

Kurgu Dergisi
S: 15, 69-84, 1998

BİLGİSAYARLA GRAFİKTE GÖRSEL GERÇEKLİĞİN YARATIMI

Yrd. Doç. Dr. Münevver KÖKÜER*

ÖZET

Sinemada yıllar boyunca gerçek görünümlü görüntüler üretmek ve izleyiciyi orada var olmayan şeye inandırmak için çeşitli yollar denendi. Bunun için kullanılan son oyuncak bilgisayar oldu. Bilgisayarda üretilen "Terminatör 2" filminin T-1000 robotu, "Jurassic Park"ın dinazorları, "Jumanji"nin hayvanları gibi göz kamaştıran özel görsel etkilerden sonra, bilgisayar, film dünyasındaki yerini daha da sağlamlaştırdı. 1995 yılında ise kamera ve film olmaksızın yaratılan ilk uzun metrajlı film "Oyuncak Hikayesi" ile yeni bir dönem başladı. Bu çalışmada bilgisayarda üretilen bu tür sanal karakterlerin gerçekçi görünmelerini sağlamak için gerekli olan adımlardan render, tonlama, gölgeleme ve küresel aydınlatma tanıtılacaktır.

GİRİŞ

Son yıllarda, neredeyse ekranda görülen tüm ilerlemeler, canlandırma alanına bilgisayarların uygulanmasındaki inanılmaz hızlı gelişmenin sonucudur. Sanatsal üretim olarak bilgisayarla grafikte karşılaşılan en büyük sorunlardan biri, üretilen görüntülerin "gerçekçi" görünmelerinin sağlanmasıdır. Son yıllara kadar bilgisayarla üretilen görüntüler steril bir görünüme sahiptir, bu nedenle de o soğuk mükemmelliklerini gizleyemezler: Yaratılan mekan köşelerinde ne bir kir, ne de toz bulunur. Kumaşlar kırışksız, yerler lekesizdir. Her şey düzenli,

* Anadolu Üniversitesi, Açıköğretim Fakültesi

devinimler basit ve serttir. Tüm bunlar, gerçek dünya ile karşılaştırıldığında, inandırıcılığı büyük oranda engellerler. Gerçek dünyadaki nesnelere hem yapı hem de görünüm olarak çok daha karmaşıktır ve olağanüstü ayrıntı zenginliğine sahiptir.

Bazen küçük dokunuşlarla bile istenen gerçeklik yaratılabilir. Bu dokunuşlar çoğu zaman önemsenmeyebilirse de, izleyiciyi aldatıp, geçmiş duygusunu uyandıran bu tür küçük ayrıntılardır. Örneğin verilen bir gölge ya da bir yansıma, izleyiciyi yanılsatarak, gerçekte olmasının mümkün olamayacağı bilinen bir şeyin bile var olduğuna inandırabilir. Burada varılması gereken gerçeklik görsel gerçekliktir ve amaç, bilgisayarla üretilen görüntünün, bilgisayarla üretilmiş bir görüntü gibi görünmemesini sağlamaktır.

Gerçekçi görüntüler yaratmak çok sayıda adım içerir. Takip eden bölümlerde gerçek görünümlü görüntüler elde etme yolundaki adımlardan modelleme ve doku kaplama dışındaki en önemli adımlar verilecektir. Seçilen algoritmalara göre bu adımlar birbiri içine geçebilir ya da uygulanış sıraları değişebilir.

RENDER İŞLEMİ

Bilgisayarda gösterilmek istenen nesnelere üç-boyutlu modelleri üretildikten sonra, bu modellerin iki-boyutlu ekranda görüntüye dönüştürülmesi render işlemi (rendering) olarak adlandırılır. Render işlemi mekanın üç-boyutlu tanımını alır ve raster ekrandaki görüntüyü oluşturacak iki-boyutlu parlaklık değerleri dizisini (pixels - görüntü elemanları) üretir. Mekandaki nesnelere, zaman zaman yordamsal yöntemler kullanılsa da, genellikle çokgenler kullanılarak tanımlanır(1). Mekan ayrıca ışık kaynağı da içerir. O halde ekranda oluşturulacak görüntüyü gerçekçi olarak oluşturabilmek için nesne modeli dışında ışık ve kamera modelinin de seçilmesi gerekir. Işık kaynağı, genellikle, farz edilen görüş alanının dışında konuşlandırılır. Sanal kameranın konumu ve yönü de, ekranda tam olarak ne gösterilmek isteniyorsa ona uygun olarak seçilir.

1 M. Köküer (1998, Şubat). "Bilgisayarla Canlandırma: Modelleme".

Broadcast Dergisi. (12). s. 112-114

Render işlemi genel olarak üç adımdan oluşur:

- Bilgisayar ortamındaki nesneyi oluşturan üç-boyutlu modelin çokgen yüzeylerinin iki-boyutlu görüş düzlemine yansıtılması.
- Hangi yüzeylerin kısmen ya da tamamen görünür yüzeyler olduklarının saptanması.
- Görüntüdeki her pikselin parlaklık (ya da renk) değerinin hesaplanması.

Pratikte bu adımlar ayrılmaz ve bir sonraki bölümde tartışılacak olan tonlama (shading) hesaplamalarını da içerir.

Render işleminde iki tip yansıtma (projection) yaygın olarak kullanılır: üç-boyutta paralel olan çizgilerin, iki-boyutta da öyle kalmasını sağlayan ortografik yansıtma ve üç-boyutta paralel olan çizgilerin, iki-boyutta kesişme noktasında (vanishing point) buluşmalarını sağlayan perspektif yansıtma. Üzerinde ölçüm yapılabilmesine olanak sağladığından dolayı ortografik yansıtma mühendislik uygulamalarında daha fazla kullanılırken, perspektif yansıtma, verdiği derinlik bilgisiyle, çok daha gerçekçi görünüm sağlar. Perspektif yansıtma nesnenin boyutu izleyiciden uzaklaştıkça küçülür.

Perspektif yansıtma gerçekleştirildikten sonra sıra, görünen yüzeylerin belirlenmesine gelir. Burada, ekrana üç-boyutlu nesnenin gösterimini çizmek için, izleyicinin bakış açısından, hangi yüzeylerin tamamının ya da bir kısmının görüldüğü saptanır. Diğer nesnelerin kısmen ya da tamamen arkasında kalarak, gizlenen yüzeyler atılırken, ekranda sadece görünen kısımlar gösterilir. Görünen yüzeylerin belirlenmesi sorunu birçok yol ile çözümlenebilir; burada bunlardan sadece en yaygın olan ikisinden söz edilecektir.

En basit ve donanıma uyarlanabilmeye en uygun olan yöntem z-tamponu (z-buffer) algoritmasıdır. Z-tamponu yaklaşımında, piksele çok benzeyen zel kullanılır ve zel'e görüntüde bulunan belli bir noktanın parlaklık değeri yerine, o noktanın derinlik değeri atanır. Bu değerler z-tamponu adı verilen ayrı bir iki-boyutlu dizide saklanır. Buradaki 'z' harfi - 'y'nin düşey, 'x'in yatay konumu göstermesi gibi - derinlik bilgisini gösterir. Böylelikle sadece her pikselin parlaklık (ya da renk) değerlerinin depolandığı çerçeve tamponu (frame buffer) değil aynı zamanda o piksele ait derinlik bilgilerinin de depolandığı z-tamponu elde edilir. Z-tamponu başlangıçta 'sonsuz' set edilir. Çokgenler piksellere bölündüğünde, her

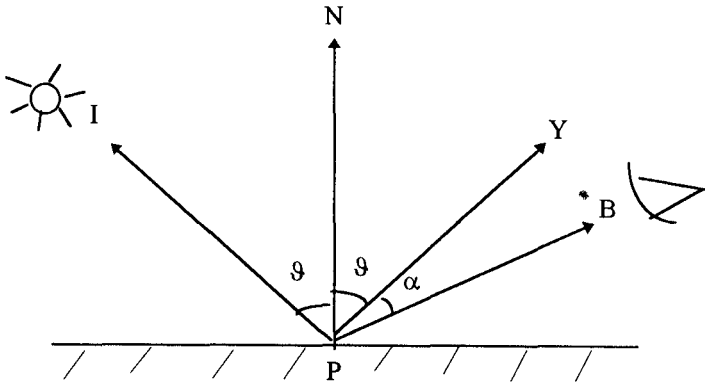
çokgenin her pikseli için z-tamponunda o noktaya karşı gelen derinlik değerine bakılır. Eğer bu değer, o andaki pikselin derinliğinden büyükse, piksel görünür olacaktır. O halde piksel çerçeve tamponuna yazılacak ve yeni derinlik değeri de z-tamponundaki eski değerle yer değiştirecektir. Her karşılaştırma, daha küçük derinlik değerine sahip (yani daha yakın) pikselleri görünür kılacak ve tamponun içeriğinin üzerine yeni değerleri yazacaktır. Bu algoritmanın, fazla bellek gereksinmesine karşın, uygulaması oldukça basittir ve herhangi bir ön sıralama gerektirmez. Çokgenler herhangi bir sırada render edilebilirler. En kötü yanı ise saydam nesnelere ele alınışındaki zorluktur.

Alternatif bir yaklaşım tarama-satırı (scan-line) algoritmasıdır. Birçok farklı uygulaması olmasına karşın, her biri çokgenleri bir yönde (yukarıdan aşağıya gibi) sıraya dizer. Böylelikle her yatay tarama satırı için ele alınacak çokgen sayısı azaltılmış olur. Önce bütün çokgenlerin sol üst köşelerinin z değerleri sıraya dizilir, daha sonra karşı gelen x değerleri ve daha sonra da karşı gelen z değerleri. Bundan sonra hangi konumlarda hangi çokgenlerin üst üste çakıştığı kolayca belirlenebilir ve her tarama satırı için görünen çokgenler bulunabilir. Bu da görünen yüzey sorununu çokgen düzeyinden satır düzeyine indirir. Bu yöntemin en büyük üstünlüğü görüntünün sadece bir satırının saklanması gerektirmesidir. Böylelikle yüksek çözünürlüklü görüntüler için etkin bir şekilde kullanılabilir.

AYDINLATMA VE TONLAMA

Bilgisayarda üretilen çoğu görüntülerin gerçekçi görünmeyişlerinin en önemli nedenlerinden biri, ışık kaynağının nesnelere ilişkisinin doğru olarak modellenememesidir. Gerçekçiliğin elde edilebilmesi için görünen yüzeylerin tonlanması gerekir. En basit tanımıyla tonlama işlemi (shading), yüzeylerin sanki bir ışık kaynağı tarafından aydınlatılmış gibi açık ve koyu değerlerle gösterimidir. Bu işlem görünen yüzey belirlenmesinden sonra, hem yüzeyin niteliklerine (renk, doku, parlaklık), hem ışık kaynağı, izleyici ve diğer yüzeylere göre yön ve konumuna, hem de o yüzeyi aydınlatan ışık kaynağının tip ve konumuna göre hesaplanır. Zaman zaman "Aydınlatma Modeli" (illumination veya lighting model) olarak da adlandırılmasına karşın, tonlama, aydınlatma modelini de içine alan, daha kapsamlı bir anlama sahiptir. Tonlama modeli aydınlatma modelinin ne zaman ve ne şekilde uygulanacağını belirler.

Nokta ışık kaynağı bir nesneyi aydınlatığında, o nesneden yansıyan ışık hem dağınık (diffuse) hem de aynasal (specular) bileşenler içerir. Eğer ışık ideal dağınık yansıtıma sahip bir yüzeye çarparsa - tebeşir gibi mat yüzeyler - bu ışık yüzey tarafından yutulur ve sonra bütün yönlerden eşit olarak tekrar yayılır. Bu tür bir yüzeyden yansıyan ışığın parlaklığı, nokta ışık kaynağı ile yüzeyin normali arasındaki açıya bağlıdır (bkz. Şekil 1). Normal yüzeyin yüzünden dik olarak çizilen bir doğrudur ve yüzeyin yönünü gösterir. Bu açı ne kadar küçükse o kadar fazla ışık yansır. Dağınık ışık her yönde eşit olarak yayıldığından, göze ya da kameraya yansıyan ışık miktarının hesaplanması, gözün ya da kameranın konumunun bilinmesini gerektirmez. Farklı yüzeyler farklı oranlarda ışığı yansıtırlar.



Şekil 1. Aydınlatmanın geometrik modeli.

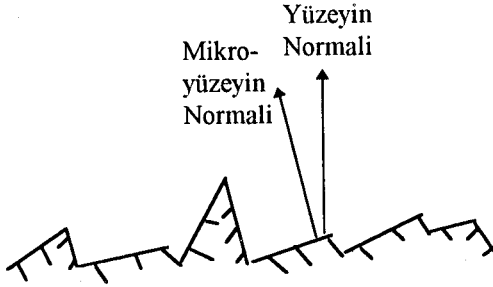
İdeal aynasal yüzeyler ise -ayna, krom gibi parlak yüzeyler -ışığı sadece tek bir yönde yayarlar ve yüzey üzerinde o yönde parıltılar (highlights) oluştururlar. Bu parıltıların yoğunluğu yüzeyin ne denli parlak olduğuna bağlıdır. Göze yansıyan aynasal ışık, hem ışık kaynağı ile yüzeyin normali arasındaki açıya, hem de gözün ya da kameranın konumuna bağlıdır. Aynasal yansımaya yüzey üzerinde eşit olarak dağılmayıp yansımaya açısı denilen yüzeyin normali ile tam olarak yansıyan ışık ışını arasındaki açı etrafında yoğunlaşır. Aynasal yansımalar ışığın rengini almaya eğilimliyken dağınık yansımalar yüzeyin rengindedir. Burada da farklı yüzeyler farklı miktarlarda aynasal yansımalara sahiptir.

Aynasal bileşeni hesaplamak o denli kolay değildir. Çünkü gerçek nesnelere ideal aynasal yansımalara sahip değildir ve bazı ışınlar ideal ışık yönünden farklı yönde de yansıyabilirler. Bunun nedeni, yüzeylerin her zaman tam olarak dümdüz olmamaları ve bazı mikroskopik bozuklukları

içermeleridir.

İdeal aynasal yansımalara sahip olmayan nesneler için uygulanabilir aydınlatma modeli ilk olarak Phong tarafından geliştirilmiştir (2). Bu deneysel bir yaklaşımdır ve izleyiciyle ışık kaynağını keyfi konumlarda ele alır. Buna göre maksimum yansıma bakış yönü ile yansıyan ışık arasındaki açı sıfır olduğunda oluşur ve açı büyüdükçe çok hızlı olarak düşer. Bu hızlı düşüş \cos^n formuyla gösterilir. 'n' değeri modellenen yüzey materyalinin parlaklık faktörüdür.

Fizik bilimine dayandırılan ve daha doğru sonuçlar veren diğer bir aydınlatma modeli Blinn tarafından geliştirilmiştir (3). Bu aydınlatma modelinde, modellenecek yüzeyin, her biri tam yansıtıcı olmak üzere, Şekil 2'de görüldüğü gibi mikro yüzeylerden oluştuğu kabul edilmiştir ki bu da fiziksel olarak oldukça doğrudur. Olumsuz yanı oldukça fazla hesaplama yoğunluğu gerektirmesidir.



Şekil 2. Torrance-Cook yüzey modeli.

Blinn'in modeline çok benzeyen ama ondan daha gerçekçi görüntüler üreten diğer bir aydınlatma modeli Cook ve Torrance tarafından önerilen modeldir (4). Oluşturulan parılmanın rengi modellenen yüzeyin renginden etkilenir. Bu daha önceki araştırmacıların göz önüne almadığı bir etkidir. Yüzeyin görünümü üzerinde kullanıcıya daha fazla denetim olanağı sağlar: parametreler değiştirilmek suretiyle

- 2 B. T. Phong (1975, June). "Illumination for Computer Generated Pictures". **Comm. ACM.** 18(6). s. 311-317.
- 3 J. F. Blinn (1977, July). "Models of Light Reflection for Computer Synthesised Pictures". **Computer Graphics (Proc.SIGGRAPH 77)**. 11(2). s. 192-198.
- 4 R. L. Cook & K. L. Torrance. (1982, January). "A Reflectance Model for Computer Graphics". **ACM Trans. Graphics.** 1(1). s. 7-24.

nesne kolayca plastik ya da metalik yapılabilir.

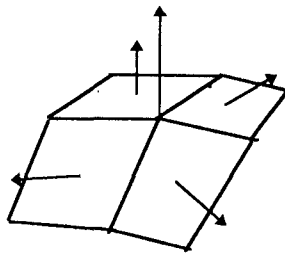
Bilgisayar ortamında nesnelere genellikle çokgen örgü yüzeyler ile oluşturulur. Gerçek dünyadaki çoğu nesne yumuşak geçişli, kavisli yüzeylere sahiptir. Çokgen örgü yüzeylerden oluşan modele bu şekilde pürüzsüz, yumuşak değişimli bir görünüm vermek için ilk akla gelen yol, daha fazla sayıda küçük çokgenler kullanmaktır. Böylelikle köşeli, sert görünümünden kurtulmuş olunur ve gerçek yüzeye daha fazla yaklaşım sağlanır. Fakat bu da modelin çok fazla karmaşıklaşmasına ve depolama gereksinimleriyle işleme zamanının çok artmasına neden olur. Bu yüzden bu yaklaşım çok sık yeğlenmez ve yerine, tonlama modelleri kullanılır. Yaratılan nesnelere gerçeklik kazandırılması kullanılacak tonlama modelinin etkinliğine bağlıdır.

En basit tonlama yöntemi temel tonlama modeli (basic shading model) adını alır. Bu yöntemde her çokgen yüzey için tek bir tonlama hesaplaması yapılır ve her bir çokgenin tüm yüzeyi tek bir parlaklık değeriyle render edilir. Temel tonlama modeli kavisli yüzeylere uygulandığında, bitişik çokgen yüzeyler arasında tonlama farklılıkları yaratacağından dolayı gerçekçi bir görünüm elde edilemez. Çünkü modeldeki her çokgen yüzeyi ayrı ayrı temel tonlama modeli ile tonlandığından, farklı yönlerde bakan iki bitişik çokgenin ortak kenarında farklı parlaklıklar oluşur. Küre gibi kavisli yüzeye sahip nesne render edildiğinde de, parlaklık değerlerindeki bu kesiklilik her çokgenin kolayca birbirinden ayırt edilmesine yol açarak modelin altındaki çokgensel yapıyı açığa vurur ve modelin köşeli görünmesine neden olur. Ayrıca temel tonlama modeli, modellenen nesneye ait hiç bir aynasal bileşeni göz önüne almaksızın sadece yaygın bileşeni hesaplar. Yüzeyin aynasal özelliği yok sayıldığından, yüzey üzerinde hiç bir parıltı üretilemez.

Burada büyük bir sorunla karşılaşılır: mekanda direk olarak aydınlatılmayan nesnelere görünmez olur! Doğada bu gerçekleşmez, çünkü atmosfer ışığı dağıtarak ambient aydınlatmayı sağlar. Bu etkiyi yaratmak için, bilgisayarla grafikte de gökyüzünden ve mekandaki diğer yüzeylerden yansıyan ışık modellenir ve ambient aydınlatma olarak adlandırılır. Ambient bileşeni tam doğru olarak hesaplamak çok zaman alıcı olduğundan, yerine, bir sabit kullanılır. Bu durumda toplam aydınlatma modeli, her yerde aynı olan ambient bileşen ile dağınık bileşenin toplamından oluşur.

Gerçek nesnelere yansıyan ışık hem dağınık hem de aynasal bileşenler içerdiğinden, gerçekçi görüntüler yaratmak için ambient bileşenle birlikte bu iki bileşenin de modellenmesi gerekir.

Yukarıda sözü edilen kavisli yüzlerdeki çokgensel yapının gizlenmesi sorunu Gouraud tonlama modeli ile çözülebilir (5) Kavisli yüzey çokgenlere bölündüğünde, her bir çokgen yüz Şekil 3' te görüldüğü gibi kendi normaline sahip olur. Çokgen yüzlerin birleştiği uç noktalarda (vertex), yüzey normallerinin ortalaması alınır. Sonra her uç nokta için, ambient bileşeni de içine alan aydınlatma modeli kullanılarak parlaklık değerleri hesaplanır. Yüzey render edilirken, çokgen yüz, her kenar için o kenara ait uç noktaların parlaklık ortalamasının alınmasıyla ve her tarama satırı için kenarlardaki parlaklık değerinin ara değerlerinin bulunmasıyla (interpolation) tonlanır. Böylece bir çokgen yüzden diğerine geçerken parlaklık değişimleri yumuşatılarak kesiksiz bir tonlama sağlanır ve var olan çokgensel yapı izlenimi büyük oranda yok edilir. Ne yazık ki, bu yöntemin de iki olumsuz yanı bulunur: ilki Mach band etkisi denilen belirgin kenarlar boyunca kenarları izleyen bir bandın algılanması durumudur. Durağan görüntülerde pek belirgin olmamasına karşın, özellikle canlandırma gibi hareketli görüntülerde rahatsız edici dalgalanmalar oluşturur. Diğeri ise uç noktaların ara değerlerinin hesaplanmasından dolayı parıltıların bozunumudur (distortion). Bu sorunlar Phong tarafından önerilen daha iyi bir tonlama modeli kullanılarak giderilebilir.

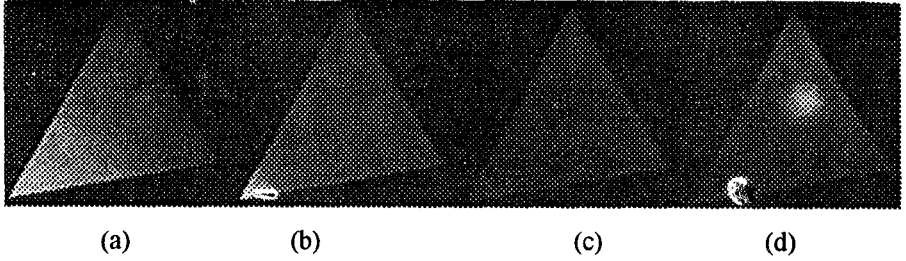


Şekil 3. Bitişik yüzler ve normalleri.

Phong tonlama modelinde parlaklık ara değerlerinin alınması yerine, çokgen boyunca normallerin ara değerleri alınır (6). İki kenar arasında yer alan bir noktadaki normal, bu iki kenara ait normallerin ara

- 5 H. Gouraud (1971, June). "Continuous Shading of Curved Surfaces". **IEEE Trans. Computers**. C-20(6). s. 623-629.
- 6 B. T. Phong (1975, June). **A.g.k.**

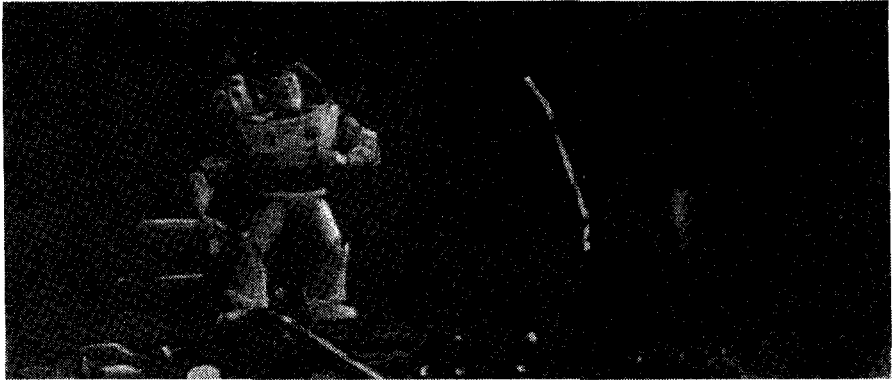
değerlerinin alınması ile hesaplanır. Bir tarama satırı boyunca her piksel için ara değerlenmiş normal normalize edilir ve Phong aydınlatma modeli uygulanarak tonlama değeri hesaplanır. Yüzeyin her noktasında normalin hesaplanmasını gerektirdiğinden, Gouraud tonlamaya göre çok daha fazla zaman alıcıdır, fakat üretilen görüntülerin kalitesi ve parlıkların doğruluğu mükemmeldir. Ayrıca Gouraud tonlamada bir çokgen boyunca, yüksek parlıya sahip uç noktanın parlaklığı ile daha az parlaklıktaki uç noktanın parlaklığının ara değeri alındığından, parlı çokgene yayılır (bkz. Şekil 4). Bu yüzden çokgen içindeki hiç bir nokta, ara değerlendirildiği en parlak uç noktadan daha parlak olamaz. Buna karşın Phong tonlama parlıkların çokgenin içinde yer almasına olanak sağlar. Phong aydınlatma modelindeki aynasal bileşeni göz önüne almayan bir aydınlatma modeli kullanılsa bile, parlaklık ara değeri yerine normal ara değerlerinin hesaplanması sonucu Mach band sorunu azaltılarak daha iyi görüntüler elde edilir.



Şekil 4. Parlı sol uca düştüğünde: a) Gouraud Tonlama, b) Phong Tonlama.
Parlı çokgen içine düştüğünde: c) Gouraud Tonlama, d) Phong Tonlama.

Aydınlatma ve tonlama izleyicinin bakışını, dikkat nereye çekilmek isteniyorsa oraya yönlendirir ve görülmeden kalması gereken yerleri gizler. Seçilen model ile görsel bir atmosfer yaratılır ve aynı mekanın güneşli, iç karartıcı veya ürpertici görünmesi sağlanabilir. Örneğin "Oyuncak Hikayesi" filminde Woody'nin Buzz'yi Andy'nin odasından fırlattığı sahnede, Woody'nin yüzündeki portakal rengi ışık onun solundan başlar ve sonra yüzünü yalayarak diğer yanına döner. Böylece güneşin önce solunda olduğu ve sonra da sağında battığı anıştırılmış olur. Doğaldır ki bunun gerçekte bir ilgisi yoktur; sadece dramatik bir etki yaratmak için bu şekilde düzenlenmiştir. Aynı şekilde Şekil 5' te görüldüğü gibi Woody ve Buzz'yn, Sid'in odasında tutsak kaldıkları sahnede odadaki ışık tek bir çıplak lambadan yayılır gibi serttir (ürpertici bir ortam!). Odada her şey

gri renklerde, neredeyse tek renkli. Bu da karakterlerin film boyunca en düşük moralde oldukları duygusunu pekiştirir (7). Böylelikle sanal ortamda yerleştirilen sayısal ışık kaynakları ile istenilen her türlü ortam yaratılıp, etkileycilik artırılabilir.



Şekil 5. Sid' in ürperti veren, uğursuz odası.

“Güzel ve Çirkin” (Beauty and the Beast) filminin bir çok sahnesi de bilgisayarda yaratılan üç-boyutlu canlandırılmış nesnelere içerir ve geleneksel elle çizilen karakterlere uyum sağlansın diye parlak renklerle temel tonlama modeli kullanılarak tonlanır. Buna rağmen, üç-boyutlu avizenin ve mumları temsil eden ayrı ayrı 158 ışık kaynağının bulunduğu balo sahnesi olağanüstü etkileyicidir.

GÖLGELENDİRME

İnsanoğlu eski çağlardan beri gölgelerin konumundan etkilenmiştir. Bu eski kültürlerdeki anıtların konumlandırılması incelendiğinde kolaylıkla görülebilir. Neredeyse tüm dini yapılar güneşin konumuna ve yılın belli zamanlarında oluşan gölge durumlarına göre düzenlenmişlerdir. Aslında bu yapıların çoğu ilk gözlemevleri olarak işlev görür; oluşturdukları gölgeler ile yaz ve kış gündönümü gibi önemli günlerin tam olarak belirlenmesini sağlarlar (8).

Bilgisayarla grafikte de yaratılan görüntülere daha gerçekçi görünüm vermek gölgelendirme (shadows) ile mümkün olur. Gölgeler, diğer

7 R. Street (1995, December). “Toys will be Toys”. *Cinefex*. 64. s. 75-91.

8 T. F. Banchoff (1990). “Beyond the Third Dimension”. *Scientific American Library*. A. division of HPHLP, New York.

nesnelere tarafından engellendiği için direk olarak ışık kaynağını göremeyen bölgelerdir. Bir nesne sanal ışık kaynağı tarafından görülemiyorsa gölgede kalır. Nesnelere görünen yüzeylerinin ekranda ne şekilde belireceği diğer nesnelere konumlarından etkilenecektir. Bu da nesnelere arasındaki uzamsal ilişkilerin kavranmasını kolaylaştırır. Eğer bir nesne başka bir nesne yüzeyinde gölge oluşturuyorsa, o halde bu nesne, gölgelediği nesneyle direk olarak gelen ya da yansıyan ışık kaynağı arasındadır. Gölgeleme derinlik ip uçlarını vermede önemli bir etmendir ve bilgisayar ortamında üretilen görüntülerde gerçekliği büyük oranda artırır.

Kullanılan ışık kaynağı nokta ışık kaynağı ise, herhangi bir noktadan ya tam olarak görülebilir ya da görülemez olduğundan dolayı sert, keskin gölgeler oluşturur. Dağınık ışık kaynağı ise yumuşak gölgeler üretir, çünkü ışık kaynağının tümünü tamamen gören noktalardan, onu kısmen gören ya da hiç görmeyen noktalara yumuşak bir geçiş söz konusudur. Birden fazla ışık kaynağı olması durumunda ise birden fazla gölge üretilir.

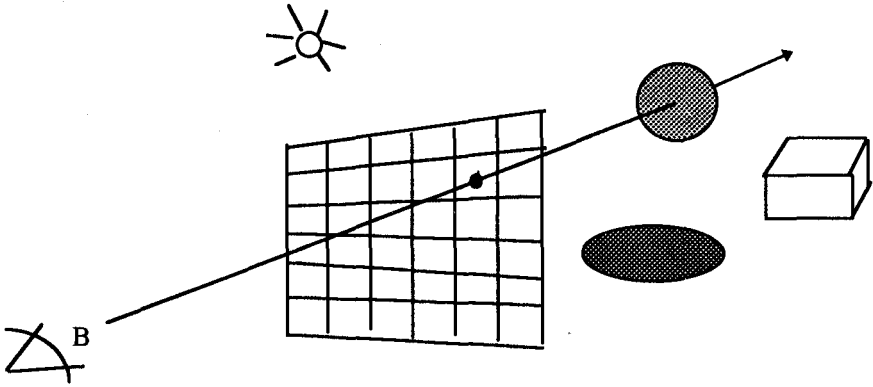
Daha önce sözü edilen görünen yüzey algoritması bakış açısından nesnelere hangi yüzeylerinin görüldüğünü belirlerken; gölgeleme algoritması, ışık kaynağı tarafından hangi yüzeylerin görüldüğünü belirler. Bu yüzden her iki algoritma da temelde aynıdır. Gölgeleme algoritmasının karmaşıklığı kullanılan ışık kaynağına bağlıdır. Kullanılan ışık kaynağı görüş açısının dışında ise ya da sonsuzda olduğu kabul edilirse (güneş gibi), sorun çok basitleşir. Hangi nesnenin gölgede kaldığının bulunması, ışık kaynağı tarafından görülen yüzeylerin belirlenmesine indirgenir. Eğer sanal ışık kaynağı dağınık ışık kaynağı ise ya da ışık kaynağı görüş alanı içinde yer alıyor ise sorun oldukça karmaşıklaşır. Çünkü ışınlar ne tek bir yönden, ne de tek bir noktadan yayılmaktadır.

IŞIN İZLEME VE IŞINSALLIK

Yukarıda sözü edilen tekniklerin tümünde, yerel bir aydınlatma modeli ele alınır ve yüzeyler arasında ışığın değişimleri göz ardı edilir. Yerel aydınlatmada, ışığın, tonlanacak nesneye ışık kaynağından direk olarak geldiği kabul edilir. Oysa ki gerçek dünyada nesneye düşen ışık, hem direk olarak ışık kaynağından yayılan ışığın, hem de kendi yüzeyiyle diğer yüzeylerden geçerek ve yansarak gelen ışığın toplamıdır. Örneğin gerçek dünyada bir ev düşünüldüğünde, tavanda asılı olan lambadan

yayılan ışınlar tavana çarparak onu aydınlatır, fakat daha sonra tavan, kendine çarpan bu ışığı dağınık ışık olarak yansıtarak odanın geri kalan kısımlarını da aydınlatır. Bu şekilde dolaylı iletilen ve yansıtılan ışığı ele alan aydınlatma modeline küresel aydınlatma modeli adı verilir. Buraya dek küresel aydınlatma, sadece ambient aydınlatma terimi kullanılarak modellendi. Bu da mekandaki bütün nesneler için sabit bir değerdirdi. Bu yüzden nesnenin ya da izleyicinin konumundan bağımsızdı ve çevredeki ambient ışığı engelleyebilecek nesnelere göz önüne almıyordu.

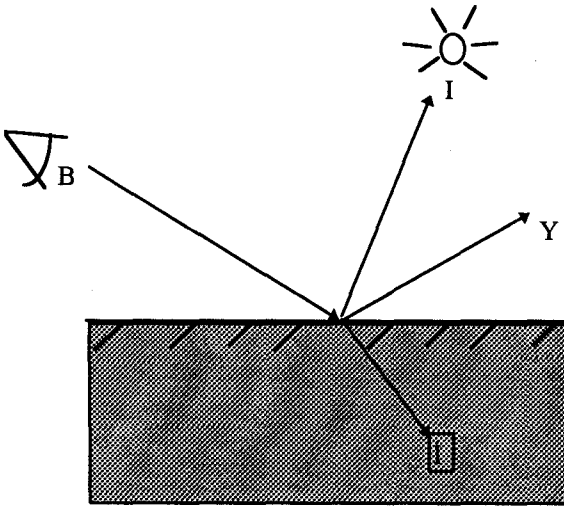
Işğın mekandaki tüm nesneler arasında etkileşimlerini ele alan iki farklı küresel aydınlatma modeli ışın izleme (ray tracing) ve ışınsallık (radiosity) yöntemidir. Bu yöntemler yansıma, kırılma ve gölgelendirmeyi ele aldıklarından, gerçekliğın modellenmesinde çok önemli bir yer tutarlar.



Şekil 6. Işğın piksel merkezinden geçerek mekandaki nesneye çarpar.

Işğın izleme yöntemi görünen yüzey algoritmasının daha genişletilmiş bir şeklidir. Işğın izleme yönteminde, gözden bir ışğın piksel merkezinden geçecek şekilde nesnelerin bulunduğu üç-boyutlu mekana gönderilir ve nelerle karşılaşacağı gözlenir (bkz. Şekil 6). Bu ışğınla mekandaki nesnelerin kesişmesi bulunur ve göze en yakın olan, görünen yüzeyi belirler. Gölgelendirme bilgisini edinmek için, bu kez, kesişme noktasından her bir ışğın kaynağına doğru bir ışğın gönderilir. Bu ışğının herhangi bir nesneye karşılaşması görünen yüzeyin gölgede olması demektir. Whitted bu yöntemi, aynasal yansıma ve kırılma ışğınlarını da

içeren, kesişme noktasından iki ek ışın göndererek daha genişletmiştir(9): ışıklardan biri Şekil 7’de görüldüğü gibi yansıma yönünde, diğeri ise ışığın yüzeyde ilerlemesi yönündedir. Eğer ışığın çarptığı nesne yansıtıcı bir nesne ise, ışın bu nesneye çarpıp tekrar yansdıktan sonra, başka bir nesneye çarpıp izlenir. Bu işlem, ışının yansıtıcı olmayan yutucu bir nesneye çarpmasına ya da mekanın dışına çıkmasına dek sürer gider. Böylelikle, ışığı yansıtıcı ve kırıcı yüzeylerin bozunumu mükemmel olarak modellenebilir ve çok etkileyici görüntüler üretilebilir. En önemli olumsuz yanı, çok fazla hesaplama gerektirdiğinden yavaş olması ve örnekleme sorunu göstermesidir.



Şekil 7. Işın izlemenin geometrisi.

Işın izleme yönteminde aynasal bileşen küresel olarak ele alınırken dağınık bileşen hala yerel olarak hesaplanır. Ayrıca ışın izleme yönteminde bütün işlemler nesnelerin yer aldığı üç-boyutlu koordinat uzamında gerçekleştirilir. Bu yüzden genellikle nesneye dayalı teknik olarak adlandırılır. Daha önce tanımlanan yöntemler ise görüntüye dayalı teknikler olarak bilinir.

9 T. Whitted (1980, June). "An Impoved Illumination Model for Shaded Display". *Comm. ACM.* 23(6). s. 343-349.

Işınsallık yöntemi de nesneye dayalı bir tekniktir. Işın izleme yöntemi basit geometrik optikten yararlandığı için dağılık yansımaları vermek çok zordur. Işınsallık yöntemi biraz daha farklıdır ve yüzeylerden oluşan sistemdeki enerji dengesini modeller. Işığın yüzeyler arasında nasıl yansıdığını belirlemek için ısının bir oda içinde yayılımı örnek olarak alınır. Böylelikle her yüzeyden yayılan ya da yansıyan enerji diğer yüzeylerden yansıyan ya da yutulan enerjinin toplamıdır (10). Enerjinin yüzeyden ayrılma oranı onun ışınsallığı olarak adlandırılır ve bu oran yüzeyin yaydığı enerjinin ve o yüzeyden veya diğer yüzeylerden yansıyan ya da iletilen enerjinin oranları toplamına eşittir.

Bu yöntemin ilk adımında bakış açısından bağımsız olarak tüm yüzeylerin ışık kaynakları ile etkileşimleri modellenir. Daha sonra dilenen bakış açıları için geleneksel görünen yüzey ve tonlama algoritmaları kullanılarak bir veya daha fazla görüntü elde edilir.

Işınsallık yöntemi dağılık yansıtmaya sahip yüzeyler için çok inandırıcı sonuçlar verir. Çünkü dağılık yüzeyin çift yönlü yansıması tüm yönlerde sabittir. Bu yüzden bütün ışınsallıklar bakış açısından bağımsız olarak hesaplanır. Fakat diğer yandan, aynasal yansıtmaya sahip yüzeyler için çok elverişli değildir. Çünkü bir yüzeyin aynasal yansıması izleyicinin bakış açısına göre hesaplanır ve ışınsallık yönteminde dilenen bakış açısıyla ilgili bilgiler olmadığından daha fazla bilginin hesaplanması gerekir.

Işınsallık yöntemi de çok yavaştır. Ayrıca mekandaki herhangi bir nesnenin hareketi ışınsallık hesaplarının yeniden gözden geçirilmelerini gerektirir. Bu yüzden daha çok durağan görüntülerde ya da sadece izleyicinin hareket ettiği görüntü dizilerinde kullanılabilir. İşlemi hızlandırmak için araştırmalar devam etmektedir.

SONUÇ

Geçtiğimiz bir kaç yıl boyunca, bilgisayarlar bir çok sinema filminde küçük roller üstlendiler. "Tron", "Abyss" ve "Terminatör 2" gibi filmlerdeki bilgisayar tarafından üretilen özel etkilerden sonra, bilgisayarın kendisi artık bir film yıldızı olmaya başladı. Elde edilen sanatsal ve ticari

10 C.M. Goral, D.P. Greenberg & B. Battaile (July, 1984). "Modeling the Interaction of Light Between Diffuse Surfaces". **Computer Graphics (Proc. SIGGRAPH 84)**. 18(3). s. 213-222.

başarılar, nihayet, sinema endüstrisindekileri daha büyüğünü yapmaya yüreklendirdi ve tüm olarak bilgisayarda üretilen uzun metrajlı filmlerden söz edilmeye başlandı. Dünyanın tamamen bilgisayar tarafından üretilen ilk uzun metrajlı filmi “Oyuncak Hikayesi” 1995 yılında gösterime sunuldu ve büyük bir başarı kazandı.

Tamamlanması dört yıl alan yetmiş yedi dakikalık “Oyuncak Hikayesi” filmi çok gerçekçi 112 000 çerçeveden oluşturuldu. Bunun için dört yüzden fazla model, bin beş yüzden fazla tonlayıcı ve iki binin üzerinde doku kaplaması kullanıldı (11). Sonuç o denli etkileyici oldu ki “Academy of Motion Pictures Arts and Sciences” tarafından yönetmen John Lasseter’e özel başarı Oscar’ı verildi.

“Oyuncak Hikayesi”nin getirdiği teknolojik gelişme hem yüzyıllık sinema tarihinde - ses, canlandırma ve renk gibi - bir devrim olarak nitelendiriliyor hem de göreceli olarak daha kısa geçmişe sahip bilgisayarla grafikte bir dönüm noktası olarak adlandırılıyor. Bu da gösteriyor ki, bilgisayar önümüzdeki yıllarda, film üretim teknikleri içinde kamera ile birlikte baş rolü oynamaya devam edecek.

YARARLANILAN KAYNAKLAR

- BANCHOFF, T. F. (1990). "Beyond the Third Dimension". **Scientific American Library**. A division of HPHLP, New York.
- BLINN, J. F. (1977, July). "Models of Light Reflection for Computer Synthesised Pictures". **Computer Graphics (Proc.SIGGRAPH 77)**. 11(2).
- COOK, R. L. & K. L. TORRANCE (1982, January). "A Reflectance Model for Computer Graphics". **ACM Trans. Graphics**. 1(1).
- FOLEY, J. D., A. VAN DAM, S.K. FEINER, J. F. HUGHES & R. L. PHILLIPS (1995). **Introduction to Computer Graphics**. Addison-Wesley Publishing Company.
- GORAL, C. M., D. P. GREENBERG, & B. BATTAILE (1984, July). "Modeling the Interaction of Light Between Diffuse Surfaces". **Computer Graphics (Proc. SIGGRAPH 84)**. 18(3).
- GOURAUD, H. (1971, June) "Continuous Shading of Curved Surfaces". **IEEE Trans. Computers**. C-20(6).
- KÖKÜER, M. (1998, Şubat). "Bilgisayarla Canlandırma: Modelleme". **Broadcast**. (12).
- PHONG, B. T. (1975, June). "Illumination for Computer Generated Pictures", **Comm. ACM**. 18(6).
- STREET, R. (1995, December). "Toys will be Toys". **Cinefex**. 64.
- WHITTED. T. (1980, June). "An Improved Illumination Model for Shaded Display". **Comm. ACM**. 23(6).