

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

GERÇEK ZAMANLI DOLAYLI IŞIKLANDIRMA

METİN ARICA

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
BİLGİSAYAR BİLİMLERİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. SONGÜL ALBAYRAK**

İSTANBUL, 2011

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GERÇEK ZAMANLI DOLAYLI IŞIKLANDIRMA

Metin ARICA tarafından hazırlanan tez çalışması 24.06.2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Songül ALBAYRAK

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. B. Tefvik AKGÜN

Okan Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Songül ALBAYRAK

Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Fatih AMASYALI

Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Gerçekleştirilen çalışmanın konusu, gerçekçiliğin büyük önem kazandığı günümüz 3 boyutlu uygulamalarında kullanılan ışıklandırma yöntemlerine performans ve kalite ölçütleri açısından alternatif oluşturacak bir yöntem geliştirmektir. Bilgisayar grafiği dünyasında oldukça popüler olan bu konu kompleks ışık yansımalarını modelleme üzerine kuruludur. Kompleks ve zor bir konu olmasına karşılık, elde edilen sonuçlar bakımından oldukça keyif veren, merak uyandıran bir konudur.

Tez kapsamında yürütülen çalışmalar, daha öncesinde merak ile başlayan ve hobi olarak devam eden bir çalışmanın devamı niteliğindedir. Ayrıca bu çalışmalar, Cradle Oyun Motoru adı altında geliştirilen, literatürdeki çeşitli teknikleri bünyesinde barındıran çalışmanın önemli bir kısmını oluşturacaktır.

Bu çalışmada bana destek olan eşime ve aileme, vaktini bana ayıran İrfan KAYA'ya ve değerli hocam ve tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Songül ALBAYRAK'a teşekkürlerimi sunuyorum.

Mayıs, 2011

Metin ARICA

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vi
KISALTMA LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT.....	xiii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	7
1.3 Hipotez	7
BÖLÜM 2	8
DOLAYLI IŞIKLANDIRMA.....	8
2.1 Işık.....	8
2.2 Direkt Işıklandırma	9
2.3 Dolaylı Işıklandırma	10
BÖLÜM 3	12
ÖNERİLEN YÖNTEM	12
3.1 Yansıtıcı Yüzeylerinin Bulunması	12
3.2 Işık Yayılım Modeli.....	13

3.3	Eksenlere Göre Düzenlenmiş Yüzeyle	15
3.4	Yayılm Düzlem İzdüşümü Transferi	16
3.5	Transfer İmgelerinin Paketlenmesi	18
3.6	Gölgedeki Piksellerin Aydınlatılması	19
BÖLÜM 4		22
UYGULAMA		22
4.1	Kullanılan Araçlar	22
4.2	Teknik Detaylar	23
BÖLÜM 5		26
GELECEK ÇALIŞMALAR		26
BÖLÜM 6		27
SONUÇ VE ÖNERİLER		27
KAYNAKLAR		32
ÖZGEÇMİŞ		33

SİMGE LİSTESİ

.xyz	(X,Y,Z) şeklinde bir vektör
.xzy	(X,Z,Y) şeklinde bir vektör
.zyx	(Z,Y,X) şeklinde bir vektör
A	Bir imge detay seviyesi
B	Bir imge detay seviyesi
dDist	Pikselin dilime olan uzaklığı

KISALTMA LİSTESİ

BIRSM	Bilinear Interpolated Reflective Shadow Maps
CEL	Cradle Engine Level
GLSL	Graphics Library Shader Language
ISM	Imperfect Shadow Maps
LM	Lightmap
LPV	Light Propagation Volumes
LUMEL	Lumination Element
MRT	Multiple Render Targets
OpenGL	Open Graphics Library
PBR	Point Based Rendering
PRT	Precomputed Radiance Transfer
RSM	Reflective Shadow Maps
SH	Spherical Harmonics
SSAO	Screen Space Ambient Occlusion
SSGI	Screen Space Global Illumination
VPL	Virtual Point Light

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1	LM yönteminin uygulanışı.....2
Şekil 1.2	LM uygulanan sahne 2
Şekil 1.3	PRT uygulanan sahneler.....3
Şekil 1.4	Derinlik, pozisyon, normal, flux imgeleri ve RSM uygulanmış sahne 4
Şekil 1.5	ISM uygulanmış sahneler 5
Şekil 1.6	SSAO uygulanmış sahne 5
Şekil 1.7	SSGI uygulanmış sahneler 6
Şekil 1.8	LPV uygulanmış sahne..... 6
Şekil 2.1	Çevresel ışık etkisi 8
Şekil 2.2	Yayınık ışık etkisi.....9
Şekil 2.3	Aynasal ışık etkisi 9
Şekil 2.4	Direkt ışıklandırma ile aydınlatılan sahne 10
Şekil 2.5	Dolaylı ışıklandırma ile aydınlatılan sahne 10
Şekil 2.6	Işık kanamaları 11
Şekil 3.1	Işık kaynağı bakış açılı sahne derinlik imgesi 13
Şekil 3.2	Işık kaynağı bakış açılı sahne derinlik, renk ve normal imgeleri 13
Şekil 3.3	Yansıma modelleri.....14
Şekil 3.4	Çift doğrusal yukarı örnekleme..... 15
Şekil 3.5	Eksenlere göre düzenlenmeyen dilimler 16
Şekil 3.6	Mipmap imgeleri..... 16
Şekil 3.7	Yayılim modeli..... 17
Şekil 3.8	3 boyutlu imge yapısı 18
Şekil 3.9	İmge paketleri 19
Şekil 3.10	Y yönündeki dilim ve imge koordinatları 20
Şekil 3.11	Dilim aydınlatması yumuşatma..... 21
Şekil 4.1	Pozisyon bilgisinin imge görüntüsü..... 23
Şekil 4.2	Paketlenmiş normal ve paketlenmemiş normal bilgisinin imge görüntüsü 24
Şekil 4.3	Optik ilüzyon durumu 24
Şekil 6.1	Direkt ışıklandırma, RSM ve BIRSM ile aydınlatılmış sahneler 28
Şekil 6.2	Direkt ışıklandırma, RSM ve BIRSM görsellik farkları..... 28
Şekil 6.3	Ayrık yapı hataları 29
Şekil 6.4	RSM ve BIRSM hatalı ışıklandırma durumları 29
Şekil 6.5	Farklı dilim sayısı ile aydınlatılmış sahneler (8 ve 32 dilim) 30
Şekil 6.6	Farklı transfer sayısı ile aydınlatılmış sahneler (4 ve 12 transfer) 30

Şekil 6.7	BIRSM ve 3D Studio Max görsel sonuçları (BIRSM ve 3DSMax)	31
-----------	-----------------------------------------------------------------	----

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 6.1 RSM ile BIRSM karşılaştırması	27

GERÇEK ZAMANLI DOLAYLI IŞIKLANDIRMA

Metin ARICA

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Songül ALBAYRAK

Gerçek zamanlı dolaylı ışıklandırma günümüz 3 boyutlu grafik uygulamalarında kullanılmaya başlanmış popüleritesi yüksek bir tekniktir. Dolaylı ışıklandırma işlem yükü açısından oldukça maliyetli bir işlemdir. Gerçek zamanlı çalışmayı engelleyecek derecede maliyetli bir işlem olduğundan uzun bir süre belli kısıtlar içerisinde uygulanabilmiştir. Dolaylı ışıklandırmayı vazgeçilmez kılan ve kısıtlara rağmen gerçekleştirme çabası, ortama gerçeklik katan en önemli etkilerden biri olduğunun göstergesidir. Temel olarak ortamdaki derinliği, gölge ve ışıklandırma sağlamaktadır. Gölge ve ışıklandırma ne kadar gerçeğe yakın olursa, görseller de o kadar gerçekçi olacaktır.

Gerçekçi gölge ve ışıklandırma; animasyon, çizgi film, simülasyon, oyun vb.. uygulamalarda kullanıldığında, ürün geliştirme süresinin artmasıyla sonuçlanmaktadır. Bazı simülasyonlar ve oyunlar için ayrıca, gerçek zamanlı çalışma problemine de dönüşmektedir. Bu durumda zamandan ve performanstan kazanmak için belli kısıtlar konmuştur. Bu kısıtlar; mekanın değişmemesi, ışık kaynağının değişmemesi vb.. gibidir. Kısıtlar için içine girdiğinde gerçekçilik azalacaktır. Amaçlanan, yaşayan bir ortamın olabildiğince taklit edilmesidir. Ortamda zaman değişiminin olması ve buna bağlı olarak gece-gündüz oluşması, çeşitli hava olaylarının oluşması, olayların rastgeleliği vb.. durumların oluşması beklenmektedir. Benzer şekilde ortamdaki nesnelerin yer değiştirebilmesi ve buna bağlı olarak çeşitli fiziksel olayların oluşması beklenmektedir. Amaçlanandan uzaklaşmadan, mümkün olduğunca az kısıt koyarak uygun bir çözüm oluşturmak gereklidir.

Önerilen yöntemde yakın zamanda kullanılan, gerçek zamanlı dolaylı ışıklandırma tekniklerine alternatif sunulmuştur. Diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında, yöntemin; uygulanabilirliği kolay, kaynak tüketimi az ve performanslı olduğu söylenebilir. Ayrıca geliştirilmeye açık olduğu söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: dolaylı ışıklandırma, gerçek zamanlı çizim

REALTIME INDIRECT LIGHTING

Metin ARICA

Department of Computer Engineering
MSc. Thesis

Advisor: Assist. Prof. Dr. Songül ALBAYRAK

Recent days, realtime indirect lighting becomes popular in 3d graphic applications. Indirect lighting is expensive process for today's hardwares. Also indirect lighting implementations include speed or quality trade-off. For realtime solutions of indirect lighting, it comes with limitations. Although this problematic technique, it can't be ignored because of it's realistic visual results. Light and shadows very important for augmented reality so indirect lighting also very important for 3d graphic applications.

Realistic shadow and lighting in animation, cartoon, simulation, game etc. increases development time. Because of this reason it's very important to work in realtime. To make with happen, developers need indirect lighting with limitations. According to companies aim, they choose the solution with more/less limitations like static scene and static light source. More limitation means, less realistic results. Main goal is imitating the nature and creating a nature-like living environment without limitations.

In suggested solution, we present an alternative technique for realtime indirect lighting. Comparison to other techniques; it is easy to implement, requires low resource dependency and achieves high performance. This technique also has no limits on development. It can be improved in near future.

Key words: indirect lighting, realtime rendering

BÖLÜM 1

GİRİŞ

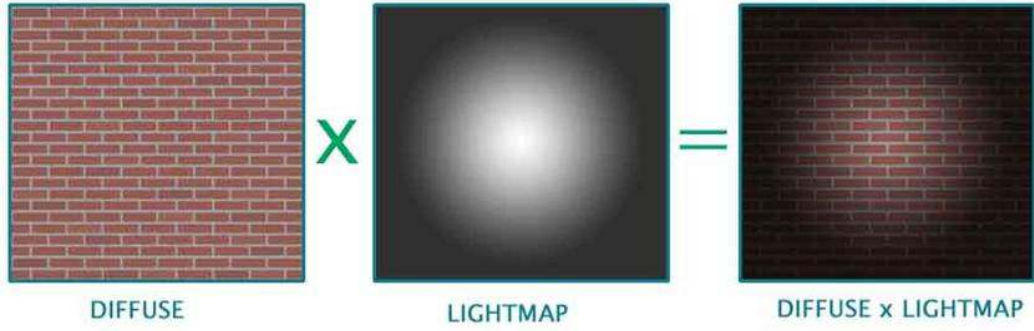
Grafik dünyasında birçok ışıklandırma tekniği mevcuttur. Bu teknikler kalite ve performans kriterlerine göre varyasyon oluşturmaktadırlar. Bütün tekniklerin tek bir hedefi vardır. Gerçekte olması gereken görüntüye mümkün olduğunca benzer sonuçları gerçek zamanlı olarak elde etmektir. Gerçek ışıklandırma uzun süren hesaplamalar sonucunda elde edilebilmektedir. Fakat, gerçek zamanlı çalışma şartı konulduğunda ışıklandırma hesapları basitleştirilmiş, gözün farkedemeyeceği ya da enaz farkedeyeceği detaylara bağlı hesaplamalar gözardı edilmiştir.

Bu bölümde, kalite, performans ve ortam dinamikliği kriterlerine göre farklı ışıklandırma çözümleri sunan teknikler incelenecektir.

1.1 Literatür Özeti

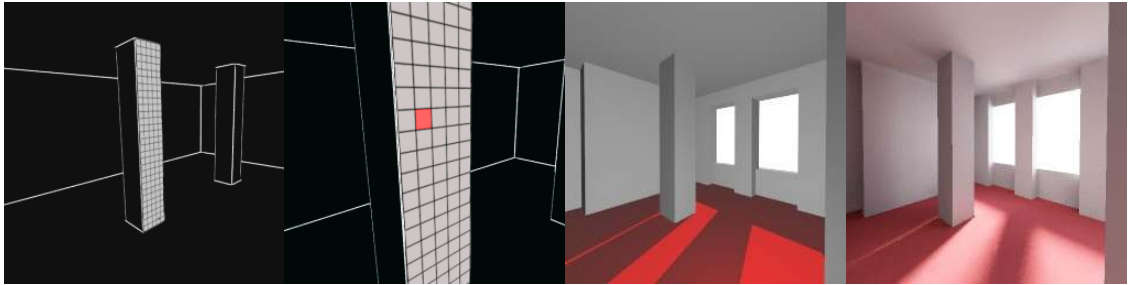
Aydınlanma Haritası (Lightmap-LM): Bilinen en eski yöntemdir. Işık kaynağı ve ortam sabit tutulmuştur. Böylece önceden hesaplanan gölge ve ışıklandırma bilgisi ayrı bir imge olarak modellere giydirilmektedir. Bu imge ile çevredeki ışık kaynaklarının cisim üzerindeki etkisinin sonucunu renk bilgisi olarak saklanır. Aydınlanma haritası imgesinin her bir hücreğine *Lumel* (Lumination Element) adı verilir. Işıklandırma hesabı her lumel için ayrı ayrı yapılır. Hesaplama, ilgili lumelin etraftan ne kadar ışık aldığı üzerinedir. Böylelikle lumel o bölgedeki ışık miktarını temsil eder ve bu bilgiyi tutar. Lumel değeri, nesnenin o lumel üzerindeki kaplama rengiyle çarpılır ve ışıklandırılmış sonuç görüntüsü elde edilir. Aydınlanma haritası uygulama örneği Şekil 1.1'de

gösterilmektedir. Lumel sayısı arttıkça ışık geçişleri daha yumuşak olur ve gerçekçilik artar.



Şekil 1.1 LM yönteminin uygulanışı

Lumel sayısı arttıkça kalite artar, performans azalır. Hem kaliteli hemde yüksek performanslı bir sonuç elde etmek için ortam sanatçıları her nesne için ayrı ayrı detay seviyesi belirler. Bazı grafik motorları bu işlemi üstlense bile bazı durumlarda istenilen sonuçları elde edemeyebilirler.



Şekil 1.2 LM uygulanan sahne

Aydınlanma haritası hesaplama işlemi başta ortam geometrisinin büyüklüğüne, ışık kaynaklarının sayısına, ışık yansımalarının miktarına bağlı olmak üzere birçok başka nedene bağlı olarak günlerce sürebilir. Geometride ya da ışık kaynaklarındaki en ufak değişiklik bütün aydınlanma haritası imge bilgisini değiştirir. Aydınlanma haritası tekniği ile gerçekçi sonuçlar elde edilebilir ancak tamamen sabittir. Gerçek zamanlı çalışma performansı olarak değerlendirildiğinde diğer teknikler içinde en hızlısıdır. Buna rağmen kısıtlayıcı olmasından dolayı güncel uygulamalarında kullanılmamaktadır. Şekil 1.2'de aydınlanma haritası yöntemi uygulanmış sahne örneği gösterilmektedir.

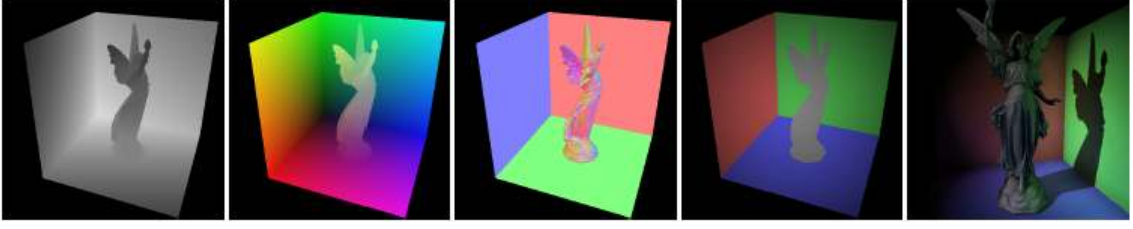
Önceden Hesaplanmış Aydınlanma Aktarımı (Precomputed Radiance Transfer-PRT): [5], [6] Işık kaynağı kısıtını kaldırmak amaçlı geliştirilen bu teknikle, ortam bilgisine çevresel engellenme bilgisi eklenmiştir.



Şekil 1.3 PRT uygulanan sahneler

Bu bilgi yine önceden hesaplamaya bağımlıdır. Böylelikle, ışığın yönü ve şiddeti değiştiğinde bu bilgi kullanılarak kolaylıkla güncelleme yapılabilir. Bölgesel ışık tanımı geometriye bağımlı yapıldığı için önceden hesaplama gerektirir ve gerçek zamanlı olarak güncellenmesi mümkün değildir. Şekil 1.3’de önceden hesaplanmış aydınlanma aktarımı yönteminin uygulandığı sahneler gösterilmektedir.

Yansıyan Gölge Haritası (Reflective Shadow Maps-RSM): [1] Bu teknik gölge haritası tekniğinin genişletilmiş halidir. Gölge haritası tekniğinde ışık kaynağının bakış açısından alınan derinlik bilgisi saklanırken, yansıyan gölge haritası yönteminde buna ek olarak normal bilgisi, pozisyon bilgisi ve flux bilgisi saklanır. Ek olarak kullanılan bilgiler, ışığın ilgili yüzey üzerinden tekrar yansıması sırasında kullanılır. Normal bilgisi yüzeyin yönünü, pozisyon bilgisi yüzeyin pozisyonunu, flux bilgisi yansıyan ışığın parlaklığını ve rengini belirlememize yarar. Işık kaynağı bakış açısından alınan bilgiler sadece ışık gören yüzeyleri verir. Bu yüzeyler, dolaylı ışıklandırma işlemi için gerekli ve yeterlidir. Yüzeyler, ışık bakış açısından çizim (render) alınarak piksel haritası olarak bellekte tutulur. Düşük maliyetli, dinamik olarak elde edilebilir olması tekniğin kolayca uygulanabilir ve bellek tüketimi yapmadığını göstermektedir. Şekil 1.4’de yansıyan gölge haritası yönteminin kullandığı imgeler ve yöntemin uygulandığı örnek sahne gösterilmektedir.



Şekil 1.4 Derinlik, pozisyon, normal, flux imgeleri ve RSM uygulanmış sahne

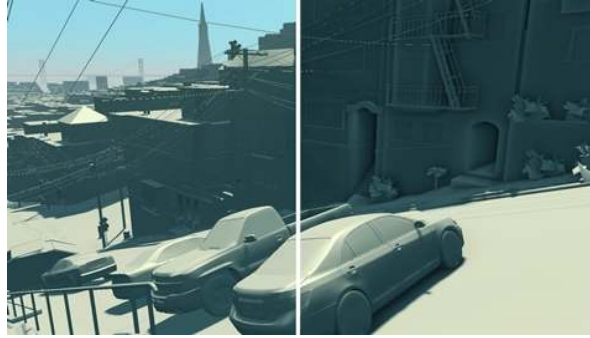
Piksel haritalarındaki her bir piksel, ışık kaynağı gibi davranarak ait olduğu yüzeyin materyal bilgisine bağlı olarak belirli renkte ve şiddette etrafını aydınlatır. Aydınlatma işlemi engellenme durumunu dikkate almaz. Engellenme işlemi yansıyan gölge haritasında ele alınmayan bir problem olarak not edilmiştir. Böylece, engellenme problemi gözardı edilerek, kabul edilebilir hata ile dolaylı ışıklandırma gerçek zamanlı olarak sağlanabilmiştir. Yansıyan gölge haritası yöntemi ile sadece birincil yansımali dolaylı ışıklandırma gerçekleştirilmiş olup, daha sonra geliştirilen yöntemler için temel fikir oluşturmuştur.

Kusurlu Gölge Haritası (Imperfect Shadow Maps-ISM): [2] Temel olarak yansıyan gölge haritası yöntemi ile oluşturulan 2 boyutlu birincil yansıma yüzeyleri kullanılır. Yansıyan gölge haritasında olduğu gibi amaç bu yüzeyleri sanal ışık kaynağı (Virtual Point Light-VPL) olarak kullanmaktır. Belli sayıda sanal ışık kaynağı belirlenerek, asıl ışık kaynağı gibi çizim alınarak etkilediği bölgeler bulunur. Çizim almak maliyetli bir işlemdir ve normalde sanal ışık kaynağı başına çizim almak gerçek zamanlı çalışmayı imkânsız hale getirir. Dolaylı ışıklandırma diffuse olarak etkilediği düşünülduğünde minimal düzeyde çizim alınabilir. Nokta tabanlı çizim (Point Based Rendering-PBR) [3] yöntemi ile minimal düzeyde çizim alınır. Bu durumda performans kaybı kabul edilebilir seviyededir. Yine de gerçek zamanlı uygulamalarda tercih edilecek kadar performanslı çalışmaz. Buna karşılık, diğer yöntemlere göre çok daha gerçekçi sonuçlar elde edilebilir. İkincil yansımalarda oluşan engellenmeleri de hesaplayabilmesi ile diğer yöntemlerden ayrılır. Şekil 1.5'de kusurlu gölge haritası yönteminin uygulandığı sahneler gösterilmektedir.



Şekil 1.5 ISM uygulanmış sahneler

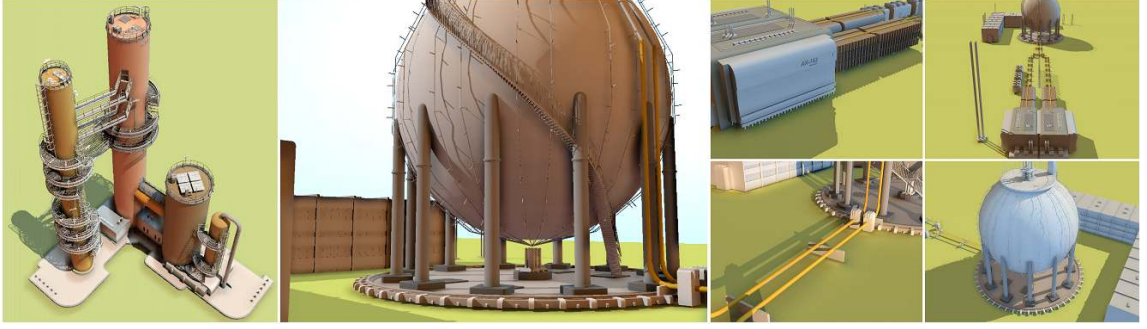
Ekran Uzayında Çevresel Engellenme (Screen Space Ambient Occlusion-SSAO): [9] Aslen ışıklandırma tekniği değildir fakat ışık almayan bölgeleri bulan bir yöntem olduğundan çevresel ışıklandırmaya yardımcı etkisi olduğu söylenebilir. Bu bakımdan dolaylı ışıklandırmaya göre ters mantıkta çalışır. Kapalı hava ortamlarında kullanıldığında daha iyi sonuçlar verir. Şekil 1.6'da ekran uzayında çevresel engellenme yönteminin uygulandığı örnek sahne gösterilmektedir.



Şekil 1.6 SSAO uygulanmış sahne

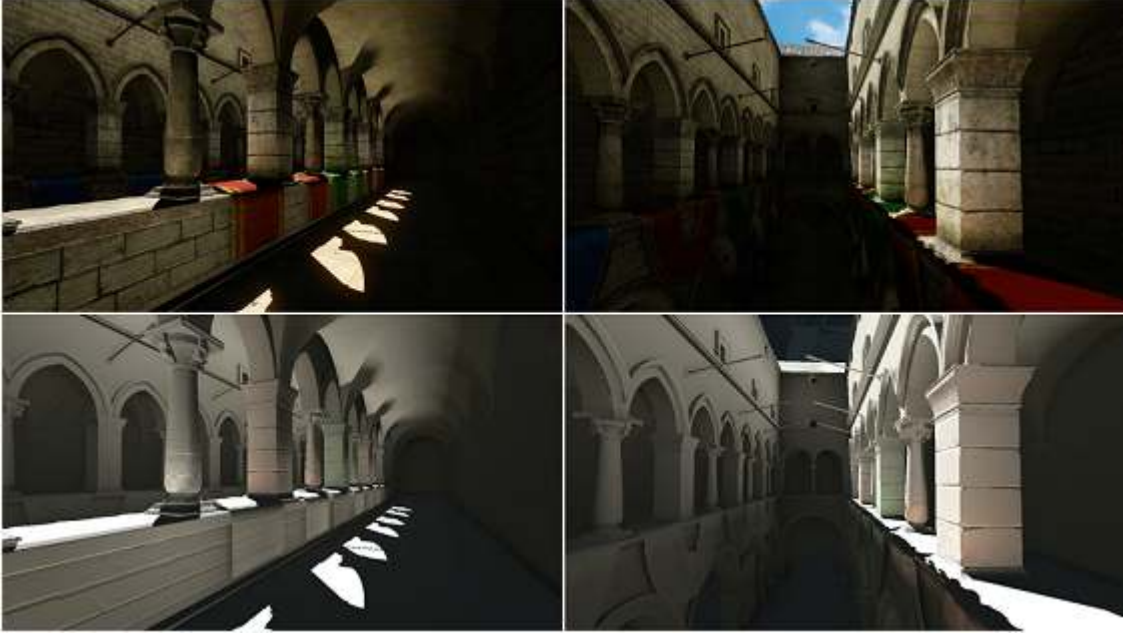
Kamera uzayında derinlik bilgisi ile çalışan bir tekniktir. Derinlik bilgisi ile çevresel engellenmeyi belli bir hata payı ile hesaplar. Sadece engellenmeye bağlı olarak oluşan çevresel gölgelenmeyi hesaplar. Gölgelenme, gri seviyesinde olduğundan renk aktarımı oluşmaz. Daha çok kapalı havalarda, direkt ışık kaynağının olmadığı durumlarda kullanılabilir. Diğer ışıklandırma teknikleriyle kombine olarak kullanılabilir.

Ekran Uzayında Global Aydınlanma (Screen Space Global Illumination-SSGI): [4] Ekran uzayında çevresel engellenme tekniğinin geliştirilmiş şeklidir. Bu tekniğine ek olarak ışık yansımaları hesabı eklenmiştir. Kamera uzayında çalıştığı için hata payı ile sonuçlar üretir. Kamera görüntüsünden çıkan bölgelerin hesaplama katılmaması tekniğin en büyük eksikliğidir.



Şekil 1.7 SSGI uygulanmış sahneler

Aydınlanma Karar Hacimleri(Light Propagation Volumes-LPV): [8] Sanal ışık kaynaklarının pikselleri aydınlatması tek tek olmasındansa, kümelenmiş ışık demetleri ile aydınlatılması yöntemin temel mantığıdır. Şekil 1.8’de aydınlanma karar hacimleri yönteminin uygulandığı sahneler gösterilmektedir.



Şekil 1.8 LPV uygulanmış sahne

Yansıyan gölge haritalarındaki gibi elde edilen sanal ışık kaynakları, uzayı belli sayıda hacimlerle ifade eden ayrık yapıdaki voksellere enjekte edilir. Her vokselde, voksele ait bölgedeki sanal ışık kaynaklarının değeri ışığın yönlü dağılımını kullanılarak saklanır. Bunun için küresel harmonikler(Spherical Harmonics) [7] kullanılır. Bu değer her voksel için hesaplanır. Böylece her bir voksel, yönlü ve hacimsel ışık demetleri bilgisini barındırır. Işık yayılımının sabit bir uzunluğu yoktur. Bu yüzden voksel sayısına bağlı

olarak, yayılım miktarı birden fazla voksel uzunluğunda olabilir. Bu etkiyi oluşturabilmek için, her bir voksel, çevre vokseller ile etkileşime geçer. Etkileşim, yayılım yönünde şiddetin azaldığı bir ışık transferi şeklindedir. Ortam büyüklüğüne ve voksel sayısına bağlı olarak belli bir iterasyon sonucu vokseller arası ışık transferi gerçekleştirilir. Yayılım iterasyonundan sonra vokseller, kendinelerine en yakın piksellere etki edecek şekilde aydınlatma işlemi yapılır. Ayrık yapısından kaynaklanan görsel hatalar oluşabilmektedir.

1.2 Tezin Amacı

Grafik dünyasında önemli bir yeri olan ışıklandırmanın, gerçekçi görseller oluşturmak için olmazsa olmaz olduğu bilinen bir gerçektir. Işığın davranışı kompleks olmadığı halde çok sayıda ışının ortak sonucu olarak ortaya çıkan ışıklandırma etkisi, 3 boyutlu grafik uygulamalarında performans problemine sebep olmaktadır. Bu yüzden dolaylı ışıklandırma konusu, gerçek zamanlı çalışabilecek bir modellemeye ihtiyaç duymuştur. Bu tez kapsamında, gerçek zamanlı dolaylı ışıklandırma problemine bir çözüm önerilmiştir.

1.3 Hipotez

Diffuse yansıma modelinde bir yüzeye gelen ışık her yönde dağılarak yansır. Bu yansıma şekli noktasal ışık kaynağı ile temsil edilebilir. Noktasal ışık kaynağının belli bir mesafedeki düzlemi aydınlatma şeklini düşündüğümüzde, merkezden kenarlara doğru renk etkisi azalan bir daire şeklinde olduğu görülür. Bu şekil ortalama filtresinin etkisinin sonucuna benzetilebilir ve bu filtreye benzer şekilde çift doğrusal yukarı örnekleme (bilinear upsampling) sonucu olarak elde edilebilir. Bu sayede uygun şekilde düzenlenen yansıma yüzeyleri, mipmap yöntemi ile ışık saçan yüzeylerin düzlem üzerindeki etkileri elde edilebilir ve düzlemler arası transfer edilerek dolaylı olarak ışıklandırılacak bölgelere ulaştırılabilir. Böylece dolaylı ışıklandırma kısmen gerçekleştirilmiş olur.

DOLAYLI IŞIKLANDIRMA

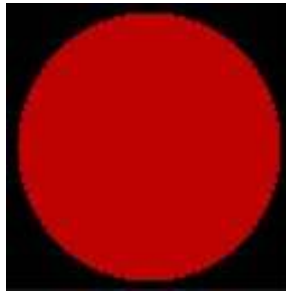
2.1 Işık

Işık, bazen dalga bazen de parçacık davranışı gösteren bir tür enerjidir. Bilgisayar grafiğinde ise ışık, doğrusal hareket eden parçacık olarak ele alınır [10].

İnsan gözü çevredeki nesnelere ile fiziksel veya kimyasal bir bağ içerisinde değildir. Sadece ışık kaynağından gelen ve nesnelere yansıyan ışığı soğurabilen bir organdır.

Işığın modellenmesi komplekstir ve hesaplaması maliyetlidir. Bilgisayar grafiğinde ışık, yaklaşık tahminlerle basite indirgenmiş olarak modellenmiştir. İndirgenmiş model ile gerçek model arasındaki farkı insan gözünün farkedememektedir. İndirgenmiş model ışığı 3 farklı bileşen olarak tanımlar. Modeller ayrı ayrı hesaplanıp bir araya getirildiğinde gerçekçi bir ışıklandırma elde edilmiş olur.

Çevresel (Ambient) Işık: Belli bir alanda yansıyan ışıkların ortalamasını ifade eden bileşendir. Simsiyah gölgelerin oluşmaması için kullanılır.



Şekil 2.1 Çevresel ışık etkisi

Yayınık (Diffuse) Işık: Işık kaynağından çıkan ışığın, cisim yüzeyine çarpıp dağılan ışığı ifade eden bileşendir. Cismin yüzey açısıyla ile ışığın geliş açısı, aydınlanmanın miktarı ile doğru orantılıdır. Mat yüzeylerin üzerinde görülebilir.



Şekil 2.2 Yayınık ışık etkisi

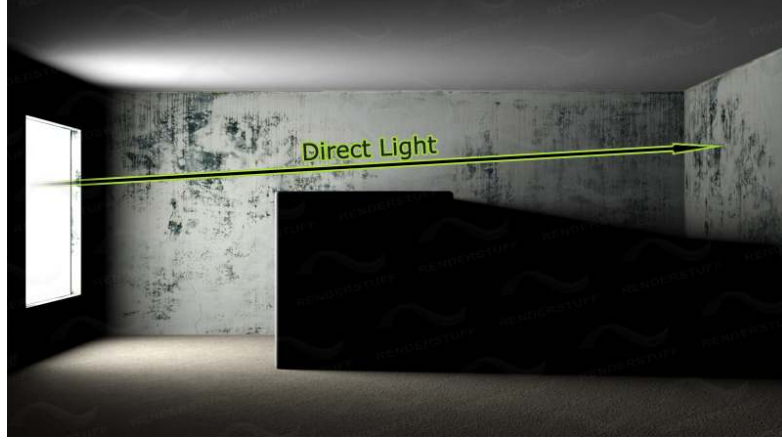
Aynasal (Specular) Işık: Işık kaynağından çıkan ışığın, cisim yüzeyine çarpıp göze gelen ışığı ifade eden bileşendir. Parlak yüzeylerin üzerinde görülebilir.



Şekil 2.3 Aynasal ışık etkisi

2.2 Direkt Işıklandırma

Işık, ışık kaynağından çıktıktan sonra sadece 1 yüzeye çarparak göze ulaştığı durumdur. Gözlenebilen yüzeyler dışında kalan yüzeyler ise hiç ışık yansıtmadığı için karanlık kalır. Karanlık yüzeyler gerçek dışı bir şekilde tam siyahtır ve hiçbir renk yansıtmaazlar. Doğada böyle bir durum ile karşılaşmak imkânsızdır. En eski grafik uygulamalarından, günümüze kadar karanlık yüzey problemi, önceden tanımlanmış çevresel ışık (sabit bir renk değeri) ile çözülmüştür. Çevresel ışık, çevre koşullarına özeldir ve dolaylı ışıklandırma hissi verir. Şekil 2.4'de direkt ışıklandırma ile aydınlatılan sahne gösterilmektedir.

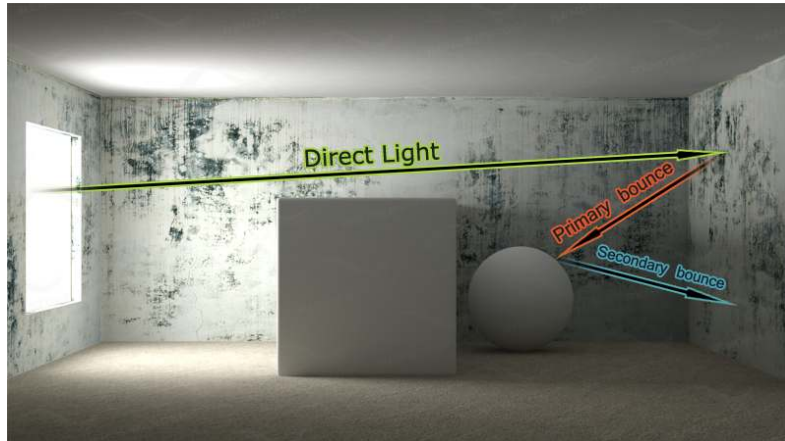


Şekil 2.4 Direkt ışıklandırma ile aydınlatılan sahne

Direkt ışıklandırmada temel olarak, ışığın 3 bileşeni kullanılır. Her 3 bileşen de ışık kaynağına direkt olarak bağlıdır. Işık kaynağından gelen ışığın, cismin yüzeyinden yansıyıp yansımadığına bakılır. Bir yüzeyden yansıyan ışıkların, bir başka yüzeyden yansıması durumu gözardı edilmiştir. Fakat gerçekçi görüntülerin oluşması için birden fazla yansımanın hesaplanması gerekmektedir.

2.3 Dolaylı Işıklandırma

Doğada ışık soğurulana kadar çeşitli yüzeylerden yansır, çeşitli ortamlarda kırılır. Soğurulana dek yansıyan ve kırılan ışık, üzerinden geçtiği yüzeylere ait etkileri kümülatif olarak taşır. Defalarca yansıyan ışık ışınları gölgelerin farklı tonlarda ve farklı renklerde görülebilmesini sağlar. Ambient ışık ile aydınlanan gölgeli yüzeyler (direkt olarak ışık kaynağını görmeyen yüzeyler) dolaylı ışıklandırma ile aydınlatıldığında daha doğal ve gerçekçi görüntüler oluşur.



Şekil 2.5 Dolaylı ışıklandırma ile aydınlatılan sahne

Şekil 2.5’de tonlamaların etkisi açıkça görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi siyah renkte olan tam gölgeler ışık yansımaları sonucu aydınlanmıştır. Yüzeğe ulaşan ışık miktarıyla doğru orantılı olarak çok ışık alan yüzey daha çok aydınlık, az ışık alan yüzey ise daha az aydınlık hale gelmiştir. Örneğin; küre şeklindeki cismin yere temas eden kısmı az ışık alarak az aydınlanmıştır, ışığın odaya girdiği taraftaki duvar küp şeklindeki cisim ve tavandan yansıyan ışıklar sonucunda çok ışık alarak çok aydınlanmıştır.



Şekil 2.6 Işık kanamaları

Şekil 2.6’da renklemenin etkisi açıkça görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi tonlamalara ek olarak ışığın yansıdığı yüzeyin renk bilgisini taşımış ve aydınlattığı yüzeyleri bu renge boyamıştır. Bu etki, literatürde renk kanaması (Color Bleeding) olarak geçmektedir.

Işığın dolaylı aydınlatma etkisi, yansıtan yüzeylere bağlıdır. Yansıtan yüzey, yayınlık ve aynasal ışık yayabilir. Bu tez çalışmasında sadece yayınlık ışık yansımaları dikkate alınmıştır.

ÖNERİLEN YÖNTEM

Çift Doğrusal Aradeğerlemeli Yansıyan Gölge Haritası (Bilinear Interpolated Reflective Shadow Maps-BIRSM) gerçek zamalı dolaylı ışıklandırmada performans problemine alternatif çözüm olarak geliştirilmiştir. RSM yöntemindeki yansıma yüzeyleri fikrinden esinlenilerek geliştirilmiştir. BIRSM yönteminin temel adımları başlıklar halinde detaylı olarak anlatılmaktadır.

3.1 Yansıtan Yüzeylerinin Bulunması

Dolaylı ışıklandırmayı sağlayan, ışık kaynağı gibi davranan yüzeylerdir. Bu yüzeyler ışık kaynağının bakış açısından sahnenin çizdirilmesi ile elde edilir. Işık kaynağından alınan sahne görüntüsü, ışığın gördüğü bütün yüzeyleri içerdiğinden dolaylı ışıklandırma için gerekli bilgiyi sağlar. Işığın görmediği hiçbir yüzey dolaylı ışıklandırmaya etki etmemektedir. Bu görüntü aslında standart gölge haritası gölgelendirme tekniğinin kullandığı derinlik bilgisidir. Her bir pikselin ışık kaynağına olan uzaklığını gri değeri olarak tutan derinlik bilgisi imgede tutulur. Şekil 3.1'de derinlik imgesi örneği gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Işık kaynağı bakış açılı sahne derinlik imgesi

Gölge haritası, günümüz grafik uygulamalarının olmazsa olmaz gölgelendirme tekniği olduğundan, yüzeylerin bulunması işlemi sisteme ek yük getirmediği düşünülebilir. Gölge haritası tekniğinde ihtiyaç duyulan ışık bakış açısıyla elde edilen sahne görüntüsü sadece derinlik bilgisini tutar. Dolaylı ışıklandırma için bu bilgi yeterli olmadığından, çoklu çizim hedefleri (Multiple Render Targets-MRT) kullanılarak yüzey rengi, yansıtma miktarı, normal bilgisi ve pozisyon bilgisi elde edilir. Şekil 3.2’de örnek derinlik, renk ve normal bilgisi içeren ışık bakış açılı sahne görüntüleri görülmektedir.



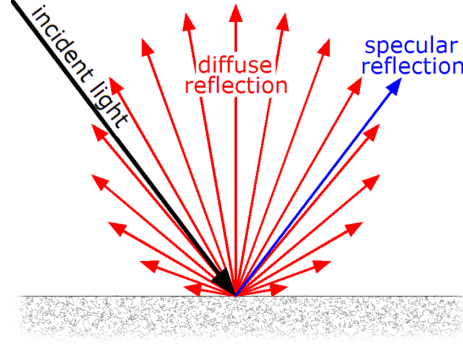
Şekil 3.2 Işık kaynağı bakış açılı sahne derinlik, renk ve normal imgeleri

Ek yüzey bilgilerinin elde edilmesi işlemi, çoklu çizim hedefleri sayesinde sisteme ek bir yük getirmeden elde edilmiş olur.

3.2 Işık Yayılım Modeli

Yayınık yansıma modeline göre, ışık mat bir yüzeye çarptığı zaman düzgün bir yansıma gerçekleştirmez. Her yönde saçılım yaparak yansır. Şekil 3.3’de yayınık ve aynasal yansımaları görülmektedir.

Yayınık yansıma modeline göre, yansıtan yüzeyin noktasal ışık kaynağı gibi davrandığı düşünülebilir. Yansıyan gölge haritası tekniğinde olduğu gibi çok sayıda sanal noktasal ışık kaynağı kullanılarak dolaylı ışıklandırma gerçekleştirilebilir.



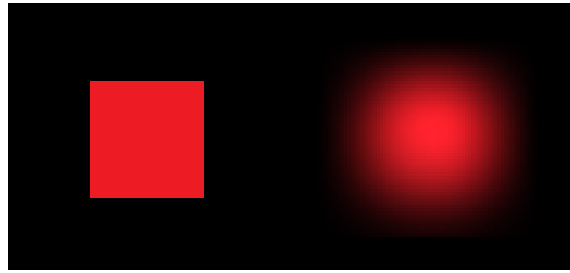
Şekil 3.3 Yansıma modelleri

Yayınık yansımalar, ışığın geliş açısına bağlı değildir. Yayınık yansımalarda önemli olan kriterler; ışığın şiddeti, ışığın rengi, yüzeyin yansıtma katsayısı ve yüzeyin rengidir. Yüzeyden yansıyan ışıkların rengi ve etkisi bu kriterlere bağlıdır.

Yüzeyler noktasal ışık kaynağı gibi davrandığı için yansıma yüzeylerini oluşturan piksellerin herbiri sanal noktasal ışık kaynağı olarak düşünülebilir. Grafik uygulamalarının çözünürlüklerine baktığımızda piksel miktarının 700 bin ile 2 milyon arasında değiştiği görülmektedir. Bu kadar çok sayıda noktasal ışık kaynağını hesaba katmak oldukça maliyetlidir ve gerçek zamanlı görseller oluşturmak imkânsızdır. Örneğin; yansıyan gölge haritası yönteminde 400 adet sanal noktasal ışık kaynağı kullanılmış ve tatmin edici görüntüler elde edilmiştir. 400 sayısı ile tüm piksel sayısını kıyasladığımızda indirgeme oranının 1000 kattan daha fazla olduğu görülmektedir. İndirgemeye rağmen günümüz grafik uygulamalarında tercih edilmeyecek kadar maliyetlidir.

Tez çalışmasında önerilen çözümde, noktasal ışık kaynakları bölgesel olarak ele alınmıştır. Bir grup sanal noktasal ışık kaynağını temsil eden bir bölge tayin edilebildiğinde ve bu bölge için basit ışıklandırma hesabı yapılabildiğinde performans artışı sağlanabileceği düşünülmüştür. Şekil 3.4'de ışık alan karesel bir bölgenin nasıl bir yansıma dağılımı göstermesi gerektiği görülmektedir.

Noktasal bir ışık kaynağının bir düzlemi aydınlattığı durumda, merkezden uzaklaştıkça azalan açıya bağlı olarak aydınlanma etkisi de azalır. Aynı etki ortalama filtresi vb. filtreler ile elde edilebilmektedir. Böylece noktasal veya bölgesel ışık kaynağını etkisini düzlem izdüşümü olarak ifade edilebilmektedir. Elde edilen yayılım düzlem izdüşümü modelleri ışığın mesafesine bağlıdır. Mesafe arttıkça etki alanı genişler ve etki şiddeti azalır. Noktasal veya bölgesel ışık kaynaklarına belli mesafelerde tanımlanan düzlemler için aydınlanma etkisi bu şekilde hesaplanabilir hale gelmiştir.



Şekil 3.4 Çift doğrusal yukarı örnekleme

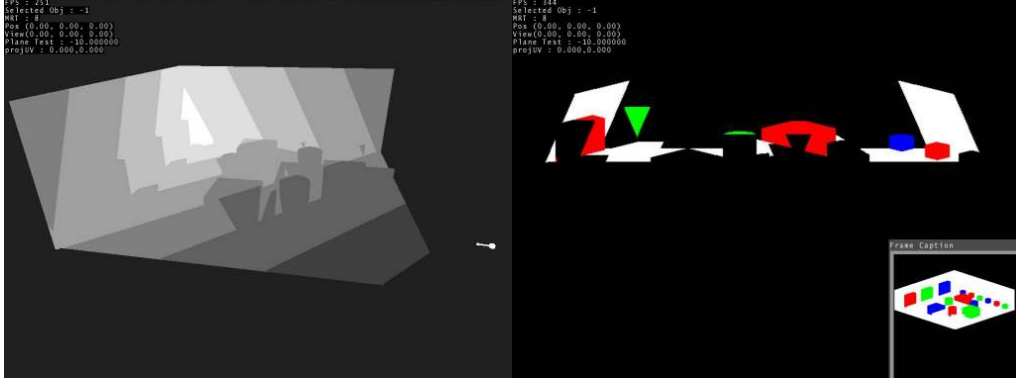
3.3 Eksenlere Göre Düzenlenmiş Yüzeyler

Yansıma yüzeylerini bölgesel ışık kaynağı olarak kullanmak ve yansıma etkilerini düzlem izdüşümü olarak ifade edebilmek için eksenlere göre düzenlemek gereklidir. Sahnenin ışık kaynağı tarafından aydınlanan yüzeyleri X, Y ve Z eksenlerine göre ayrı ayrı dilimlenir. Her dilimde, o dilimin içinde bulunan ve normal vektörü dilimin normali ile aynı yönde olan pikseller bulunmalıdır. Böylece aynı yöne ışık yansıtan pikseller ayrılarak bölge davranışı gösterebilirler.

Dilimleme mantığına dayanan bu yöntemde ayrık bir yapı söz konusudur. Dilimler sahneyi öretecek şekilde ölçekleme yapılır. Dilim sayısı ve sahne büyüklüğü birbirine uygun olmalıdır. Yeterli sayıda dilim olmadığında ani ışıklandırma değişimlerine neden olur. Fazla dilim olduğunda ise performans düşer.

Yüzeyler eksenlere göre düzenlenmediği durumda bölgesel ışık kaynakları, ışık kaynağının hareketiyle büyük değişimler gösterebilir. Bu değişimler, ayrık yapıya bağlı olarak sahnede ani ışıklandırma değişimlerine neden olur ve görselliği olumsuz yönde etkiler. Bu duruma sebep olan, dilimlerin ışık kaynağı uzayında oluşturulmasıdır. Işığın sahneye olan uzaklığı ve açısı değiştiğinde dilimler tekrar yapılandırılır. Bir önceki dilim

yapılandırmasından farklı olarak farklı yansıma bölgeleri oluştururlar. Şekil 3.5'te eksenlere göre düzenlenmemiş dilimler gösterilmektedir.

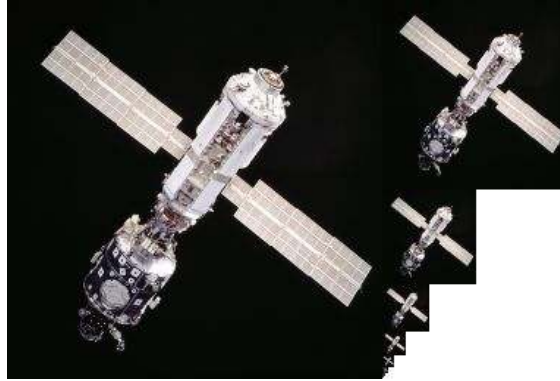


Şekil 3.5 Eksenlere göre düzenlenmemiş dilimler

Yüzeyler eksenlere göre düzenlendiğinde dilimler sahneyi örter ve yerleri sabittir. Işık kaynağının uzaklığı ve yönü dilimleri etkilemez. Sahnede ani ışıklandırma değişimleri oluşmaz.

3.4 Yayılım Düzlem İzdüşümü Transferi

Düzenlenmiş yüzeylerin oluşturduğu yansıma bölgelerinin ışık yayılımı yapabilmeleri için mipmap yöntemi kullanılmıştır. Şekil 3.6'da örnek mipmap imgeleri gösterilmektedir.

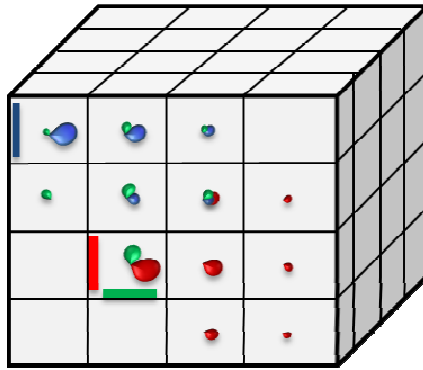


Şekil 3.6 Mipmap imgeleri

Mipmap yöntemiyle her dilimin 8 adet mipmap imgesi oluşturulur. Bu imgelerden ilki, başlangıçtaki dilim imgesiyle aynı olan 0. seviye imgesidir. Her imge, kendisinden önceki imgenin çeyreği büyüklüğündedir ve kendisinden önceki imgeden daha az detay içerir. 7. seviye imge en ufak ve en az detay içeren imgedir. Çift doğrusal yukarı

örnekleme ile imgeler orijinal boyutlarına büyütüldüklerinde, detay miktarı ile ters orantılı bir biçimde yayılım etkisi gösterirler. Böylece mipmap seviyeleriyle, yansıma bölgelerinin etki ettiği mesafeler ilişkilendirilebilir. Gölgedeki bir piksel ile o pikseli aydınlatacak uzaklıkta bulunan bir yansıma bölgesinin ne derece etki edeceği belirlenebilir.

Sahne dolaylı ışıklandırma etkisini oluşturmak için, dilimler arası yayılım düzlem izdüşümü transferi yapılır. Örnek sahnede toplam 32 dilim kullanılmıştır ve dilimler arası yayılım izdüşümü transferi 12 dilim boyunca uygulanmıştır. Yayılımın başladığı dilimden en uzaktaki dilime kadar etki azalır ve yayılımın genişliği artar. Şekil 3.7’de örnek yayılım modeli görülmektedir.



Şekil 3.7 Yayılım modeli

Yayılım düzlem izdüşümü transfer imgeleri, dilimlerin 2 farklı mipmap seviyesi imgeleri ile aradeğerleme yapılarak elde edilir. Böylece yayılımın istenilen miktarda genişlemesi ve genişleme sırasında yumuşak geçişlerin oluşması sağlanmıştır.

Bir dilimden yayılan ışığın t mesafesindeki etki miktarı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\text{YayılımMiktarı} = \text{ImgeLod}(A) * t + \text{ImgeLod}(B) * (1-t) \quad (3.1)$$

Bir dilime etki eden ışığın toplamı o dilimi etkileyen 12 dilim ile hesaplanmıştır.

$$\text{ToplamTransfer} = \sum \text{YayılımMiktarı}(i) \quad (3.2)$$

Mipmap seviye imge seçimleri, orijinal dilim boyutlarına bağlıdır. Mipmap seviye imge boyutu 32x32 piksele ulaşmadıkça, yayılım etkisi oluşturamaz. Orijinal dilim boyutları ne olursa olsun, seçilecek mipmap seviyesi 32x32 pikselden büyük olmamalıdır.

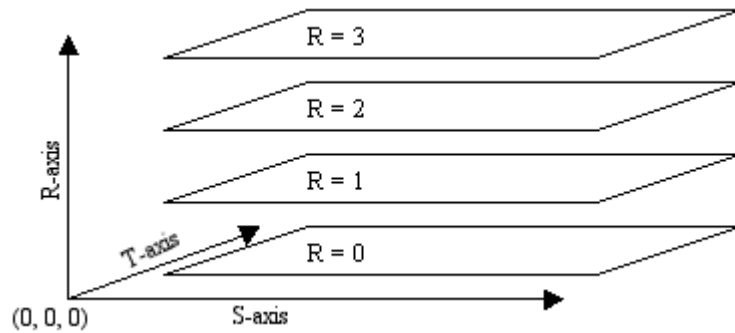
İstenilen genişlikte yayılım 32x32, 16x16, 8x8, 4x4 gibi mipmap imge büyüklükleriyle elde edilebilmektedir.

3.5 Transfer İmgelerinin Paketlenmesi

Yayılım düzlem izdüşümü transfer imgeleri X, Y ve Z yönünde 32 adet ve toplamda 96 adet olması, imgelerin direkt olarak kullanılmasına imkân sağlayamaz. Gölge piksellerin aydınlatılması işleminin tek çağrı (pass) olarak uygulanabilmesi için birtakım bilgilere ihtiyaç duyulur. Bu bilgiler MRT yardımı ile imgelere kaydedilir. Gerekli bilgiler şunlardır:

- Kamera bakış açılı sahne pozisyonları, normaleri, sahne yüzeyleri, gölge maskesi vb.
- Işık bakış açılı sahne pozisyonları, normaleri, koordinatları vb.

Bu imgeler ile 96 adet yayılım düzlem izdüşümü transfer imgeleri tek çağrı olarak işlenebilmesi için paketlenmesi gereklidir. Çünkü ekran kartının tek çağrıda 8 adet imgeyi işleyebilmektedir. Bunun için 3 boyutlu imge kullanılmıştır.



Şekil 3.8 3 boyutlu imge yapısı

Şekil 3.8'de görüldüğü gibi, 3 boyutlu imgeler imge dizisine benzetilebilir. 3 boyutlu imgelerde bir piksele erişim en, boy ve derinlik olmak üzere 3 adet koordinat değeri ile gerçekleştirilir.

Ekran kartı ayrıca aynı çağrı içerisinde 8 adet imge yazabilir. 8 imgeye 96 imge bilgisini yazabilmek için her imgeye 16 imge yerleştirilmiştir. Bu detay kaybına neden olsa bile, problemin çözümüne engel teşkil etmemektedir.

Şekil 3.9'da görüldüğü gibi X, Y ve Z dilimlerinden 4'er tane imge tek bir imge içine yazılır. Bu işlem shader içinde bölgeleri sınırlayan koordinatlar kontrol edilerek yapılır. Çünkü shader sıralı erişim ile pikselleri doldurur. Tıpkı iç içe 2 adet for döngüsü ile bir imgenin yazılması gibidir. Sıradaki pikselin hangi bölgede olduğu kontrol edilir ve bölgeye ait imgeden piksel değeri okunur. Sıralı yazma kısıtlaması bu şekilde aşılabilmektedir.

Y ₂		Y ₄	
X ₂	Z ₂	X ₄	Z ₄
Y ₁		Y ₃	
X ₁	Z ₁	X ₃	Z ₃

Şekil 3.9 İmge paketleri

Yayılm düzlem izdüşümü transfer imgeleri de 3 boyutlu tek bir imge haline getirilerek paketlenir. Böylece 8 imge sınırı aşılmamış olur ve dolaylı ışıklandırma hesabı tek çağrı olarak yapılabilir hale gelmiş olur.

3.6 Gölgedeki Piksellerin Aydınlatılması

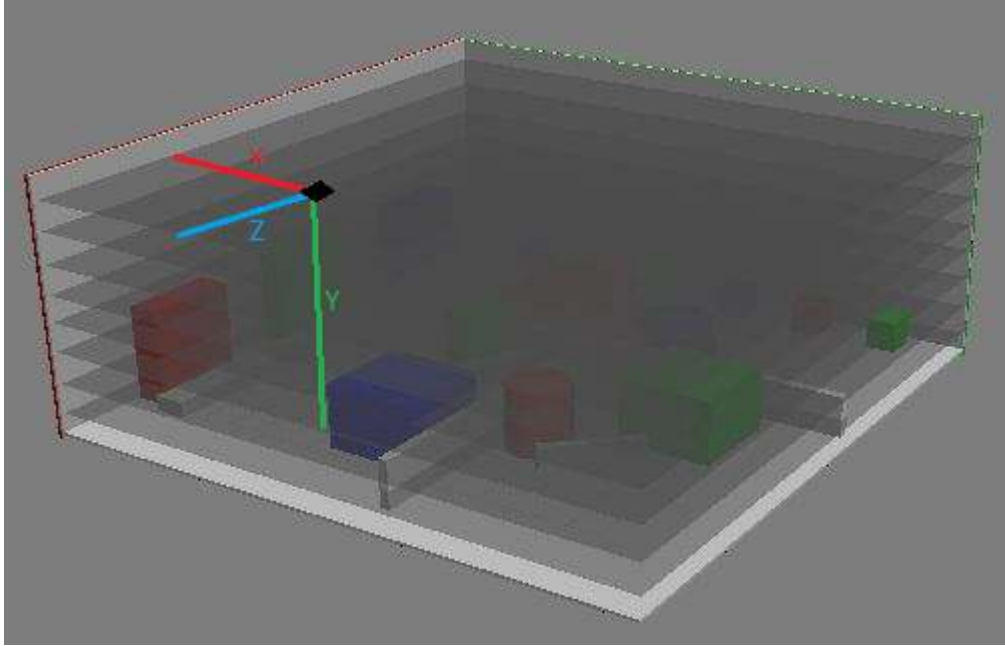
Yayılm düzlem izdüşümü transferleri yapıldıktan sonra sahne ikinci kez ışıklandırma için hazır hale gelmiştir. İlk ışıklandırma, sahnenin direkt ışıklandırılması işlemidir. Sahnedeki ışığın gördüğü pikseller ışıklandırılmış, ışığın görmediği pikseller ise gölge olarak işaretlenmiştir. Işığın gördüğü pikselleri ayrıca "Yansıtan Yüzeylerin Bulunması" başlığı altında anlatıldığı gibi dolaylı ışıklandırma hesabı için kullanılmıştır.

Dolaylı ışıklandırmayı sadece gölge piksellerine uygulanır. Bunun sebebi, direkt ışıklandırma ile aydınlatılan yüzeyler daha güçlü ışık yansıtır ve dolaylı ışıklandırma ile aydınlatılan yüzeyler daha zayıf ışık yansıtır. İnsan gözü baskın olan ışık yansımalarını gördüğü için direkt ışıklandırma ile aydınlatılan yüzeylere dolaylı ışıklandırma uygulanmaz.

Gölge pikselleri, kamera bakış açısı ile çizdirilen sahnede bulunur. Bu imgede gölge pikselleri, sahne kamera bakış açısı ile çizdirilirken işaretlenir ve maske olarak bir imgenin kanalında saklanır. Böylece, dolaylı ışıklandırma işleminde gölge piksel bu maske yardımı ile belirlenir.

Gölge piksellerinin aydınlatılması işlemi ayrı bir çağrı olarak uygulanır. Bu özelliğinden dolayı dolaylı ışıklandırma bir post-process efekti olarak düşünülebilir. Deferred ve standart shading ile uyumlu olması, her iki çizim yöntemini kullanan uygulamalarda kullanılabilmesini sağlar.

Gölge pikselini aydınlatmak için elde edilen, yayılım düzlem izdüşüm transfer imgeleri kullanılır. Öncelikle, pikselin pozisyonu alınır. Bu pozisyon bilgisi, imge paketlerini indekslemek için kullanılır. Yayılım düzlem izdüşümü transferleri eksenlere göre düzenlenmiş yüzeylerden oluşturulduğu için, pikselin koordinat bilgisi, o pikselin içinde bulunduğu imgeyi ve imge koordinatlarını verir. Şekil 3.10'da Y yönündeki dilimler ve imge koordinatları gösterilmektedir.



Şekil 3.10 Y yönündeki dilimler ve imge koordinatları

- X doğrultusundaki yayılımları elde etmek için; X koordinatı dilim indeksine, Y ve Z koordinatları imge koordinatlarına erişim için kullanılır.

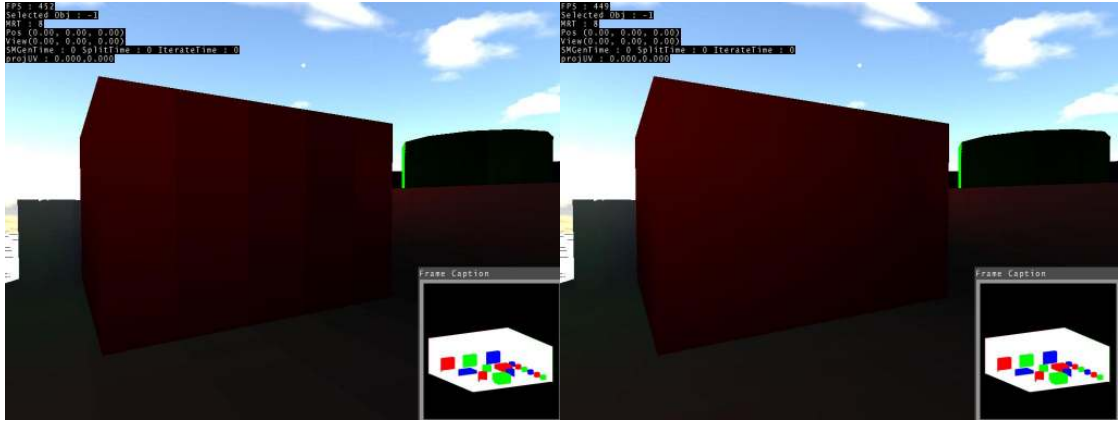
- Y doğrultusundaki yayımları elde etmek için; Y koordinatı dilim indeksine, X ve Z koordinatları imge koordinatlarına erişim için kullanılır.
- Z doğrultusundaki yayımları elde etmek için; Z koordinatı dilim indeksine, X ve Y koordinatları imge koordinatlarına erişim için kullanılır.

3 boyutlu imgeden, pikselin pozisyonu kullanılarak o dilimde bulunan toplam transfer elde edilir. Transfer o pikseli aydınlatan yüzeylerin toplam etkisini içerir. Böylece temel dolaylı ışıklandırma işlemi gerçekleşmiş olur.

$$XSideColor = (LightVolume, pixelPos.zyx); \quad (3.3)$$

$$YSideColor = (LightVolume, pixelPos.xzy); \quad (3.4)$$

$$ZSideColor = (LightVolume, pixelPos.xyz); \quad (3.5)$$



Şekil 3.11 Dilim aydınlatması yumuşatma

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, dilimler arası transferlerin yumuşak geçişli olmadığı görülmüştür. Bu durum, tekniğin ayrık yapıda olmasından kaynaklanmaktadır. Bu problemi çözmek için dilimler arası aradeğerleme yapılmıştır. Şekil 3.11’de dilim aydınlatması yumuşatma gösterilmektedir.

$$PikselLight = DilimLight(i) * dDist + DilimLight(i+1) * (1-dDist) \quad (3.6)$$

BÖLÜM 4

UYGULAMA

Bu bölümde gerçek zamanlı dolaylı ışıklandırma tekniğinin uygulama aşamaları detaylandırılacaktır. Kullanılan araçlar ve teknik detaylar açıklanacaktır.

4.1 Kullanılan Araçlar

İmplementasyon aşamasında kullanılan uygulamalar ve kütüphaneler şunlardır:

Geliştirme ortamı: Cradle Oyun Motoru

Grafik kütüphanesi: OpenGL

Shader dili: GLSL

Geliştirme araçları: Visual Studio 2010, Notepad++, 3d Studio Max

Geliştirme ortamı olarak daha önceden geliştirmiş olduğum Cradle oyun motoru kullanılmıştır. Basit çizim işlemleri, input işlemleri, model okuma işlemleri ve tekniğin ihtiyaç duyduğu temel bilgilerin elde edilmesi işlemleri, Cradle oyun motoru tarafından sağlanmıştır. Ayrıca, tekniğin geliştirilmesi aşamasında motorda mevcut olmayan bileşenler gerçekleştirilmiş ve motora eklenmiştir.

Grafik kütüphanesi, Cradle oyun motorunun kullandığı OpenGL kütüphanesidir. OpenGL grafik kütüphanesine bağlı olarak, shader dili GLSL kullanılmıştır.

Geliştirme aracı olarak Visual Studio 2010, Cradle oyun motorunun tercih ettiği bir ortamdır. Gerekli görüldüğü durumlarda motorun koduna müdahale edilerek yeni

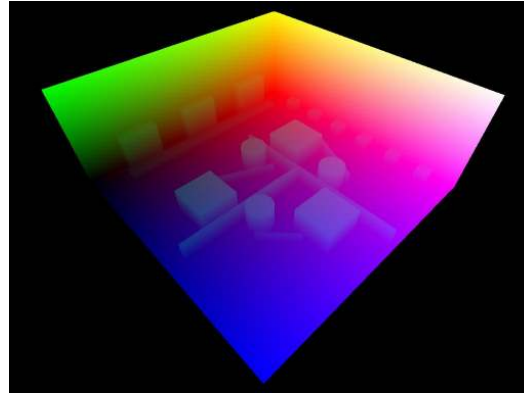
işlevler kazandırılmıştır. Ayrıca shader yazımı aşamasında, kolay kod yazılmasına yardımcı olan Notepad++ aracı kullanılmıştır.

Popüler bir modelleme programı olarak bilinen 3d Studio Max, Cradle oyun motorunun ihtiyaç duyduğu sahnelerin oluşturulması aşamasında kullanılmıştır. 3d Studio Max için geliştirilmiş olan sahne exporter sayesinde, dolaylı ışıklandırma testlerinin yapılacağı sahneler Cradle oyun motorunun sahne formatı (.CEL) olarak oluşturulmuştur.

4.2 Teknik Detaylar

Dolaylı ışıklandırma tekniğimiz uyumluluk açısından, Shader model 2.0 desteği olan ekran kartlarında çalışabilmektedir. Yeni jenerasyon donanım gereksinimi bulunmamaktadır.

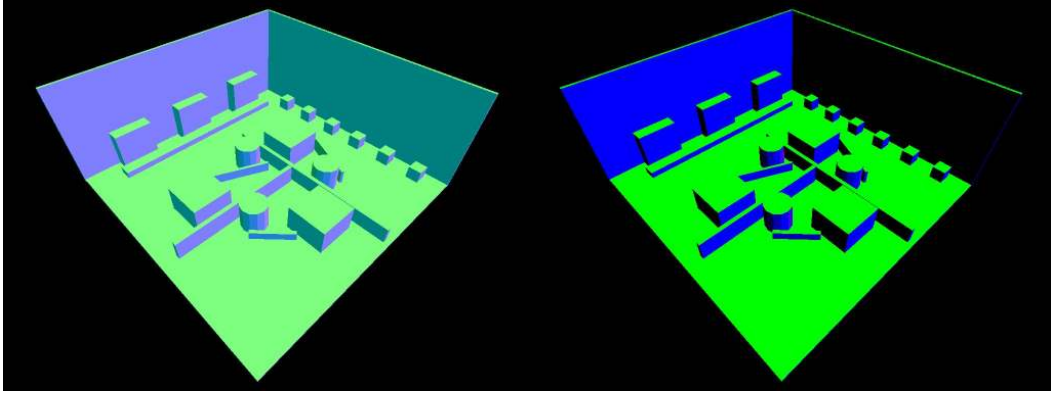
Tekniğin ayrık yapıya sahip olmasına bağlı olarak donanımsal olarak desteklenen tek seferde 8 imge oluşturulabilme kısıtı görsellik için yeterli değildir. Bu kısıtı aşmak için her imge 16 parçaya bölünmüştür. Böylece tek seferde X, Y ve Z dilim imgelerinden 4'er tane elde edilebilmiştir. Toplamda 96 adet imgeyi tek seferde elde etmekte ve tek imge olarak dolaylı ışıklandırma hesabında kullanılabilir.



Şekil 4.1 Pozisyon bilgisinin imge görüntüsü

Piksel pozisyon bilgileri imge olarak kaydedilebilmesi için [0,+1] aralığına normalize edilmiştir. Hesaplama kolaylığı açısından, piksel pozisyonları bu aralıkta kullanılmıştır.

$$Packed\ Position = ((Pozisyon / MaxSahneBoyutlari) + (1.0,1.0,1.0)) / 2.0; \quad (4.1)$$



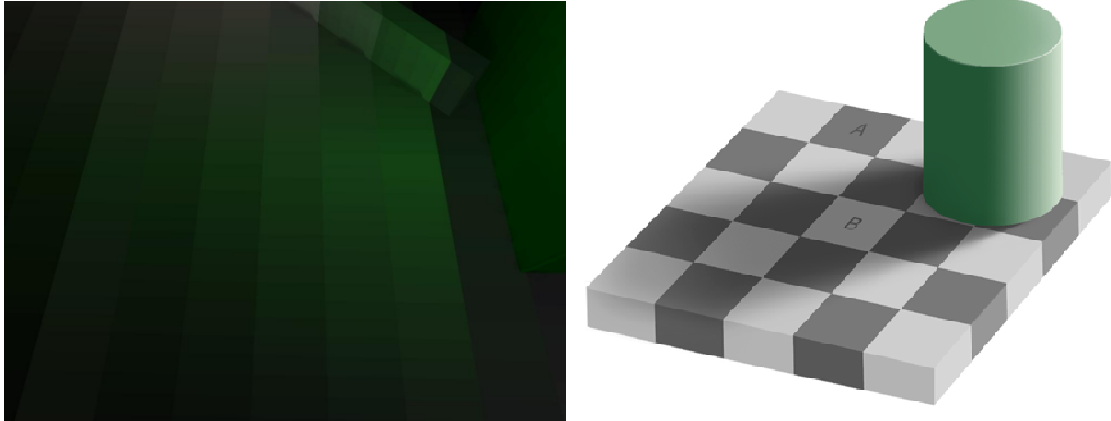
Şekil 4.2 Paketlenmiş normal ve paketlenmemiş normal bilgisinin imge görüntüsü

Normal vektör bilgileri imge olarak kaydedilebilmesi için $[-1,+1]$ aralığından $[0,+1]$ aralığına normalize edilmiştir. Normal bilgisi imgeye saklanmak istendiğinde paketlenmiş ve kullanılmadan önce de eski haline dönüştürülmüştür.

$$Packed\ Normal = (Normal - (1.0,1.0,1.0)) / 2.0; \quad (4.2)$$

$$Normal = Packed\ Normal * 2.0 + (1.0,1.0,1.0); \quad (4.3)$$

Yansıma yüzeylerinden hesaplanan yayılım düzlem izdüşümleri mipmap imgeleri donanım destekli olarak gerçekleştirilebilmiştir. Fakat bütün mipmap değerleri kullanılmadığı için gereksiz hesaplamalarda mevcuttur.



Şekil 4.3 Optik ilüzyon durumu

Piksellerin dolaylı ışıklandırma hesaplaması kısmında dilimler arası aradeğerleme yapılmadan önce, optik ilüzyon ile karşılaşmıştır. İkinci şekilde görülen A ve B hücrelerinin yüzey renkleri aynı olduğu halde farklı renkte gözükmesi gibi aynı dilimde bulunan ve aynı renkle aydınlanması gereken piksellerin farklı aydınlanıyor gibi

görülmüştür. Fakat detaylı incelemeler sonucunda insan gözünün yanıldığı bir optik ilüzyon gerçekleştiği anlaşılmıştır.

GELECEK ÇALIŞMALAR

Tez çalışmasının sonucunda elde edilen gerçek zamanlı dolaylı ışıklandırma tekniği literatürdeki tekniklerden farklıdır. Dolaylı ışıklandırma konusunda farklı bir bakış açısı, farklı bir çözüm sunmuştur. İlerki aşamalarda, yansıma sayısının artması üzerine çalışmalar yapılabilir. Yansımaların diğer nesnelere ile engellendiği durumlar ele alınarak hatalı sonuçların giderilmesi sağlanabilir. Yüzey materyalinden, dilimler arası transfer miktarı dinamik olarak hesaplanabilir.

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışmasının sonucunda elde edilen gerçek zamanlı dolaylı ışıklandırma tekniği (BIRSM) literatürdeki tekniklerden farklıdır. Dolaylı ışıklandırma konusunda farklı bir bakış açısı, farklı bir çözüm sunmuştur.

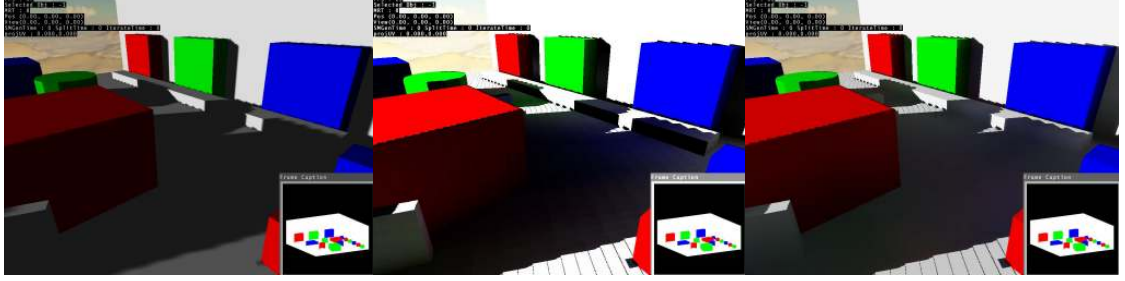
Performans testi için referans teknik RSM kullanılmıştır. Test sisteminde işlemci olarak çift çekirdekli Intel E8400 3Ghz, ekran kartı olarak NVidia 295GTX ve 4GB Ram kullanılmıştır.

Çizelge 6.1 RSM ile BIRSM karşılaştırması

	FPS	Görsellik	Hatalı Sonuç
RSM	32	İyi	Hiç
BIRSM (32 Dilim)	99	İyi	Çok Az
BIRSM (32 Dilim, Sabit Işık Kaynağı)	228	İyi	Çok Az
BIRSM (8 Dilim)	119	Kötü	Fazla

Gerçek zamanlı dolaylı ışıklandırma tekniklerinden yansıyan gölge haritası ile kıyaslama yaptığımızda, bu teknikte performansın düşük olduğunu görmekteyiz. Ayrıca yumuşak geçişli dolaylı ışıklandırma etkisini oluşturabilmek için gölge pikseli başına en az 400

noktasal ışık kaynağı kullanılması gereklidir. Buna rağmen görsellikte yeterli başarıyı sağlayamamaktadır. RSM ve BIRSM tekniklerinin karşılaştırılması Çizelge 6.1’de gösterilmiştir.



Şekil 6.1 Direkt ışıklandırma, RSM ve BIRSM ile aydınlatılmış sahneler

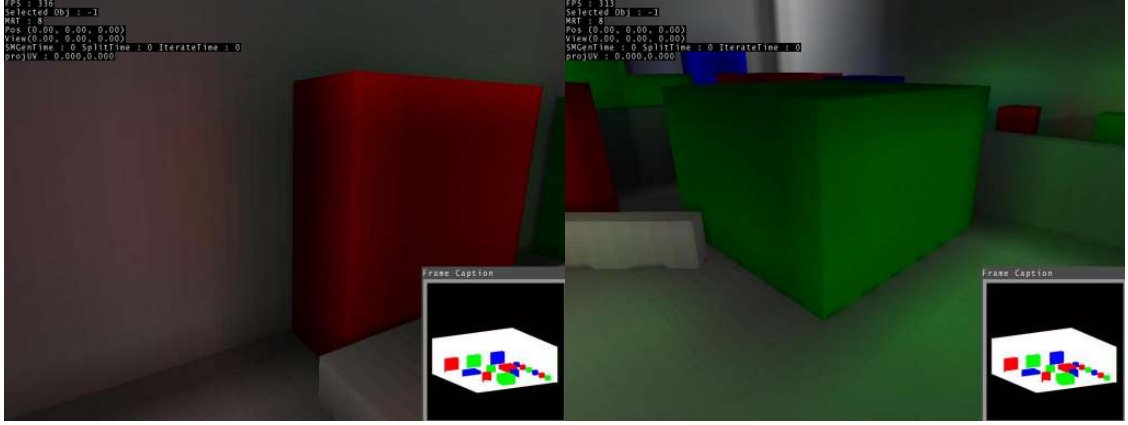
Görsel sonuçlar incelendiğinde BIRSM tekniğinin doyurucu görsel sonuçları yüksek performans ile birlikte gerçekleştirebildiği Şekil 6.1’de görülmektedir. Direkt ışıklandırma sabit bir çevresel ışık değeri kullandığından dolayı ışıklandırma sonuçlarıyla kıyaslandığında oldukça başarısız olduğu görülmektedir.



Şekil 6.2 Direkt ışıklandırma, RSM ve BIRSM görsellik farkları

RSM tekniğinde rastgele seçilen sanal ışık kaynaklarının aydınlattığı bir piksel ile o pikselin yanındaki piksel farklı aydınlanabilmektedir. Bu sebepten kaynaklanan problem, görsellik açısından olumsuz etki oluşturur. Bu durum Şekil 6.2’de gösterilmektedir.

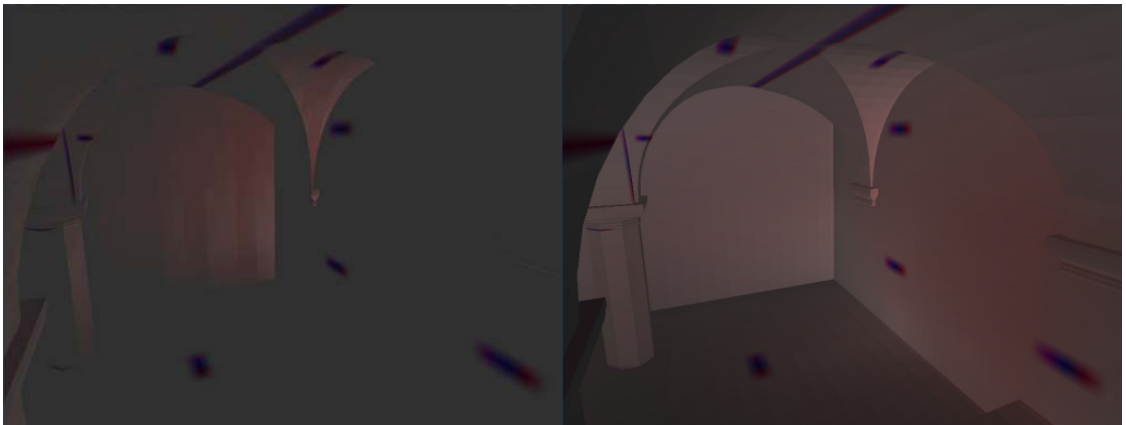
BIRSM tekniğinin, RSM ye göre bir diğer avantajı gölgedeki piksellerin aydınlatıldığı son adımda sahnede ve ışıktaki bir değişiklik olmadığı durumda ön işlemlerin tekrar yapılmasına gerek duymamasıdır. Bu durumda performans artışı oluşmaktadır. Ayrıca değişimlere bağlı kısmi güncellemeler yapılarak dinamik sahnelerde de performans artışı sağlanması mümkün olur.



Şekil 6.3 Ayırık yapı hataları

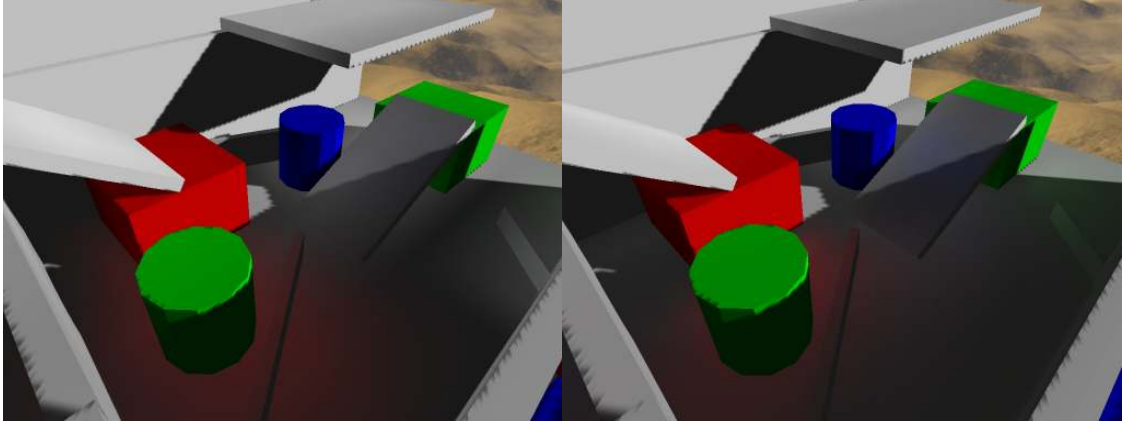
BIRSM tekniğinde, ayırık yapıdan kaynaklanan bazı anormal durumlar oluşabilmektedir. Aydınlatmanın başladığı kısım için seçilen dilim ayırık yapıya bağlı olarak ya biraz önde, ya da biraz arkada olacağından yansıma yüzeleriyle tam örtüşmeyen bir aydınlatma etkisi meydana gelir. Şekil 6.3’de ayırık yapıdan kaynaklanan hatalar gösterilmektedir.

BIRSM tekniğinde dilimler ile aydınlatma sağlandığından ışık belirli bir pozisyonlardan gelmez. Işığın bir yönü, düzlemsel mesafesi ve yayılım genişliği bilgisi mevcuttur. Pozisyon bilgisi detaylı olmadığından, bazı durumlarda aydınlanmaması gereken yüzelerde aydınlanma görülebilmektedir. RSM’de de olduğu gibi dolaylı ışıklandırmada engellenmenin hesaba katılmadığı durumlarda aydınlanmaması gereken yüzeler aydınlatılmaktadır. BIRSM tekniğinde de engellenme bilgisi kullanılmadığından bu hata oluşmaktadır. Şekil 6.4’de bu durum gösterilmektedir.



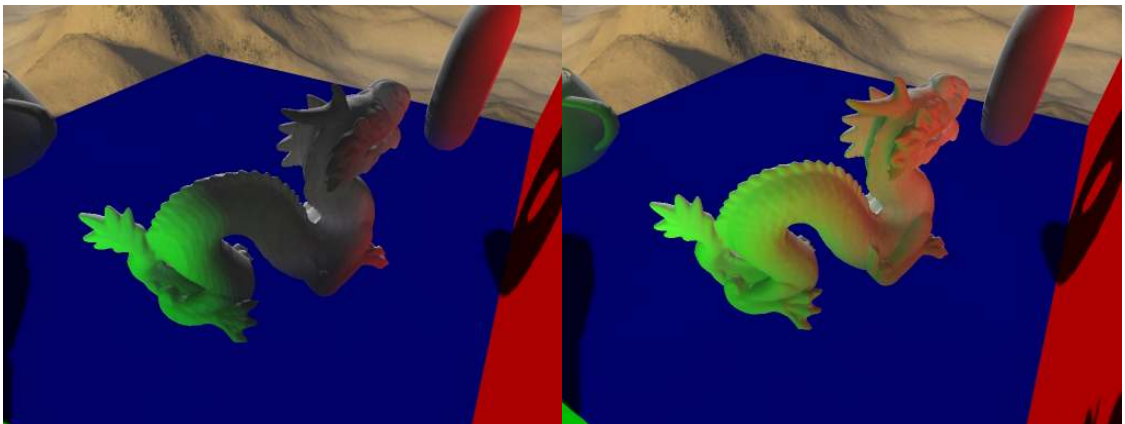
Şekil 6.4 RSM ve BIRSM hatalı ışıklandırma durumları

BIRSM tekniğinde sahnenin büyüklüğüne ve dilimlerin sayısına bağlı detayın değişmektedir. Buna bağlı olarak ufak yüzeylerin oluşturduğu yansımaların hesaba katılmadığı durumlar oluşabilmektedir. Ayrıca, ayrık yapı hataları dilim sayısı azaldıkça artmaktadır. Şekil 6.5’de dilim sayısının 8 ve 32 olduğu durumlar gösterilmektedir.



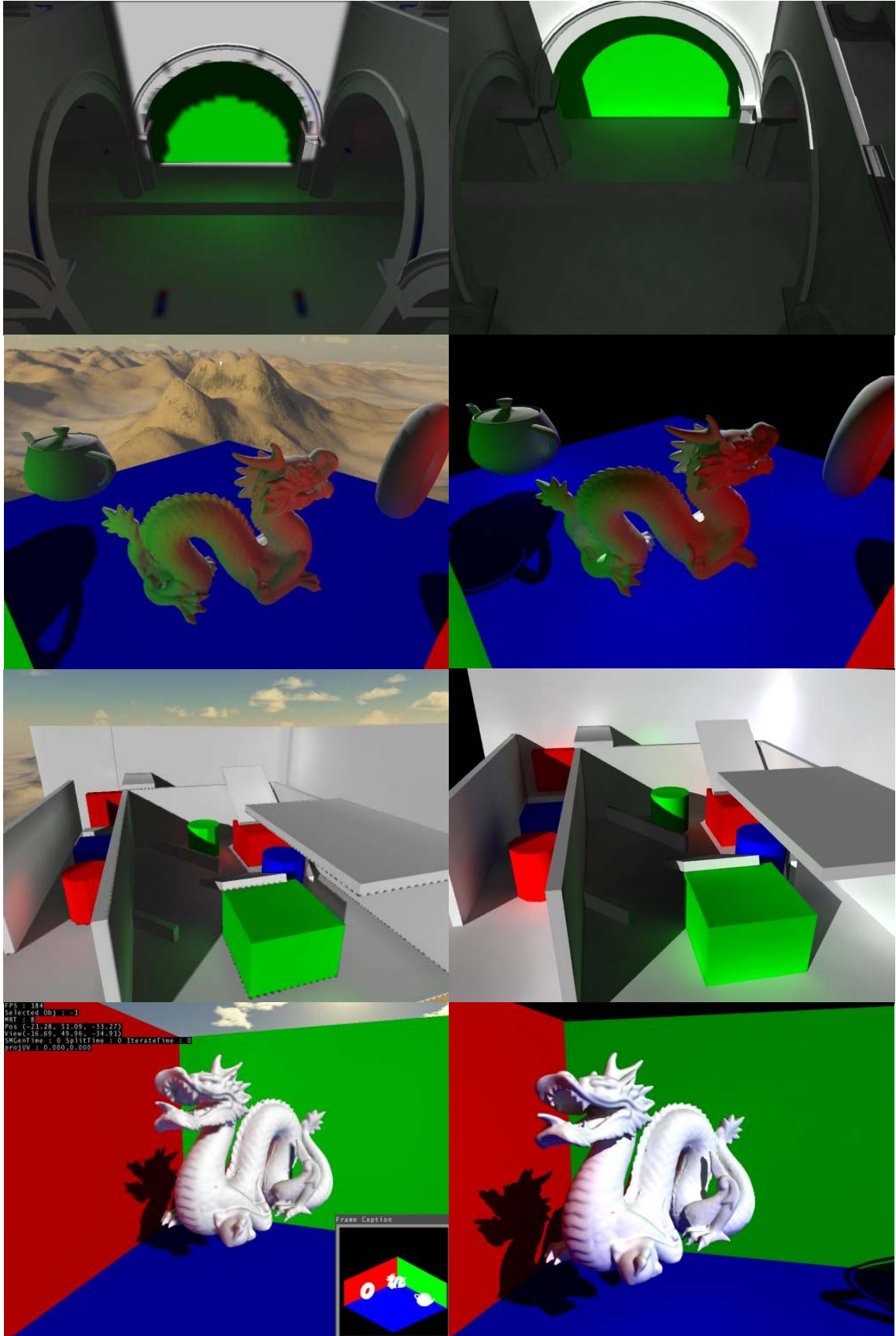
Şekil 6.5 Farklı dilim sayısıyla aydınlatılmış sahneler (8 ve 32 dilim)

BIRSM tekniğinde dilimler arası transfer sayısı önemlidir. Yüzeyden yansıyan ışığın aydınlatabileceği mesafe transfer sayısına bağlıdır. Uygulamada dilimler arası transfer 32 dilimlik bir sahnede 12 dilim olarak belirlenmiştir. Transfer sayısı ışığın şiddetine ve yansıma yüzeyinin materyaline bağlı olarak dinamik olarak hesaplanabilmesi mümkündür. Şekil 6.6’da dilimler arası transferrin 4 ve 12 olduğu durumlar gösterilmektedir.



Şekil 6.6 Farklı transfer sayısıyla aydınlatılmış sahneler (4 ve 12 transfer)

BIRSM ile elde edilen sonuçları 3D Studio Max ile elde edilen sonuçları karşılaştırıldığında farkın çok az olduğu görülmektedir. Şekil 6.7’de BIRSM ve 3D Studio Max ile elde edilen sonuçlar gösterilmektedir.



Şekil 6.7 BIRSM ve 3D Studio Max görsel sonuçları (BIRSM ve 3DSMax)

KAYNAKLAR

- [1] Dachsbacher, C., and Stamminger, M. 2005. Reflective shadow maps. In Proc. of the Symposium on Interactive 3D Graphics and Games, 203–213.
- [2] Ritschel, T., Grosch, T., Kim, M. H., Seidel, H.-P., Dachsbacher, C., and Kautz, J. 2008. Imperfect shadow maps for efficient computation of indirect illumination. ACM Transactions on Graphics (Proc. of SIGGRAPH Asia) 27, 5.
- [3] Ritschel, T., Engelhardt, T., Grosch, T., Seidel, H.-P., Kautz, J., and Dachsbacher, C. 2009. Micro-rendering for scalable, parallel final gathering. ACM Trans. Graph. (Proc. SIGGRAPH Asia 2009) 28, 5.
- [4] Ritschel, T., Grosch, T., and Seidel, H.-P. 2009. Approximating dynamic global illumination in image space. In I3D '09: Proceedings of the 2009 symposium on Interactive 3D graphics and games, 75–82.
- [5] Sloan, P.-P., Kautz, J., and Snyder, J. 2002. Precomputed radiance transfer for real-time rendering in dynamic, low-frequency lighting environments. ACM Transactions on Graphics (Proc. Of SIGGRAPH 2002) 21, 3, 527–536.
- [6] Iwasaki, K., Dobashi, Y., Yoshimoto, F., and Nishita, T. 2007. Precomputed radiance transfer for dynamic scenes taking into account light interreflection. In Rendering Techniques 2007 (Proc. of the Eurographics Symposium on Rendering), 35–44
- [7] Sloan, P.-P., 2008. Stupid spherical harmonics tricks. Presentation, Game Developer Conference (GDC2008), San Francisco, CA, <http://www.ppsloan.org/publications/StupidSH35.pdf>, 2011
- [8] Kaplanyan, A., and Dachsbacher, C., 2010 ACM SIGGRAPH Symposium on Interactive 3D Graphics and Games
- [9] Ritschel, T., Grosch, T., and Seidel, H.-P. 2009. Approximating dynamic global illumination in image space. In I3D '09: Proceedings of the 2009 symposium on Interactive 3D graphics and games, 75–82.
- [10] Aylık online fizik dergisi - <http://www.fizikogretmeni.com/isik-nedir/>, 2011

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Metin ARICA
Doğum Tarihi ve Yeri: 02/06/1985 Bakırköy
Yabancı Dili: İngilizce
E-posta: metin@ce.yildiz.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Bilgisayar Müh.	Yıldız Teknik Üniversitesi	2008
Lise	Sayısal	Adnan Menderes A.L.	2003

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2009	Yıldız Teknik Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2008	7 Kare Bilişim	Uzman Oyun Geliştirici
2006	Parkyeri	Uygulama Geliştirici