zaman simülasyonları etkileşimi sağlıyor. Bu sanal ortamları ve video oyunları için çok önemli bir özellik. Çünkü bunlarda gerçek insanın hareketlerine göre sanal karakter cevap veriyor. Öte yandan, anahatlama ve hareket yakalamaya dayalı uygulamalar, daha önceden hesaplanmış hareket kütüphanelerinden hareketleri seçip üzerinde değişiklikler yapabiliyor.

Diğer taraftan, simülasyonda varolan bir sorun, uygun kontrol sisteminin hazırlanması için gereken uzmanlık ve harcanan zaman. Bu soruna çözüm olarak, yeni hareketler meydana getirecek şekilde birleştirilebilecek yazılım modülleri kütüphanesi geliştiriliyor. Özellikle atlama, takla atma, yere inme ve dengede durma için dört temel kontrol sistemi seti oluşturulmuş durumda. Bilgisayar bu sistemleri, perende atma, dalma gibi daha karmaşık hareketler meydana getirmek için birleştirebilir.

Aynı zamanda, eldeki hareketleri yeni karakterlere uyarlama yolları da araştırılıyor. Bu zor bir işlem, çünkü kontrol sistemleri belirli modellerin dinamik özelliklerine göre ayarlanmıştır. Genel olarak bir yetişkin için geliştirilmiş bir sistem bir çocuk için işe yaramaz. Değişik fiziksel özelliklere sahip yeni bir karaktere uyarlamak üzere, mevcut bir hareket üzerinde değişiklik yapmak için kontrol sistemini optimize etme teknikleri geliştirildi. Örneğin koşan bir adam için olan bir kontrol sistemi başarılı bir şekilde bir

kadına ve dört yaşındaki çocuğa uyarlandı. Burada, her üç modelin vücutlarının değişik parçalarının ağırlıkları ve başka parametreler hesaba katıldı.

Geçen yıllarda araştırmacılar, özel olarak oluşturulan kontrol sistemleri gerektirmeden hareket meydana getiren, simülasyon tabanlı yöntemler üzerine çalıştılar. Bazı araştırmacılar hareket sentezine, izlenen yolun optimize edilme problemi olarak baktılar. Bu formülasyon, hareket denklemini ve istenilen hareketin

belirgin özelliklerini sınırkoşulları olarak ele alıyor, sonra bu sınırlamalara uyan ve en az enerji harcayanan hareketi buluyor. Atlamayı simüle etmek için, sınır koşulu olarak, hareketin başlama ve bitme noktalarında karakterin yerde olması ve ortasında da havada bulunması alınabilir. Optimizasyon yazılımı, karakterin en az enerji harcamayla en yükseğe sıçraması için önce dizlerini bükmesi gerektiğini otomatik olarak belirler. Başka bir yaklaşım da bütün olasılıklar arasından en uygun kontrol sistemini aramaktır. En genel durum da bu teknik, karakterin mümkün olan her bir durumdan, mümkün olan başka her bir duruma nasıl hareket edeceğini belirlemelidir. Bu yöntem, belli bir amaç için, bir noktadan başlayarak bir tek izlenecek yol bulmaya göre daha genel problemler çözüldüğünden pek çok çözümü olabilen basit problemler için daha başarılı olmuştur. Tam otomatik teknikler, elle tasarımı yapılması gerekenlere tercih ediliyor. Ancak henüz, belli bir ön bilgi birikimi olmaksızın insan gibi karmaşık sistemlerin davranışlarını belirleyecek otomatik yöntemler geliştirilmiş değil.

Kontrol sistemlerinin oluşturulması her ne kadar zorsa da, kullanımları oldukça kolaydır. Bir animasyon yapımcısı hareket hakkında ya da hareket denklemleri hakkında ayrıntılı bilgi sahibi olmasa da, bir simülasyonu, hareket oluşturmak için çalıştırabilir. Simülasyon genel hareket üzerinde kontrol sağlar, ancak hareketin ince ayrıntıları üzerinde değil. Örneğin, bir animasyoncu bir bisikletin izleyeceği yolu tanımlayabilir. Ancak, bisikleti kullana-







Sırasıyla gerçek ve animasyonu yapılan basketbol potası.

nın mutlu ve neşeli bir şekilde bindiğini belirtebilir. Bu sınırlama, önce kaba, genel hareketleri simülasyonla otomatik olarak belirledikten sonra, yüz ifadeleri gibi ince ayrıntıları da anahatla ve hareket yakalama yolu ile meydana getirerek kısmen aşılabilir.

Simülasyonu yapılmış hareketler, ana karakterin hareketlerine karşılık veren, pasif ikincil elemanların eklenmesiyle daha gerçekçi hale getirilebilir. Örneğin üzerinde bir jimnastikçi zıpladıkça bir trampolinin şeklini değiştirmesi gerekir. Deniz kıyısında koşan birinin bastığı yerlerde kum ayak izlerini gösterir. Yaylarla bağlı noktaların biraraya getirilmesiyle modellenebilen bir giysi, onu giyen insanın hareketlerine göre kıvrılır.

Simülasyonun bir başka özelliği de, kalabalığın bulunduğu sahnelerde animasyonu yapana yüksek düzeyde kontrol sağlaması. Kontrol sisteminin üzerine yerleştirilmiş bir yazılım katmanı, kalabalıktaki karakterlerin grup halinde, birbiriyle çarpışmadan hareket etmesine olanak tanıyor. Bu katman çevredeki engelleri ve grup içerisindeki kişinin yakınında bulunan diğer kişileri hesaba katarak, her bir karakterin hızını ayrı olarak hesaplanmasını sağlıyor. Bu hız bilgisi daha sonra kontrol sistemi tarafından hareket için kullanılıyor.

Koşma ve bisiklete binme gibi sportif faaliyetlerdeki etkinliklerin dinamiği genel hareketi kısıtlıyor. Böylelikle de kontrol sistemi arama işini de azaltıyor. Atlama beygiri için yapılan simülasyonda bu daha belirgin. Jimnastikçi hareketin çoğunu havada geçiriyor. Kontrol yasaları da eklem noktalarının iç hareketlerini etkileyebiliyor.

Ancak açısal momentumun korunumu yasasına uymak zorunda olan jimnastikçinin açısal momentumunu etkilemiyor. Koşmaksa daha karmaşık bir hareket; çünkü yapay atlet zamanın çoğunda yerle temas halinde ve kontrol yasaları tarafından hesaplanan eklem noktasındaki döndürme momenti, hareketteki birçok ayrıntıyı etkiliyor. Bundan dolayı, koşucuya jimnastikçiden çok daha fazla emek harcanyor. Bu duruma bir de, vücut hareketleri, sinirlilik gibi tarzın önemli bir rol oynadığı sıradan insan hareketlerini de katmamız gerek. Eğer işin fiziki hareketin kaba özelliklerini sınırlamıyorsa, bir bilgisayar hareketi başarılı bir şekilde sentezleyebilir. Ancak bu da doğal görünmeyecektir. Bu gibi hareketler, insan hareketlerinin izlenmesi ve ölçülmesini temel alan ek kuralları da içeren kontrol yasalarını gerektiriyor.



## Yeterince Gerçek mi?

Simülasyonu yapılan bir insan hareketinin kalitesinin değerlendirilmesi uygulamaya bağlı. Eğitim, toplu çalışma ve eğlence için hazırlanmış sanal ortamlar, kullanıcıyı içinde hissettirmek için yeterli çeşitte, etkileyici, canlı ve gerçekçi hareketler gerektiriyor. Kimi

sanal ortamlar gerçek hareketlerle birleşince kullanıcıya daha gerçekçi geliyor. Bu gibi uygulamalara en büyük mihenk taşı Turing testidir: Simülasyonu yapılan hareket gerçek insanların hareketi kadar gerçekçi mi? En azından, aynı grafik model aracılığıyla her iki hareket çeşidi oynatıldığında gerçekçi görünüyor mu? İlk yapılan deneyler bu sorunun cevabının şimdilik hayır olduğunu gösteriyor. Ancak bazı denek gözlemciler, her iki çeşit hareket, insan vücudunu ortadan kaldırıp, vücudun eklem noktalarını da noktalarla göstererek değerlendirildiği zaman, simüle edilmiş hareketleri daha doğal buluyor.

Görsel özellikli sanal ortamlar gibi uygulamaların aksine, bilimsel ve mühendislik problemleri, insan verileriyle karşılaştırılıp doğrulanana simülasyonlar gerektiriyor. Bu en basit şekilde gerçek ve sentezlenmiş video çekimlerini karşılaştırmakla yapıyor. Karşılaştırmacılar aynı zamanda yerin tepki kuvveti, uçuş zamanı, hız ve adım uzunluğu gibi biyomekanik verilerini, simülasyonun insan hareketlerine ne kadar benzediğini ölçmek için kullanılıyor.

Araştırmacılar kontrol sistemleri üzerine fikirlerini ve bilgilerini geliştirdikçe, bu teknolojiyle, bir çok önemli bilimsel ve mühendislik sorusuna cevap verebilecekler. Fizik tedavide, bazı sakatlanmaların neden olduğu yürüyüş bozuklukları konusunda yararlanılabilecek. Bisiklet tasarımcıları, prototipe gerek kalmadan bir binicinin yeni bisikletlerin ne kadar verimli bir şekilde sürülebileceğini belirleyebilecekler. Dalış antrenörleri de, bir sporcunun yeni bir manevrayı uygulayabilecek kadar güçlü olup olmayacağını önceden bilecek. Her ne kadar kontrol sistemlerinin tasarımı zor ise de, teknolojinin güçlü bilimsel temeli onu, bu ve diğer bilimsel uygulamalar için potansiyel olarak uygun hale getiriyor.

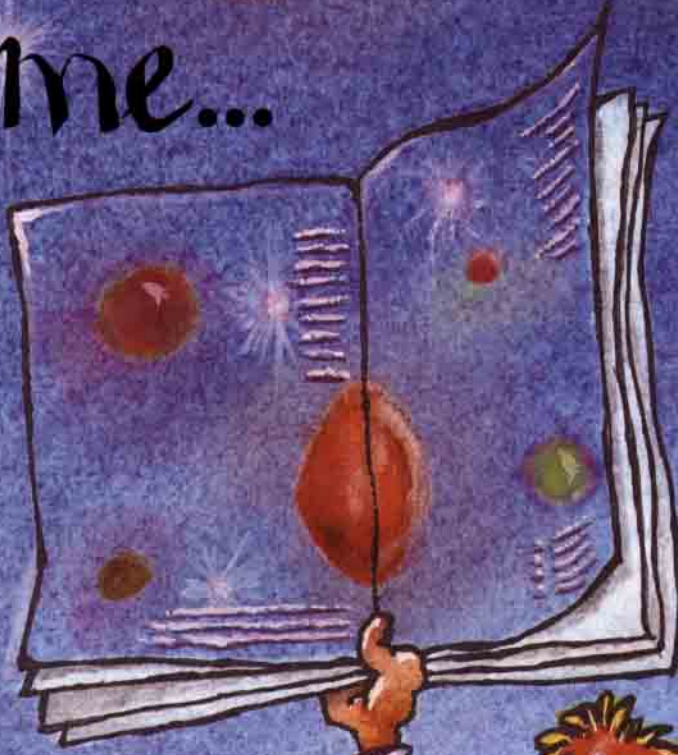
Hodgins, J. K., "Animating Human Motion" *Scientific American*, Mart 1998  
Çeviri: Alkim Özyaygen



Jimnastikçinin yere inmesiyle minderde oluşan deformasyon



# ucurttmadan bilime...



TÜBİTAK

popüler bilim kitapları  
ÇOCUK KİTAPLIĞI

