

Przemysław PARDEL  
Politechnika Śląska, Instytut Informatyki

## ZASTOSOWANIE IMAGE BASED LIGHTING (IBL) W ŚRODOWISKU ROZSZERZONEJ RZECZYWISTOŚCI (AR)

**Streszczenie.** Poniższa praca porusza zagadnienia i problemy zastosowania techniki Image Based Lighting (IBL) w środowisku Rozszerzonej Rzeczywistości (AR).

**Słowa kluczowe:** Rozszerzona Rzeczywistość, Image Based Lighting

## IMAGE BASED LIGHTING (IBL) IN AUGMENTED REALITY (AR) ENVIRONMENT

**Summary.** This work presents general issues and problems of using Image Based Lighting (IBL) in Augmented Reality (AR) environment.

**Keywords:** Augmented Reality, Image Based Lighting, High Dynamic Range

### 1. Wstęp

Rozszerzona Rzeczywistość (Augmented Reality, AR) nie tworzy nowego w pełni wirtualnego świata 3D, lecz rozszerza i uzupełnia ten, który znamy, o wirtualną powłokę [2]. Stopień zróżnicowania rodzaju komputerowej informacji, jaka może zostać zintegrowana ze środowiskiem rzeczywistym, jest bardzo duży, począwszy od prostej informacji (np. współrzędne położenia obiektów) do bardziej skomplikowanych obiektów fotorealistycznych, których renderowanie w środowisku rzeczywistym wymaga przetworzenia wielu danych (np. oświetlenie itp.). Współcześnie rozwijane aplikacje AR kładą duży nacisk na to, aby wirtualne „rozszerzenie” było nierozróżnialne od obiektów rzeczywistych. Jest to możliwe tylko wtedy, gdy oświetlenie wirtualnych obiektów jest zgodne z oświetleniem środowiska, które „rozszerzają”[1].

W fotorealistycznym renderingu kluczowym wymogiem dla poprawy jakości renderowania wirtualnych obiektów w aplikacjach AR jest zdolność do automatycznego przechwytywania informacji o oświetleniu środowiska oraz współczynnikach odbicia światła w nim występujących [6]. Jedną z metod, pozwalającą na zrealizowanie takich założeń, jest metoda Image Based Lighting (IBL).

## 2. Image Based Lighting (IBL)

*Image Based Lighting (IBL)* – proces oświetlania sceny i obiektów (rzeczywistych lub wirtualnych) na podstawie obrazów oświetlenia pobrano bezpośrednio ze środowiska rzeczywistego.

W technice tej obraz statyczny lub wideo pobrany bezpośrednio ze środowiska wykorzystywany jest do wyznaczenia oświetlenia. Klasyczne wykorzystanie tej techniki pozwala na odwzorowanie warunków oświetlenia sceny z danej chwili. Podejście takie nadaje się jednak do oświetlania scen, w których warunki oświetlenia pozostają niezmiennie. Gdy warunki te ulegają zmianom w celu prawidłowego oświetlenia sceny, obrazy takie należy pobierać i odpowiednio interpretować w czasie rzeczywistym [3].



Rys. 1. Wirtualny mikroskop oświetlony za pomocą oświetlenia wyznaczonego techniką IBL (źródło: "Image-based lighting. IEEE Computer Graphics and Applications")

Fig. 1. Virtual microscope illuminated with using IBL method (source: "Image-based lighting. IEEE Computer Graphics and Applications")

Oświetlenie jest jednym z najważniejszych czynników, które sprawiają, że wirtualne obiekty wyglądają jak prawdziwe. W większości przypadków w grafice komputerowej wyznaczany jest prosty model oświetlenia, bazujący na nieskończenie małych punktowych źródłach światła, znajdujących się w różnych miejscach sceny [5]. W wyniku zastosowania ta-

kiego podejścia obiekty otrzymują oświetlenie z kilku zdefiniowanych przez użytkownika punktów. Jest to metoda skuteczna, dopóki ilość punktów świetlnych jest niewielka, problemem staje się zaś wyznaczenie źródła światła o kształcie niebędącym punktem (długa żarówka, niebo), gdyż przy tej metodzie liczba punktów gwałtownie wzrasta. Należy także wziąć pod uwagę fakt, że obiekty nie tylko odbijają fotony wyemitowane bezpośrednio ze źródeł światła, lecz także te, które odbiły się od innych obiektów w scenie. W technice IBL możliwe jest zasymulowanie takich warunków oświetlenia przez zastosowanie odpowiednich obrazów, będących mapą odwzorowań oświetlenia (MOO) danego środowiska [4].

**Mapa Odwzorowania Oświetlenia (MOO)** – źródło danych pozwalające na odwzorowanie warunków oświetlenia (kształt źródeł światła, natężenie itd.) danego środowiska.

Chcąc renderować bardzo skomplikowane sceny AR w czasie rzeczywistym, stosuje się wiele zabiegów, które to umożliwiają. W tym celu w IBL, mimo niezgodności z rzeczywistością, obiekty emitujące światło często umieszczane są nieskończenie daleko [7].

## 2.1. Światło rozproszone

**Prawo Lamberta** – prawo optyki sformułowane przez Johanna Heinricha Lamberta w 1760 r., określające zależność światłości od kierunku obserwacji. Jeżeli pewna powierzchnia promieniuje lub rozprasza światło, to światłość  $I$  w kierunku tworzącym kąt  $\theta$  z normalną do powierzchni promieniującej wyraża się wzorem:

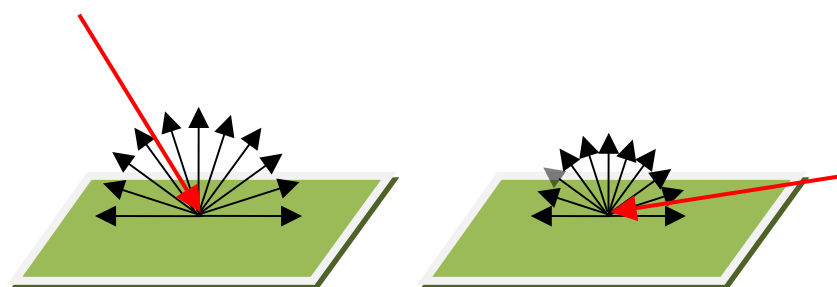
$$I(\varphi) = I_0 \cos \varphi \quad (1)$$

gdzie  $I_0$  oznacza światłość w kierunku prostopadłym do powierzchni promieniującej.

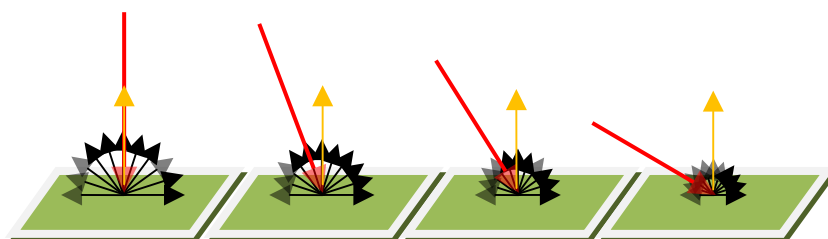
Prawo to jest spełnione ściśle, gdy powierzchnia promieniująca jest ciałem doskonale czarnym [10].

Własności światła rozproszonego:

- idealne odbicie rozproszone:
  - idealną powierzchnią odbijającą z rozproszeniem jest powierzchnia chropowata (np. kreda),
  - z powodu mikroskopijnych nierówności światło padające może być odbite w każdym kierunku zawartym w półkuli (rys. 2),
- powierzchnie idealnie rozpraszające odbijają światło zgodnie z prawem Lamberta; często nazywane są lambertowskimi (ang. *Lambertian surfaces*),
- intensywność odbicia nie zależy od położenia obserwatora, ale zależy od orientacji powierzchni względem źródła światła (rys. 3),

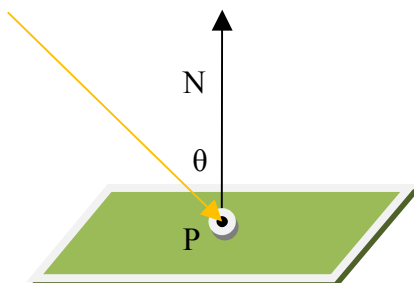


Rys. 2. Kierunki odbicia światła w idealnym odbiciu rozproszonym  
 Fig. 2. Direction of light reflection in ideal diffuse reflection



Rys. 3. Intensywność odbicia światła  
 Fig. 3. Light reflection intensity

- kąt między normalną powierzchni i promieniem padającego światła nazywamy kątem padania (ang. *angle of incidence*) (rys. 4).



Rys. 4. Kąt padania  
 Fig. 4. Angle of incidence

Punkt na lambertowskiej powierzchni odbija światło tak samo w każdym kierunku, zatem przyjmuje się, że światło jest odbijane w każdym kierunku zawartym w półkuli [8, 9].

Ośią takiej półkuli jest normalna (N) powierzchni w renderowanym punkcie P. Zamiast jednego lub więcej odrębnych źródeł światła wyznaczonych z prawa Lamberta, próbkowane są wszystkie punkty na MOO środowiska, które tworzą spójną powierzchnię. Następnie są one ważone jako cosinus kąta pomiędzy ich kierunkiem i powierzchnią normalnej w taki sposób, jakby każdy z nich był światłem kierunkowym wyznaczonym z prawa Lamberta. Suma tych wartości wykorzystywana jest do wyznaczenia oświetlenia.

Należy wziąć pod uwagę fakt, iż nie ma możliwości przetworzenia w czasie rzeczywistym zbyt dużej liczby operacji przeprowadzonych na teksturach. Dlatego zamiast przetwa-

rać wszystkie widoki dla każdego renderowanego piksela, MOO jest ujednociana. Każdy element tekstury (teksel) reprezentuje w mapie środowiska wektor do środowiska.

Dla każdego teksela wszystkie wejścia w MOO środowiska mogą być próbkowane i akumulowane, odpowiednio wazone (wylizanie) za pomocą cosinusów kątów pomiędzy wektorem reprezentowanym przez próbkę oraz bieżącym tekselem. Daje to sumę oświetlenia powierzchni skierowanej w kierunku otrzymywanych bieżących próbek. Odpowiednio jedno wyszukanie dla tekstury w kierunku wektora normalnego daje prawidłową wartość światła rozproszonego. Podobne rezultaty jak powyższa daje metoda konwolucyjna oparta na splocie sygnałów przez rozmycie MOO środowiska. Wynik nie jest dokładnie taki sam, lecz wystarczająco zbliżony do oświetlenia. Największą zaletą w porównaniu do rozwiązań dokładnych jest szybkość działania zaimplementowanej w ten sposób metody.

**Splot sygnałów** – jest matematyczną operacją polegającą na łączeniu dwóch sygnałów w celu utworzenia trzeciego. Operacja ta jest uważana za jedną z najważniejszych w dziedzinie cyfrowego przetwarzania sygnałów (DSP ang. *Digital Signal Processing*).

Matematyczny wzór określający operację splotu wygląda następująco:

$$s(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(u)g(t-u)du \quad (2)$$

Jest on określany również jako tzw. Twierdzenie o splocie. W dziedzinie przetwarzania sygnałów przeważnie mamy do czynienia z sygnałami w postaci cyfrowej (ang. *digital signals*). Są to sygnały dyskretne, nieciągłe, powyższy wzór ulega więc przekształceniu do postaci dyskretnej (wzór 3), w której mamy do czynienia ze spróbkowanymi wartościami. Całki zastępowane są przez sumy.

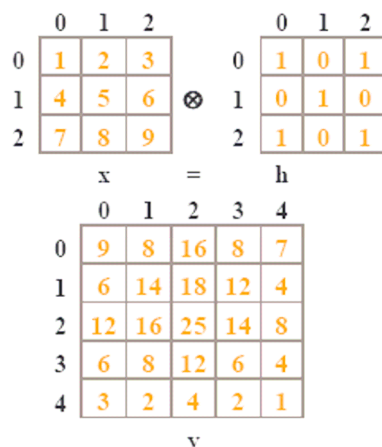
$$s(m) = \sum_n f(n)g(m-n) \quad (3)$$

Sygnał wyjściowy powstający po realizacji splotów jest innej wielkości niż sygnały wejściowe. Dla przykładu, jeśli pierwszy sygnał wejściowy jest wielkości  $N$ , sygnał drugi wielkości  $M$ , to sygnał wyjściowy jest wielkości  $N+M-1$ . Czasami inny rozmiar sygnału wyjściowego nie jest efektem pożądanym, stosuje się wówczas obcinanie skrajnych wartości wykraczających poza wielkość pierwotnego sygnału. Poniżej zaprezentowane są przykłady praktycznie wyjaśniające ten efekt. Splot jest operacją realizowaną dla sygnałów zarówno jedno-, jak i dwuwymiarowych.

W przypadku sygnałów 2-wymiarowych położenie jest określone przez 2 zmienne (w poniższym wzorze  $m$  i  $n$ ):

$$c[m,n] = a[m,n] * h[m,n] = \sum_j \sum_k h[j,k]a[m-j,n-k] \quad (4)$$

Splot jest w tym przypadku prostym wymnożeniem wartości z obu sygnałów wejściowych, a następnie ich zsumowaniem. Praktyczną realizację przedstawia rys. 5.



Rys. 5. Splot sygnałów

Fig. 5. Signal convolution

Wykonane działania są następujące:

$$y[0,0] = x[2,2] * h[0,0] = 9 * 1 = 9$$

$$y[0,1] = x[2,1] * h[0,0] + x[2,2] * h[0,1] = 8 * 1 + 9 * 0 = 8$$

$$y[0,2] = x[2,0] * h[0,0] + x[2,1] * h[0,1] + x[2,2] * h[0,2] = 7 * 1 + 8 * 0 + 9 * 1 = 16$$

itd.

Wartości pod indeksami w praktyce mogą być na przykład wartościami kolorów dla danych pikseli obrazu. Należy w tym miejscu zauważyć, że w realizacji splotu zastosowanej powyżej założono, iż wartości poza sygnałem są równe 0. Stąd brak wymnożeń z elementami spoza zakresu. Problem ten występuje tylko na „krawędziach” sygnałów i często jest identyfikowany jako tzw. problem brzegu. Przy dużych sygnałach ma on przeważnie małe znaczenie dla wyniku splotu. Podejście stosowane do rozwiązania problemu zależy często od specyfiki sygnałów oraz od celu, w jakim dokonywana jest operacja splotu. Innymi podejściami do rozwiązania problemu brzegu są na przykład:

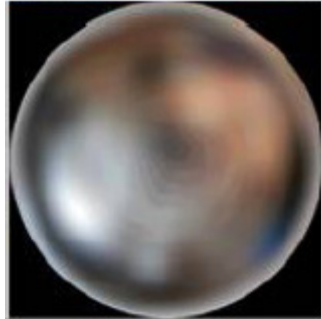
- odbicie obrazu poza jego granicami,
- powtórzenie obrazu, bez odbicia,
- powielenie brzegowych wartości.

Filtr gaussowski (wzór 5) reprezentowany jest przez maskę splotu o zmiennych wartościach współczynników wagowych. Transformata Fouriera funkcji Gaussa jest również funkcją Gaussa, która tłumy wysokie częstotliwości przestrzenne w obrazie w sposób monotoniczny przez co daje bardziej jednoznaczne wyniki niż filtr uśredniający.

$$\frac{1}{k} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \tag{5}$$

gdzie  $k$  oznacza sumę współczynników wagowych [11].

Poprzez użycie filtra rozmycia Gaussowskiego wszystkie punkty tekstury środowiska otrzymują informacje od otaczających pikseli. Wynikowa MOO nazywana jest mapą natężenia napromieniowania – irradiancji (ang. *irradiance map*). Przykład pokazuje rysunek 6.



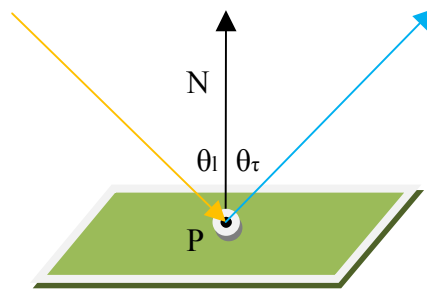
Rys. 6. Przykładowa mapa natężenia napromieniowania - irradiancji  
Fig. 6. Example of irradiance map

## 2.2. Światło odbite

Miejsca o największym połysku na powierzchni obiektu są zasadniczo odbiciami źródeł światła. Właściwość tę można wykorzystać do ich wykrywania, lecz jest to prawdziwe tylko dla powierzchni idealnie odbijających światło (takich jak chrom).

Własności światła odbitego:

- powierzchnie błyszczące przejawiają odbicie zwierciadlane,
- światło odbite na powierzchni błyszczącego obiektu powoduje powstanie jasnego punktu (plamki) ang. *specular highlight*,
- położenie plamki zależy od pozycji kamery (obserwatora), zatem odbicie zwierciadlane jest zależne od aktualnego widoku,
- na poziomie mikroskopowym powierzchnia zwierciadlana jest bardzo gładka,
- promienie światła odbijają się od takiej powierzchni podobnie jak od lustra,
- im gładsza powierzchnia, tym jest ona bliższa do idealnego lustra,
- prawo *Snella* (rys. 7):
  - promienie światła padającego i światła odbitego leżą w jednej płaszczyźnie z normalną do powierzchni,
  - kąt padania jest równy kątowi odbicia ( $\theta_i = \theta_r$ ),



Rys. 7. Prawo Snella  
Fig. 7. Snell's law

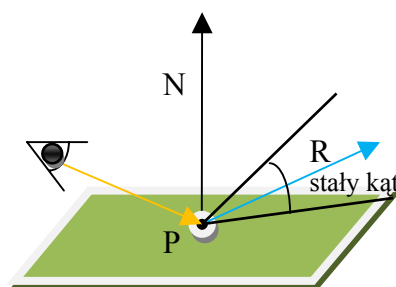
- prawo *Snella* stosuje się do powierzchni doskonale lustrzanych, ale z wyjątkiem lusterek i chromu niewiele powierzchni ma taką własność,
- w ogólnym przypadku oczekujemy, że większość światła zachowuje się zgodnie z prawem *Snella*,
- z powodu mikroskopijnych wariacji na powierzchni część światła może być odbita w kierunku nieco różnym od tego, jaki wynika z prawa *Snella*,
- im większa różnica między kątem rzeczywistym a idealnym, tym mniejszej ilości światła odbitej pod tym kątem oczekujemy,
- większość materiałów pochłania i rozprasza światło. Efektem tego jest to, że tylko najjaśniejsze obiekty, takie jak źródła światła, widziane są jako rozmyte odbłaski (rys. 8).



Rys. 8. Odblaski na powierzchni jabłek  
Fig. 8. Reflection on the apples surface

Na obrazie widoczne są nie tylko odbicia z jednego kierunku, lecz z wszystkich kierunków w pewnym stałym kącie (rys. 9).





Rys. 9. Odbicie światła

Fig. 9. Light reflection

Rozmiar tego stałego kąta zależy od połyskliwości materiału obiektu, a w jego środku znajduje się wektor odbicia wektora obserwacji (ang. *view vector*). Zamiast jednego lub większej liczby różnych źródeł światła wyznaczonych za pomocą formuły Phong, próbkowane są wszystkie punkty na mapie środowiska zawarte w tym samym kącie. Są one ważone za pomocą cosinusa kąta pomiędzy ich kierunkiem i wektorem odbicia. Tym samym traktowane są jakby wszystkie z nich były światłami kierunkowymi obliczonymi za pomocą formuły Phong. Suma tych wartości jest sumą odbitych światła przychodzących z tego kierunku w środowisku. Także i w tym przypadku duża liczba operacji przeprowadzonych na teksturach nie może być przetworzona w czasie rzeczywistym i konieczne jest ujednoczenie MOO (patrz 2.1). Podobnie jak w przypadku wyznaczania światła rozproszonego, wszystkie teksele MOO środowiska są próbkowane, a następnie ważone jako cosinus kąta pomiędzy wektorem reprezentowanym przez próbkę i bieżącą teksturę przez moc lśnienia materiału. Rezultatem jest suma światła widocznego, jeśli odbicie wektora obserwacji zwrócone jest w kierunku bieżącej próbki. Istnieje możliwość poprawy wyników badań za pomocą filtra rozmycia. Problemem MOO światła odbitego jest to, że rozmiar rdzenia (jądra) filtra jest zależny od jasności, która zmienia się pomiędzy różnymi materiałami. Teoretycznie, dla każdego materiału powinna być wygenerowana oddzielna tekstura. Alternatywne jest generowanie mipmap (tekstur o różnych rozmiarach, które są wynikiem skalowania wyjściowej tekstury) i używanie mniejszych podpoziomów mipmap dla nieostrych materiałów. Innym sposobem jest używanie techniki SAT (ang. *Summed Area Tables*). Do symulacji pochłaniania światła przez materiał może być konieczne przyciemnienie MOO światła odbitego w taki sposób, aby jako podświetlenia widoczne były tylko jasne źródła światła [12].

### 2.3. Metody realizacji

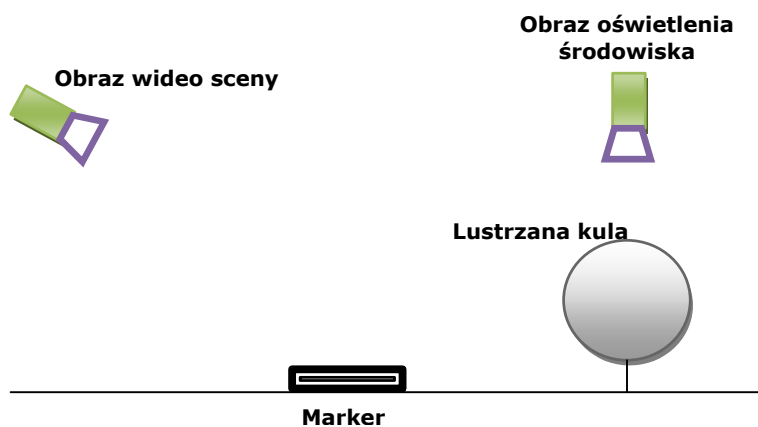
Wykorzystanie techniki IBL w środowisku AR musi uwzględniać założenie odświeżania MOO w czasie rzeczywistym. Do pobierania MOO bardzo dobrze nadaje się chromowana lustrzana kula (lub zwykła bańka choinkowa) przedstawiona na rys. 10.



Rys. 10. Chromowana lustrzana kula  
Fig.10. Chrome plater mirror sphere

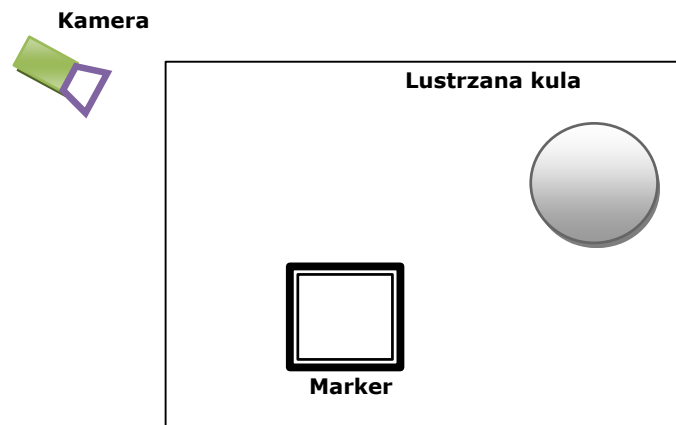
W jej odbiciu zobaczyć można prawie całe otaczające środowisko. MOO środowiska tworzona jest na podstawie pobranych obrazów takiej kuli za pomocą dwóch lub jednej kamery.

W metodzie wykorzystującej dwie kamery (rys. 11) jedna z nich pobiera obraz oświetlenia środowiska. Może to być zrealizowane zarówno za pomocą lustrzanej kuli opisanej powyżej, jak i za pomocą kamery o obiektywie w kształcie tzw. rybiego oka. Druga kamera pobiera obraz wideo sceny, na którą później nałożone będą wirtualne obiekty.



Rys. 11. Metoda wykorzystująca dwie kamery  
Fig. 11. The setup using two cameras

W metodzie wykorzystującej jedną kamerę (rys. 12) pobiera ona obraz wideo, na który później nałożone będą wirtualne obiekty. W scenie znajduje się również lustrzana kula odbijająca oświetlenie środowiska. Kula ta znajduje się w ściśle określonym przez użytkownika miejscu. Obraz kuli jest wycinany z obrazu wideo i wykorzystywany jako MOO [13, 14].



Rys. 12. Metoda wykorzystująca jedną kamerę  
 Fig. 12. The setup using one camera

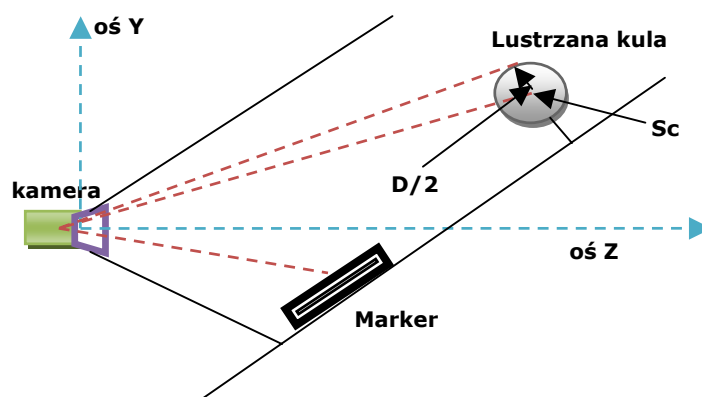
### 3. Tworzenie mapy odwzorowań oświetlenia (MOO) środowiska

#### 3.1. Wykrywanie lustrzanej kuli

Pierwszym krokiem w tworzeniu MOO jest wykrywanie fragmentu obrazu przedstawiającego lustrzaną kulę w obrazie pobranym z kamery na podstawie:

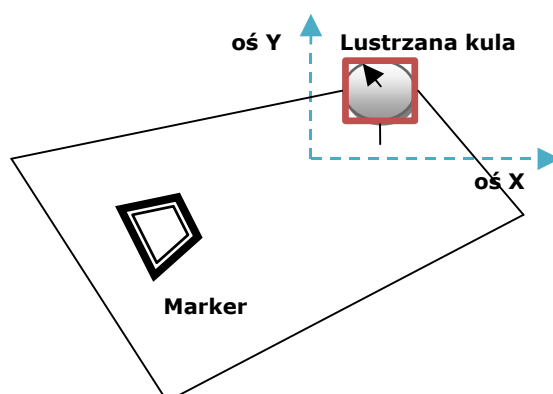
- relatywnej pozycji kuli względem pozycji markera –  $\vec{Sm}$ ,
- macierzy transformacji z kamery do środka markera –  $M$ .

Do wyznaczenia środka kuli w przestrzeni obrazu kamery wykorzystywany jest iloczyn  $\vec{Sm}$  z  $M$ . (rys. 13).



Rys. 13. Pozycja lustrzanej kuli  
 Fig. 13. The position of the mirror sphere

Następnie tworzony jest kwadrat o boku równym średnicy kuli  $D$ , w przestrzeni widoku obrazowanego przez kamerę. Kwadrat ten po rzutowaniu na przestrzeń obrazu ogranicza obszarem obraz kuli w obrazie wideo (rys. 14).

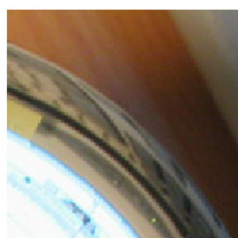


Rys. 14. Obraz kuli w obrazie wideo  
Fig. 14. Sphere image in scene

W celu wykorzystania tego obrazu do stworzenia MOO obraz ten wyodrębniany jest z obrazu kamery, a następnie kopiowany i renderowany bezpośrednio na nowej teksturze. W renderowanym kwadracie widoczna jest tylko kula zwierciadlana, która w dalszych etapach może być wykorzystana jako MOO środowiska.

### 3.2. Tworzenie sferycznej MOO

Najczęściej spotykanymi kształtami MOO są mapy o kształcie sferycznym lub o kształcie sześciennym. Obraz pobrany z kuli zwierciadlanej zbliżony jest do mapy o kształcie sferycznym. Rozdzielczość na skrajnych obszarach takiej mapy jest bardzo słaba (rys. 15), efektem tego są skutki uboczne, które występują, jeśli pobierane próbki pochodzą bezpośrednio z okolic skrajnego regionu mapy.



Rys. 15. Rozdzielczość w skrajnym obszarze mapy odwzorowań oświetlenia  
Fig. 15. Bad sample resolution at the border of the sphere map

Powoduje to pokazanie złych odbić na obiektach wirtualnych, jeśli obserwację przeprowadza się w kierunku innym niż kierunek obserwacji kamery. W przypadku gdy kamera obserwuje lustrzaną kulę i wirtualne obiekty z tego samego kierunku, próbki obszaru skrajnego mapy o kształcie sferycznym są mapowane na obszar skrajny obiektu, zatem efekt złej rozdzielczości jest ukrywany. Używając oddzielnej kamery do pobierania obrazu lustrzanej kuli (rozdział 2.3), wady mapy o kształcie sferycznym mogą stać się bardziej widoczne. Tym samym atrakcyjniejsze może stać się użycie mapy sześciennych. Jako że pobrany obraz jest już mapą o kształcie zbliżonym do kuli, daje to przewagę nad mapą o kształcie sześciennym,

gdyż używając takiej mapy, jesteśmy zmuszeni do konwertowania nowego obrazu z kamery do mapy sześciennej za każdym razem, kiedy jest on dostępny w obrazie wideo. Mapa o kształcie sferycznym jest najbardziej wydajnym rozwiązaniem, w przypadku gdy obraz lustrzanej kuli pobierany jest z tej samej kamery, która obserwuje badaną scenę.

### **3.2.1. Sferyczna MOO światła odbitego**

Obraz kuli lustrzanej może być wykorzystany jako MOO środowiska dla materiałów o idealnie odbijającej powierzchni (takich jak chrom). Dla materiałów połyskliwych, takich jak plastik, mapa ta musi być odpowiednio przetworzona (rozdział 2).

Zwykły Gaussowski filtr (2D) jest niewystarczający, ponieważ rozdzielczość próbki na krawędzi mapy o kształcie kuli jest różna od rozdzielczości w środku próbki. Rozwiązaniem jest zastosowanie rozmycia promieniowego we wszystkich 3 osiach (rys. 6).

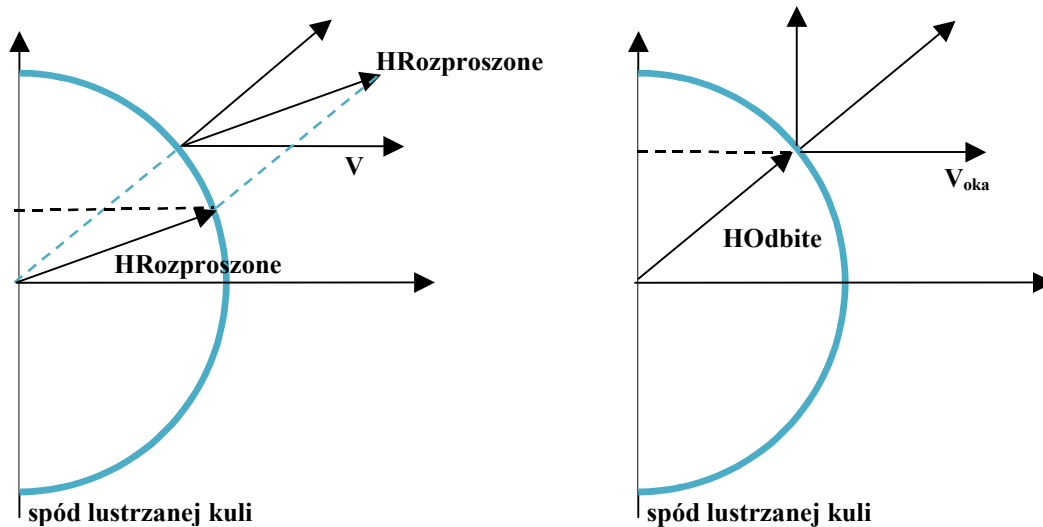
Rozmycie promieniowe osiągnięto dzięki renderowaniu kuli o promieniu 1, ze zmapowaną na nią idealnie odbijającą MOO o kształcie kuli. Koordynaty tekstury zostały wybrane w taki sposób, że obraz kuli jest widziany dokładnie jako obiekt kuli. Kula jest obracana krok po kroku wokół osi  $X$ . Przy każdym kroku pobierany jest obraz, a wszystkie obrazy są uśredniane, biorąc pod uwagę liczbę obrotów kuli. Wynikowy rozmyty obraz jest następnie mapowany na obiekt kuli. W następnej kolejności kula jest obracana wokół osi  $Y$ , a obraz jest uśredniany. Wynikowy obraz (rozmyty w kierunku  $X$  i  $Y$ ) jest ponownie mapowany na obiekt kuli, a następnie na koniec kula obracana jest wokół osi  $Z$ . Rysunek 7 pokazuje wynikową mapę [15].

### **3.2.2. Sferyczna mapa światła rozproszonego**

Podobnie jak w przypadku MOO światła odbitego, mapa MOO światła rozproszonego wymaga także przetwarzania wstępnego. Różnica jest taka, że MOO światła rozproszonego o kształcie kuli musi być rozmywana za pomocą stałego kąta 180 stopni. Aby to osiągnąć za pomocą techniki opisanej powyżej, potrzebna jest duża liczba próbek w celu uniknięcia skutków ubocznych. Aby zredukować liczbę próbek, mapa skalowana jest, zanim zostanie rozmyta do zmniejszonej skali.

## **4. Renderowanie**

Renderowanie i oświetlanie sceny z wykorzystaniem techniki IBL nie różni się zbytnio od klasycznego renderingu. Zamiast rezultatów formuł Lamberta i Blinna wykonywane są tekstuowania na podstawie MOO światła rozproszonego i odbitego. Rysunek 16 pokazuje wektory, które biorą udział w obliczeniach koordynat tekstur.



Rys. 16. Wektory biorące udział w obliczeniach koordynat tekstur światła rozproszonego i odbitego  
 Fig. 16. Calculation of sphere map texture coordinates for a diffuse and reflective lookup

Tekstury w środowisku światła rozproszonego zrealizowane są z wykorzystaniem normalnej do powierzchni  $N$ . Do obliczeń tekstury światła odbitego wykorzystuje się odbicie wektora  $V$  od oka do punktu w  $N$ . Wektor ten nazywa się  $R$  [16].

#### 4.1. Renderowanie cieni

Z badań przeprowadzonych przez Michaela Hallera w pracy „*Photorealism or/and Non-Photorealism in Augmented Reality*” na temat cieni obiektów w AR wynika, że odgrywają one bardzo ważną rolę w określaniu proporcji i relatywnej pozycji obiektów.

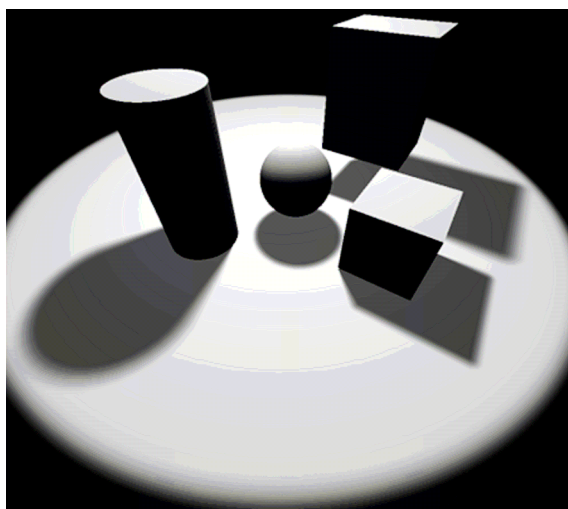
Wszystkie obiekty rzeczywiste w realnej scenie rzucają cienie. Wirtualne obiekty często nie rzucają cieni, a co za tym idzie są identyfikowane jako wirtualne. W czystym wirtualnym środowisku cienie o prostych przybliżonych kształtach wyglądają akceptowalnie. Zarówno w mieszanej (Mixed Reality), jak i rozszerzonej rzeczywistości (AR) można bezpośrednio porównywać wirtualne cienie z cieniami rzeczywistych obiektów. W takich przypadkach, aby dopasować wirtualny cień do rzeczywistego, należy zadbać o wiele czynników (kolor, miękkość, kierunek itp.), by wyglądał on realistycznie. Geometria rzeczywistego środowiska jest zwykle nieznaną. Wirtualne obiekty rzucają cienie tylko na siebie nawzajem oraz na powierzchnię sceny określoną przez markery. Aby możliwe było rzucanie cienia również na obiekty rzeczywiste, powinny one być rejestrowane w wirtualnej scenie jako obiekty rzucające wirtualny cień. Wtedy takie realne obiekty mogą odbierać wirtualne cienie.

Do obliczenia odpowiednich cieni konieczne jest posiadanie wiedzy o pozycji i kształcie wszystkich źródeł światła w rzeczywistej scenie, co wystarcza w zupełności do rozwiązania tego problemu. Pomimo że informacja o oświetleniu pobrana jest z MOO środowiska, nie

posiadamy informacji o pozycji i kształcie źródeł światła. Problem ten można rozwiązać na wiele sposobów:

- zmiana parametrów oświetlenia ręcznie (nie jest to elastyczne rozwiązanie),
- wydobywanie źródła światła bezpośrednio z MOO środowiska.

Istnieje wiele bardzo skomplikowanych metod wykorzystywanych do wydobywania źródeł światła z MOO środowiska stosowanych w renderingu, lecz niestety nie są one przystosowane do pracy w czasie rzeczywistym. Dla renderingu w czasie rzeczywistym bardzo ważnym czynnikiem jest złożoność obliczeniowa stosowanych algorytmów. W jednym z takich algorytmów potencjalne źródła światła wyszukuje się przez znalezienie wszystkich pikseli w mapie środowiska, które wykraczają poza pewien określony górny próg. Znalezione punkty znajdujące się blisko siebie są grupowane. Wszystkie piksele na mapie środowiska reprezentują wektor światła skierowany do środowiska, zatem środek regionu zgrupowania traktowany jest jako potencjalne źródło światła, a następnie przetransformowany w wektor kierunkowy, a wielkość regionu jest wykorzystywana do określania rozmiaru źródła światła. Ta metoda staje się dosyć problematyczna, gdy środowisko jest dobrze oświetlone. Obiekty, które nie emitują wystarczającej ilości światła do wywołania cienia, są także interpretowane jako źródła światła, ponieważ pojawiają się jako jasne obszary w obrazie wideo.



Rys. 17. Cienie uzyskane za pomocą algorytmu wygładzania (źródło: „Rendering Fake Soft Shadows with Smoothies”)

Fig. 17. Smoothie algorithm overview (source: „Rendering Fake Soft Shadows with Smoothies”)

Cienie w świecie rzeczywistym prawie zawsze mają miękkie krawędzie. Idealnie twarde cienie są akceptowalne w grach komputerowych, lecz w AR nie dają zadowalających efektów wizualnych w porównaniu z rzeczywistymi cieniami. Istnieje kilka technik do renderowania miękkich cieni. Niektóre dają zadowalająco realistyczne efekty, np. półcienie trójkątne zastosowane przez Tomasa Akenine Möllera i Ulfa Assarssona w pracy „*Approximate soft shadows on arbitrary surfaces using penumbra wedges*” [18] lub wygładzone zastosowane

przez Erica Chana and Fredo Duranda („*Rendering fake soft shadows with smoothies*” [17]) (rys. 17).

## 4.2. HDR

W związku z ograniczeniami zakresu dynamiki kamer cyfrowych często zdarza się, że wiele pikseli ma ten sam odcień (czysto biały), pomimo że emisja światła obiektów może się w zupełności różnić. Rozpatrując scenę, gdzie słońce jest widoczne i oświetla białą ścianę, najczęściej zarówno słońce, jak i ściana pojawiają się jako białe punkty na obrazie wideo, mimo że słońce jest kilka setek razy jaśniejsze niż ściana, co w efekcie powinno objawiać się bardziej wyrazistymi cieniami. Rozwiązaniem tego problemu jest zastosowanie obrazów o większej dynamice zakresu HDR.

**Obraz HDR** (ang. High Dynamic Range image) – to obraz o zakresie jasności (ang. luminance) porównywalnym do zakresu jasności widzianego przez człowieka. Zakres jasności definiowany jest jako stosunek najjaśniejszego punktu na obrazie do punktu najciemniejszego.

Można to uzyskać przez pobieranie kilku obrazów przy różnych ustawieniach oświetlenia lub też poprzez modyfikację warunków oświetlenia. Należy modyfikować tak czas naświetlenia, aby pobrać serię obrazów z różnym natężeniem światła. Ciemne lub jasne obszary w scenie są wyeksponowane prawidłowo na jednym z tych obrazów [1].

W systemie realizowanym przez autora badane jest zastosowanie obrazów HDR do obliczania oświetlenia i dokładniejszego, w porównaniu z obrazem o niskim zakresie dynamiki, wyodrębniania najsilniejszych źródeł światła (tzw. ekstrakcja źródeł światła).

## 5. Podsumowanie i wnioski

Rozwój AR wpłynął na poszukiwanie metod realistycznego oświetlenia wirtualnych obiektów. Aby obiekt wirtualny stał się nierozróżnialny od obiektów rzeczywistych, zarówno oświetlenie jego powierzchni, jak i sposób rzucania cieni, musi być identyczny jak w przypadku obiektów istniejących w środowisku rzeczywistym. Dodatkowym założeniem, jakie musi spełniać metoda stosowana w środowisku AR, jest tryb pracy w czasie rzeczywistym. Zastosowanie IBL w AR pozwala na osiągnięcie tego efektu i dzięki temu jest to technika, która pozwala na pełne fotorealistyczne renderowanie obiektów wirtualnych.



**BIBLIOGRAFIA**

1. Supan P., Stuppacher I.: Image Based Lighting in Augmented Reality. Central European Seminar on Computer Graphics for students, 2006.
2. Azuma R.: Overview of augmented reality. GRAPH '04: Proceedings of the conference on SIGGRAPH 2004 course notes, s. 26, Nowy Jork 2004.
3. Debevec P.: Rendering synthetic objects into Real scenes: bridging traditional and image-based graphics with global illumination and high dynamic range photography. SIGGRAPH '98: Proceedings of the 25th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, Nowy Jork 1998, s. 189÷198.
4. Debevec P.: Image-based lighting. IEEE Computer Graphics and Applications, 22, 2002, s. 26÷34.
5. Debevec P.: Estimating surface reflectance properties of a complex scene under captured natural illumination. Technical Report ICT-TR-06.2004, University of Southern California Institute for Creative Technologies Graphics Laboratory, 2004.
6. Haller M.: Photorealism or/and Non-Photorealism in Augmented Reality, Upper Austria University of Applied Sciences Media Technology and Design, Austria, 2004.
7. Randima F.: GPU Gems. Addison-Wesley, 2004.
8. Strug B.: Modele oświetlenia. Instytut Informatyki, Uniwersytet Jagielloński, 2004.
9. Encyklopedia Internautica, <http://encyklopedia.interia.pl>.
10. Wolna Encyklopedia – Wikipedia, <http://www.wikipedia.pl>.
11. Kujawińska M.: Cyfrowe metody przetwarzania obrazu część 2, Politechnika Warszawska, Instytut Mikromechaniki i Fotoniki, 2006.
12. Hensley J., Scheuermann T., Coombe G., Lastra A., Singh M.: Fast summed-area table generation and its applications. Technical report, University of North Carolina at Chapel Hill and ATI Research, 2005.
13. Kato H., Billinghurst M.: Marker tracking and hmd calibration for a video-based augmented reality conferencing system. IWAR 99: Proceedings of the 2nd International Workshop on Augmented Reality, 1999.
14. Fiala M.: Artag version 1, a fiducial marker system using digital techniques. NRC/ERB-1117, 2004.
15. Langsdorf B.: Gpu programming exposed: The naked truth behind nvidia's demos. Technical report, NVIDIA Corporation, 2005.
16. Akenine-Moeller T., Heines E.: Real-Time Rendering. AK Peters, 2 edycja, 2002.
17. Chan E., Durand F.: Rendering Fake Soft Shadows with Smoothies. Proceedings of the Eurographics Symposium on Rendering, 2003.

18. Akenine-Möller T., Assarsson U.: Approximate soft shadows on arbitrary surfaces using penumbra wedges. ACM International Conference Proceeding Series; Vol. 28, 2002.

Recenzent: Dr hab. inż. Maria Pietruszka, prof. Pol. Łódzkiej

Wpłynęło do Redakcji 24 kwietnia 2009 r.

### **Abstract**

Image based lighting (IBL) is a 3D rendering technique which involves plotting an image onto a dome or sphere which contains the primary subject. The lighting characteristics of the surrounding surface are then taken into account when rendering the scene, using the modeling techniques of global illumination.

In first chapter Augmented Reality (AR) environment was generally presented.

Chapter "Image Based Lighting (IBL)" show general issues of IBL technique focusing on using an image of the environment to calculate lighting, diffuse lighting (Lambert's cosine law (1), signal convolution (2)), specular lighting (Snell's law) and realizations methods.

In chapter three technique of calculate lighting from an image of the environment was presented. Extracting the mirrored sphere and crating sphere maps was detailed presented.

Last chapter present rendering issues in IBL and AR systems. Adding shadows and using high dynamic range (HDR) images was discussed.

### **Adres**

Przemysław PARDEL: Uniwersytet Rzeszowski, Katedra Informatyki, ul. Dekerta 2,  
45-030 Rzeszów, Polska, przemyslaw.pardel@univ.rzeszow.pl .