

BİLGİSAYARLA CANLANDIRMADA DOKU KAPLAMA

Münevver KÖKÜER*

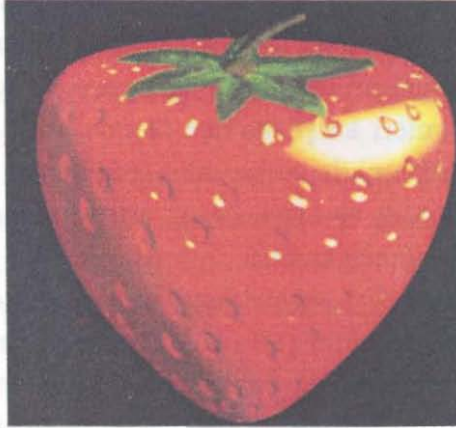
Bilgisayarla üretilen görüntülerde gerçeklik yanılsamasını sağlamak, ayrıntı açısından zengin görüntüler elde etmekle mümkün olabilir. Gerçek dünyadaki çoğu nesne büyük miktarda görsel ayrıntı ve karmaşıklık içerir. Bu ayrıntı ve karmaşıklık modelleme sürecinde çok sayıda çokgen kullanmak suretiyle yaratılabilir. Fakat modeldeki çokgen sayısı arttıkça, render işlemi sırasında bilgisayarın performansı düşer ve depolama gereksinimleri karşılanamaz ölçüde artar. *Doku kaplama* (texture mapping) yöntemi ile bu sorunlar giderilerek, üretilen sentetik görüntülerdeki gerçeklik ve bilgi içeriği artırılır -ya da daha doğru olarak artırılmış görünümü yaratılır.

Doku kaplama ya sayısallaştırılmış (iki veya üç-boyutlu görüntüler) ya da sentez edilmiş (iki ya da üç değişkenli matematiksel fonksiyonlar) görüntülerin, üç-boyutlu grafik sistemleri tarafından gösterime sunulan yüzeylerin görünümünü değiştirmek için o yüzeyler üzerine kaplanmasıdır. Doku kaplama ilk olarak Catmull tarafından tanıtılır¹. Bu yöntem, çok basit olarak, var olan çokgen yüzeyler üzerine duvar kağıdı kaplama işlemine benzetilebilir. nesne hareket ettiğinde doku da onunla birlikte hareket eder. Catmull bu yöntemle, oldukça düşük bir maliyetle, yüzeylerin sanki gerçek dokusuymuş gibi görünen görüntüler elde eder. Onun yaklaşımında, nesne yüzeyinin

* Yrd.Doç., Anadolu Üniversitesi, Açıköğretim Fakültesi, Öğretim Üyesi.

¹ E.Catmull. "Computer display of curved surfaces", Proc. Conference on Computer Graphics, Pattern Recognition, and Data Structure, pp. 11-17, May 1975.

sahip olması istenen görünüm seçilir ve bu iki boyutlu görüntü bilgisayarla üretilmiş üç-boyutlu nesne üzerine kaplanır. Bu kaplama, her yüzey parçasının öz yinelemeli (recursive) olarak tek bir piksel boyutuna ulaşana dek daha küçük parçalara bölünmesi suretiyle başatılır. Bunun için z-tampon sistemi kullanılır. Bu yöntem, her pikselin parlaklık değeri ile görünen yüzey derinliğini depolayan bir rasgele erişimli bellek sistemidir.



Şekil 1: Pütür Kaplanmış Çilek*.

Blinn ve Newell bu tekniği daha karmaşık bir süzgeçleme yöntemi kullanarak geliştirirler². Kullandıkları süzgeç, iki piksel genişliğe sahip, kare piramit formunda bir üçgen süzgeçtir. Bu piramit, her piksel için doku uzamındaki dörtgene uydurulmak için bozumuna

* J.D.Foley, A.V. Dam, s.K.Feiner, J.F.Hughes and R.L.Phillips, "Introduction to computer graphics", Addison-Wesley Publishing Company, Plate 39, 1995.

² J.F.Blinn and M.E.Newell. "Texture and reflection in computer generated image", Communications of the ACM, 19(10), pp. 542-547, October 1976.

uğrattılır ve ağırlıklı ortalama hesaplanır. Daha sonraki çalışmasında, Blinn, doku kaplamaya çok benzeyen *pütür kaplamayı* (bump mapping) geliştirir³. Bu yöntemde iki boyutlu görüntüden alınan renklerin üç-boyutlu nesnenin üzerine kaplanması yerine, aynı renkler, nesne yüzeyinin sanki girinti ve çıkıntılardan oluşuyormuş gibi görünmesini sağlamak için kullanılır. Bunun için siyah-beyaz bir görüntü kullanılır; iki boyutlu görüntüdeki beyaz kısımlar çıkıntı olarak görünürken, siyah kısımlar girintileri oluşturur. Grinin farklı tonları da, ne denli koyu ya da açık olduklarına bağlı olarak, daha küçük pütür ya da çıkıntıları yaratırlar. Böylelikle geometrik olarak düz yüzeyler üzerinde çok inandırıcı pütür ve kırışıklıklar elde edilir. Özellikle canlandırmada, ne zaman pütür kaplanmış nesne hareket etse, parıltılar yüzeyle çok iyi uyduğundan dolayı, çok etkileyici sonuçlar elde edilir.

Şekil 1’de pütür kaplanmış çilek modeli görülmektedir. Çileğin genel şekli oldukça basittir. Yaklaşık konisel bir şekli vardır ve yüzeyinin her yerinde tek bir renk hakimdir. Oysa ki yakından bakıldığında, yüzeyinde çok küçük çukurların olduğu görülür. İşte çilek yüzeyindeki bütün bu küçük geometrik değişimlerin tek tek modellenmesi ciddi modelleme sorunları yaratacağından, pütür kaplama yöntemi kullanılır ve geometri üzerinde hiçbir şekilde değişim yapılmadan çukur görünümleri elde edilir.

Blinn, bundan başka, *çevresel kaplama* (environment mapping) adını verdiği, çevresindekileri yansıtan yüzeyleri modellediği yöntemi tanıtır.² Bunun için nesnenin bulunduğu konumdan altı değişik görüntüyü render eder; ön, arka, sağ, sol, yukarısı ve aşağısı olmak üzere. Tüm bu görünüm, doku kaplamaya çok benzer bir yöntemle, nesnenin dış yüzeylerine kaplanır. Sonuç, nesnenin etrafında bulunanları yansıtarak, büyük oranda bir gerçeklik sağlaması olur. Bu tür kaplama *Terminatör 2* filminde çok sık kullanılır. Krom benzeri bir metalden oluşan T-1000 karakterinin bu denli gerçekçi görünebilmesi ve seyirciyi buna inandırabilmesi, büyük oranda, filmin çekildiği

³ J.F.Blinn. “Simulation of wrinkled surfaces”, Computer Graphics (Proc. SIGGRAPH 78), 12 (3), pp. 286-292, August 1978.

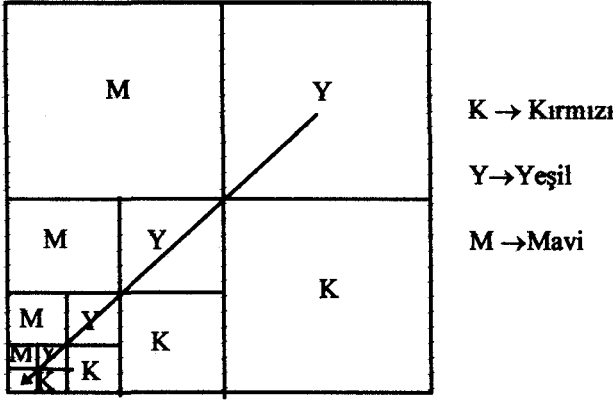
mekandaki aynı aydınlatmayı kullanması ve hareket ettiğinde, ayna gibi etki göstererek, çevresinde bulunanları yansıtması gibi ayrıntılarla sağlanır (bkz. Şekil 2). Böylelikle çok daha doğal görünüp gerçekten de canlı çekimler ile aynı mekanda buldukları izlenimini güçlendirir. ILM (Industrial Light and Magic) bunun için ortama ait film karalarıyla özel çevresel fotoğrafları kullanılır ve bunları canlandırmış modele yansıtır⁴.



Şekil 2. Terminator 2 filminde çevresel kaplama.

⁴ C.Davidson, "Metamorphosis in motion", Image Processing, pp. 16-17, May-June 1992.

Feibush, Levoy ve Cook, Blinn'in yöntemini üçgen yerine Gaussian süzgeç kullanarak genişletirler⁵. Oldukça iyi sonuç vermesine karşın, hesaplama açısından çok pahalıdır. Ayrıca çokgenlere perspektif doku kaplarken, tek bir piksel, doku düzleminin ufkunda çok fazla miktarda doku noktasına karşılık geldiğinden dolayı elverişsizdir. Williams ve Crow bu sorunu - biraz doğruluktan ödün vererek - dokuyu önce süzgeçlemek suretiyle çözer.



Şekil 3: Renkli MIP-map yöntemi.

Williams *MIP-map* (multum in parvo - Küçük bir alanda bir çok şey) yöntemini kullanır⁶. Bu yöntem diğerleri kadar doğru sonuç vermese de direk konvolusyon yönteminden çok daha büyük hıza sahiptir. MIP-map bir görüntünün sadece asıl çözünürlüğünü değil fakat aynı zamanda daha düşük çözünürlüklerde süzgeçlenmiş uyarlamalarını

⁵ E.A.Feibush, M.Levoy, and R.L.Cook, "Synthetic texturing using digital filters", Computer Graphics (Proc. SIGGRAPH 80), 14 (3), pp. 294-301, July 1980.

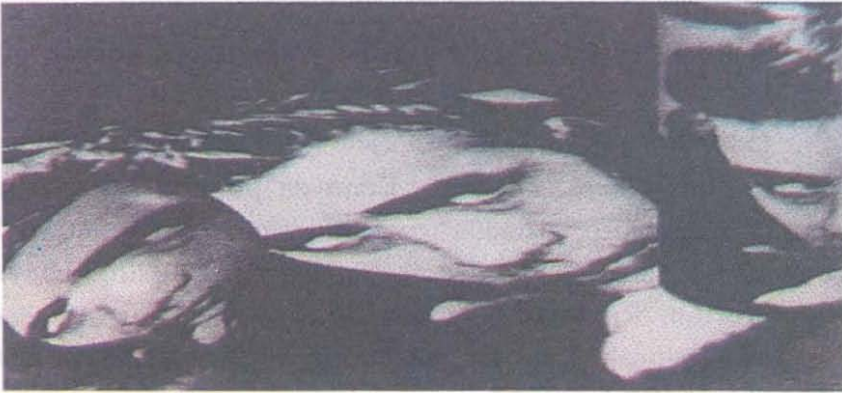
⁶ L.Williams, "Pyramidal parametrics", Computer Graphics (Proc. SIGGRAPH 83), 17 (3), pp. 1-11, July 1983.

da verir. Şekil 3’de görülebileceği gibi, farklı çözünürlüklerde çok sayıda görüntü, asıl görüntünün daha düşük çözünürlüklere ortalaması alınmak suretiyle önceden hesaplanır. Dokunun daha düşük çözünürlüğündeki her piksel, bir üst çözünürlük uyarlamasındaki piksellerin ortalamasını gösterir. Süreklilik sağlamak için farklı çözünürlükler arasında doğrusal ara değerlendirme (linear interpolation) kullanılır. Bu da değerlerin daha da yumuşatılması sonucunu verir. Önceden süzgeçlenmiş MIP-map görüntüden çıkış pikselini üretmek için gereken süre sabit olduğundan dolayı, MIP-map’te dokunun hesaplanması (kaplanması) sabit sürelidir. MIP-map’in en önemli olumsuz yanı simetrik olmasıdır. Çünkü herhangi bir pikseldeki doku parlaklığı, karesel bir bölge içinde dokunun ortalaması alınarak gösterilir. Bu yüzden, eğer doku sadece bir boyutta sıkıştırılırsa, MIP-map doku hatalı olarak görünür. Şekil 4’te MIP-map dokunun küresel, düzlemsel ve silindiriksel yansıtma kullanılarak uygulanışı verilmektedir.

Crow MIP-map’e alternatif bir yöntem olan *toplanmış-bölge tablosunu* (summed-area table) geliştirir⁷. Bu yöntemde, süzgeçleme yine sabit bir sürede yapılabilir diye, fonksiyonun kendisi yerine doku fonksiyonunun toplamını gösteren tek bir değerler tablosu kullanılır. Bu yaklaşımda, her doku parlaklığının yerini, kaplanacak piksel ve doku görüntüsünün merkezi tarafından tanımlanan bir dikdörtgende bulunan ve tüm piksellerin parlaklıklarının toplamını gösteren bir değer alır. (bkz. Şekil 5). Rasgele bir dikdörtgendeki parlaklıkların toplamı, tablodan bir toplam ve iki fark değerinin alınmasıyla bulunur. Örnek olarak, Şekil 5’de küçük siyaha boyalı alan olarak gösterilen bölgedeki piksellerin toplamını elde etmek için gerekli olan hesaplama:

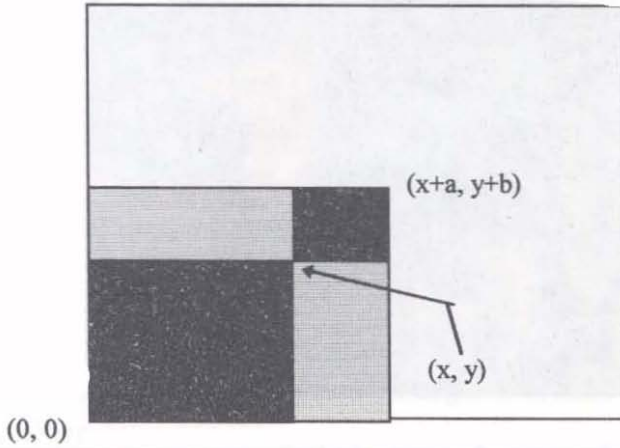
$$T [x+a, y+b] - T (x+a, y) - T [x, y+b] + T [x, y]$$

⁷ F.C.Crow, “Summed-area tables for texture mapping”, Computer Graphics (Proc. SIGGRAPH 84), 18 (3), PP. 207-212, July.



Şekil 4. Renkli MIP-map dokunun kaplanması.

Toplanmış-bölge tablosu kaplanacak pikseli içine alan en küçük dikdörtgendeki ortalama piksel değerini bulmak için kullanılır. Toplanmış-bölge tablosu yaklaşımı genellikle MIP-map'e göre hem yer hem zaman açısından daha pahalıdır, fakat çok daha doğru sonuçlar verir. Çünkü doku sıkıştırmanın simetrik olduğunu kabul eden kare bölge yerine, dikdörtgen bir doku bölgesi kullanılır. Fakat pikselin dışında ama dikdörtgen sınırları içinde kalan dokuyu da hesaba katması gibi olumsuz bir yanı bulunur.



Şekil 5. Tablodan toplanmış-bölgenin hesaplanması.

Glassner aynı yöntemi bu sorunu ortadan kaldırıp, daha doğru sonuçlar almak için geliştirir⁸. Bunu da pikselin dışında kalan dokunun, finaldeki ortalamada söz sahibi olmasını engellemek için, ardışık olarak dikdörtgenin giderek yamuğa yaklaşmasını sağlayarak çözer. Norton, Rochwood ve Skolmoski doku araştırmasının maliyetini azaltmak için bir tür ön-süzgeçleme yapan bir yöntem

⁸ A.Glassner, "Adaptive precision in texture mapping", Computer Graphics (Proc, SIGGRAPH 86), 20 (4), pp. 297-306, August 1986.

kullanırlar⁹. Önce analitik fonksiyonun frekans spektrumunu hesaplayıp daha sonra da yüksek frekans terimlerini kırmak suretiyle fonksiyonu oluştururlar. Çalışmaları dokunun çok fazla yüksek frekans bileşeni içermediği uçuş benzetim (flight simulator) uygulamalarında kullanılır.

Karmaşık bir üç-boyutlu yüzey üzerine iki-boyutlu doku kaplandığında yeterli gerçeklik duygusunun uyandırılması çok zordur. Bunun uyandırılmasının bir yolu üç-boyutlu doku kullanımındır. Fakat üç-boyutlu dokunun depolanması için gereken alan çok fazladır. Bu yüzden üç-boyutlu yansımaları üretmek için *yordamsal dokular* kullanılır. Peachey doku ve renkteki karmaşık üç-boyutlu değişimleri tanımlamak için çok boyutlu yöntemleri kullanır¹⁰. Bu tür dokulamaya da *katı dokulama* (solid texturing) adını verir ve ahşap ya da mermerden oluşmuş nesnelerin benzetimlerini elde etmek için kullanır. Perlin katı dokulamayı, bulut, mermer ve ahşap gibi malzemelerin çok inandırıcı gösterimlerini elde etmek için, son işlem olarak, sentetik görüntülerle birleştirir¹¹. Gardner ise saydamlığın denetimi için doku fonksiyonunu kullanır¹². Bu şekilde yordamsal doku fonksiyonları kullanarak yeterli gerçeklik duygusunu uyandıran görsel bulut etkisini yaratır. Doğrudan modellemenin verimli olmayacağı durumlarda, şekil ayrıntılarını vermek için Cook gerçek yüzeyin ötelendiği, *öteleme*

⁹ A.Norton, "Clamping: a method of antialiasing textured surfaces by band width limiting in object space", Computer Graphics (Proc. SIGGRAPH 82), 16(3), pp. 1-8, July 1982.

¹⁰ D.R.Peachey, "Solid texturing of complex surfaces", Computer Graphics (Proc SIGGRAPH 85), 19 (3), pp.279-286, July 1985.

¹¹ K.Perlin, "An image synthesiser", Computer Graphics (Proc.SIGGRAPH 85), 19 (3), pp. 287-296, July 1985.

¹² G.Y.Gardner, "Visual simulation of clouds", Computer Graphics (Proc. SIGGRAPH 85), 19 (3), pp. 297-303, July 1985.

kaplamasını (displacement mapping) tanıtır¹³. Blinn ise, daha önce sözü edildiği gibi, şekil ayrıntılarını vermek için sadece normal sarsımı (normal perturbation) kullanmıştı. Cook'un genelleştirilmiş gölgeleme ifadesi, her yüzeyin farklı gölgeleme modelini kullanmasına izin verir.

Doku kaplama bilgisayarla üretilmiş görüntülere yeni bir çeşit gerçeklik kazandırır. Bilgisayar tarafından üretilen en gerçekçi ve en etkileyici görüntüler, büyük miktarda görsel ayrıntı ve karmaşıklık içeren - ya da en azından karmaşıklık görünümüne sahip - görüntülerdir. Bu yüzden doku kaplama nesneyi oluşturan geometrik modelde basitliği koruyarak görsel ayrıntı zenginliği ve karmaşıklığı yaratmanın en etkili yoludur.

¹³ R.L.Cook, "Shade trees", Computer Graphics (Proc. SIGGRAPH 84), 18 (3), pp.223-231, July 1984.