

HDR

Obrazy o rozszerzonym zakresie dynamiki



Dynamika obrazu

- Zakres dynamiki (*dynamic range*) to różnica między najciemniejszymi i najjaśniejszymi elementami obrazu.
- W fotografii używa się jednostek **EV** (*Exposure Value*) – różnica 1 EV to dwukrotne zwiększenie ilości światła.
- Urządzenia wyjściowe (np. monitory) mają ograniczony zakres dynamiki.
- Wskutek tego gubione są szczegóły w zakresie niskich lub wysokich wartości jasności (w cieniach lub światłach)

Dynamika obrazu

Typowy zakres dynamiki w jednostkach EV:

- rzeczywisty świat: 26 EV
- oko ludzkie: 10 – 14 EV
- sensor aparatu cyfrowego: ok. 11 EV
- ekran LCD: ok. 9 EV
- plik JPG: 8 EV

Ograniczony zakres dynamiki

Problem ograniczonego zakresu dynamiki, np. dla sensora aparatu cyfrowego:

- konieczność wyboru zakresu dynamiki reprezentowanego na wyjściu
- dolny zakres – ekspozycja na cienie, utrata szczegółów w światłach („przepalane obszary”)
- górny zakres – ekspozycja na światła, utrata szczegółów w cieniach (czarne obszary)
- w każdym przypadku tracimy część szczegółów.

Ograniczony zakres dynamiki



Obraz z ekspozycją
na światła (+4 EV)



Obraz z ekspozycją
na cienie (-5 EV)



Obraz HDR



Odtwarzanie zakresu dynamiki

- Pojedyncze zdjęcie z aparatu cyfrowego nie pokryje całego zakresu dynamiki.
- Wykonuje się szereg ujęć z różną ekspozycją (*exposure bracketing*)
- Łącząc zdjęcia wykonane dla różnych wartości EV odtwarza się szeroki zakres dynamiki.
- Powstaje **mapa oświetlenia** (*radiance map*).
- Dane dla każdego piksela i każdego kanału barwnego są zapisywane bardziej szczegółowo niż w pliku JPG (np. 32-bitowe liczby *int* lub *double* – format OpenEXR)

Obrazy LDR i HDR

Obrazy *Low Dynamic Range* (LDR), np. JPEG:

- ograniczony zakres dynamiki,
- zapis dostosowany do możliwości wyświetlenia, np. na ekranie
- kodowanie uwzględnia właściwości zmysłu wzroku, np. kompresja JPEG

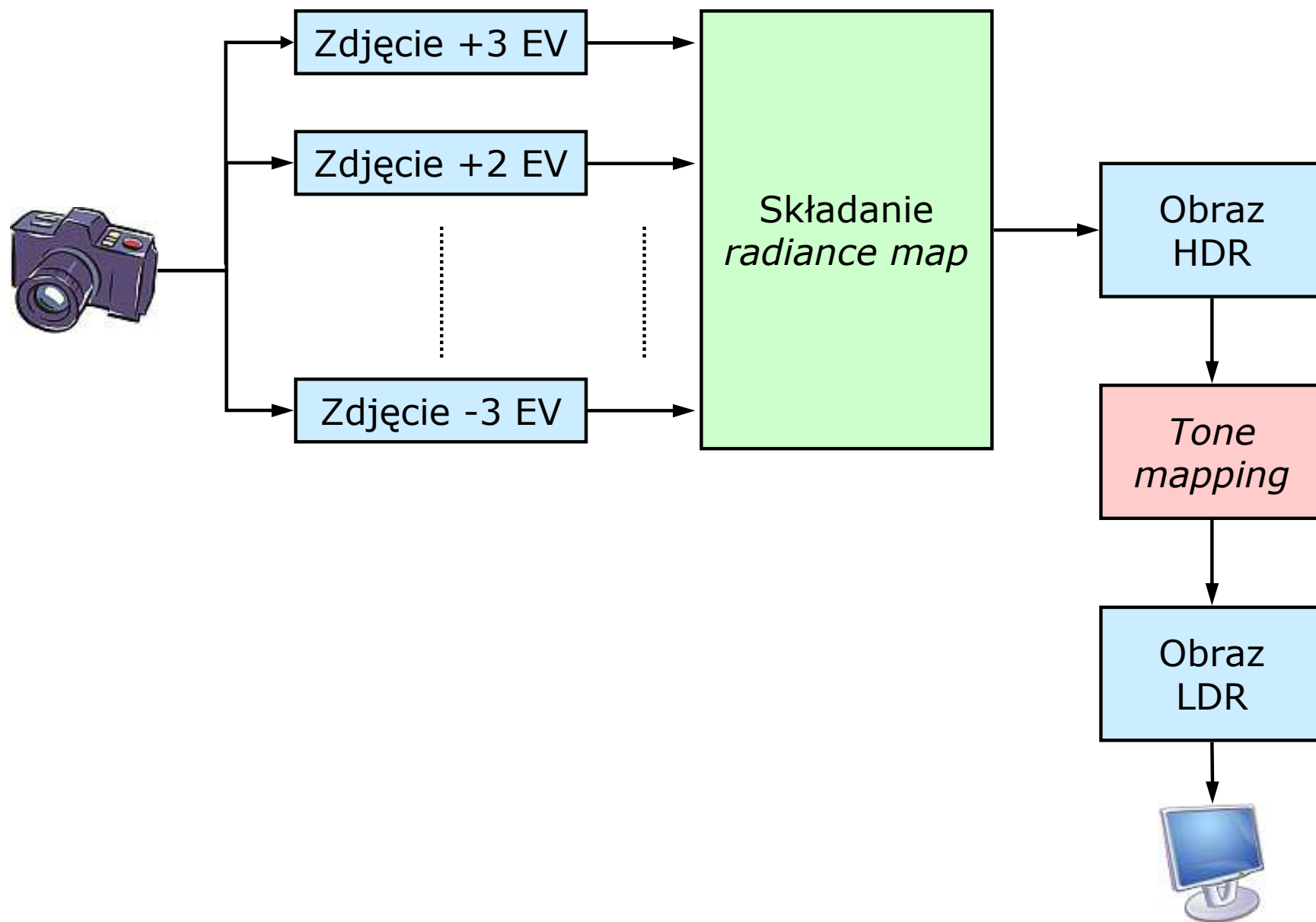
Obrazy HDR:

- zwiększony zakres dynamiki
- zapis reprezentuje rozkład światła (luminancji) w rzeczywistym świecie
- nie jest możliwa bezpośrednia prezentacja

Mapowanie tonalne

- Obraz HDR ma zbyt duży zakres dynamiki, aby dało się go wyświetlić na typowym ekranie – urządzeniu LDR.
- „Wycięcie” fragmentu zakresu DR da nam typowy obraz LDR.
- **Mapowanie tonalne** (*tone mapping*): nieliniowe przekształcenie HDR w LDR, umożliwiające prezentację obrazu.
- Algorytmy mapowania tonalnego muszą zachowywać jak najwięcej szczegółów zapisanych w mapie tonalnej (*radiance map*)

Schemat przetwarzania



Algorytmy mapowania tonalnego

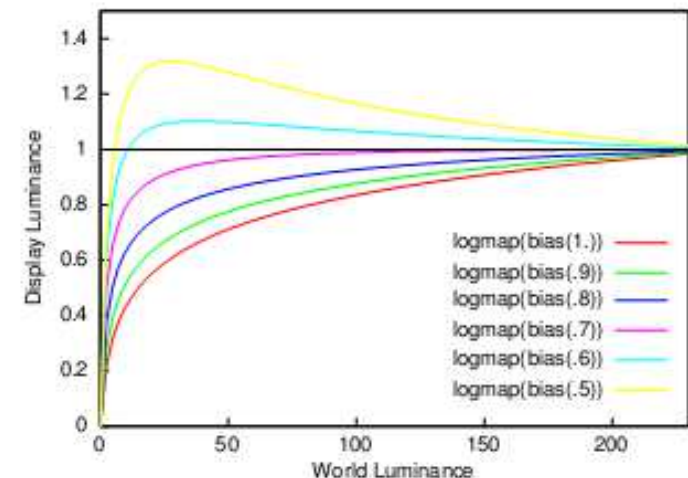
- Cel mapowania: przekształcenie HDR w LDR tak, aby oba obrazy były odbierane przez oglądającego w podobny sposób.
- **Mapowanie globalne**: wyznaczone przekształcenie jest stosowane jednakowo dla wszystkich pikseli.
- Używa się zwykle nieliniowej funkcji przekształcającej.
- Globalne mapowanie powoduje utratę lokalnych kontrastów.
- Jest stosowane do przetwarzania obrazu „na żywo” (rendering, aparaty cyfrowe).

Algorytmy mapowania tonalnego

- **Mapowanie lokalne**: odmienne mapowanie w zależności od lokalnych cech obrazu HDR.
- Oko ludzkie nie jest wrażliwe na bezwzględne wartości jasności, lecz na kontrasty.
- Funkcję mapowania dostosowuje się np. do zmienności kontrastu w danym obszarze obrazu.
- Wolniejsze działanie niż alg. globalne.
- Mapowanie lokalne jest najczęściej stosowane przy przetwarzaniu *offline* zdjęć cyfrowych.
- Problemem jest wybór odpowiedniego algorytmu mapowania.

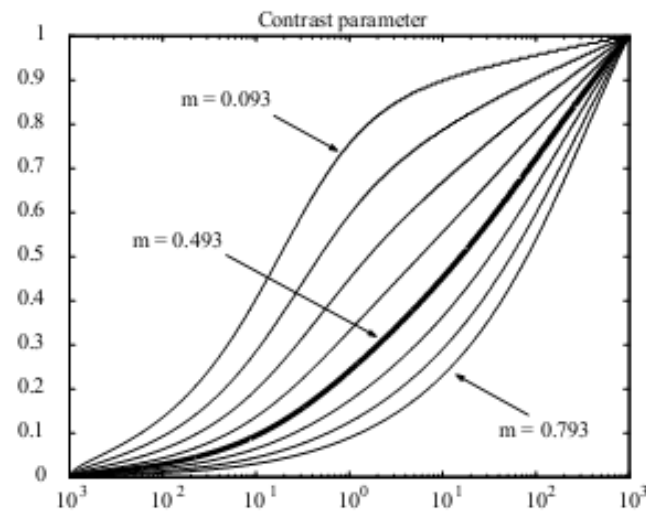
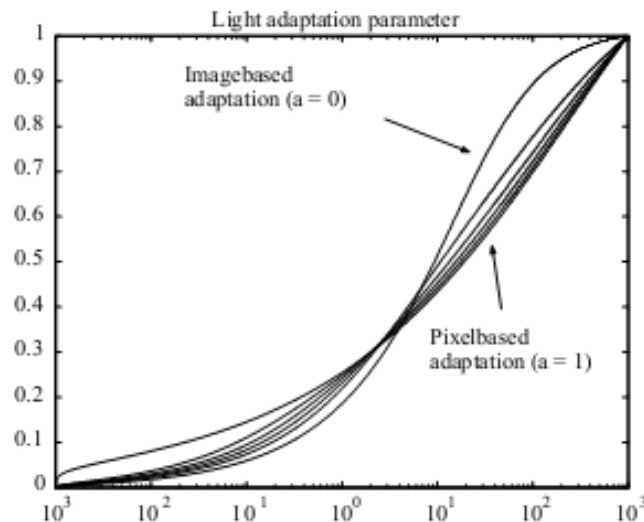
Algorytm Drago

- Globalny algorytm mapowania.
- Obliczana jest średnia luminancja całego obrazu.
- Tworzona jest logarytmiczna funkcja mapowania, jej kształt jest wyznaczony przez wartość globalnej luminancji i dodatkowy parametr *bias*.
- Funkcja jest stosowana do wszystkich pikseli jednakowo.
- Szybki algorytm, ale tracone są szczegóły.



Algorytm Reinharda

- Globalny algorytm oparty na właściwościach fotoreceptorów oka ludzkiego.
- Funkcja mapowania uwzględnia adaptację wzroku do zmian jasności obrazu.
- Dwa parametry regulujące jasność (f) i kontrast (m).
- Powoduje rozmycie szczegółów obrazu.



$$V = \frac{I}{I + \sigma(I_a)} V_{max}$$
$$\sigma(I_a) = (f I_a)^m$$

Algorytm Durranda

- Lokalne mapowanie
- Dekompozycja obrazu na dwie warstwy: bazową i szczegółową, osobno dane koloru.
- Redukcja kontrastu tylko w warstwie bazowej, zachowanie szczegółów.
- Wykorzystanie filtracji dwukierunkowej (*bilateral filtering*).
- Realistyczne obrazy, ale bardzo wolny algorytm.



Base

Detail

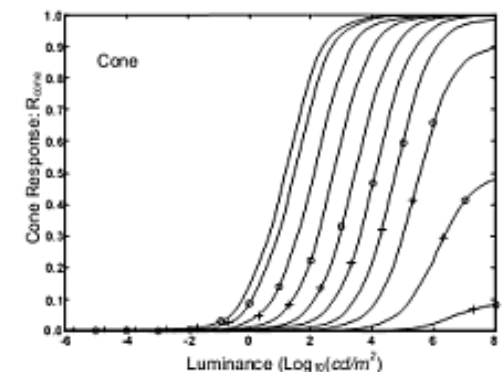
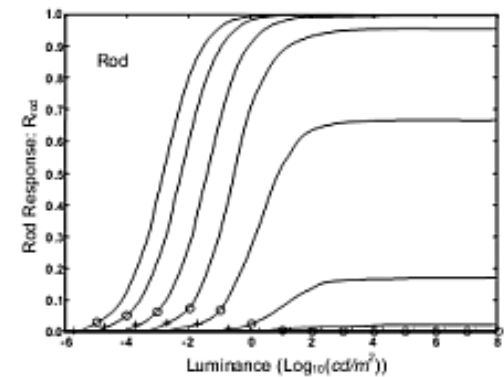
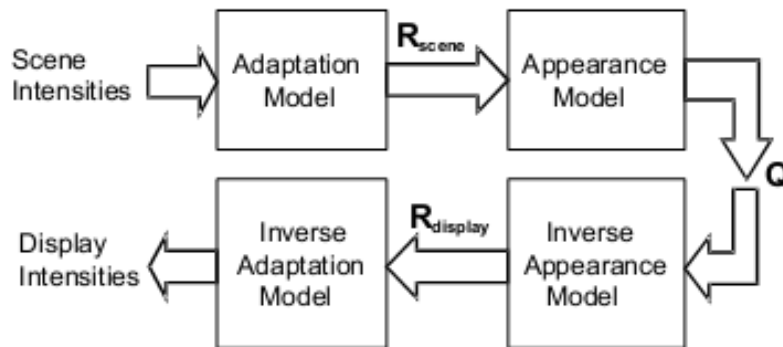
Color

Algorytm Ashikhmina

- Algorytm lokalny bazujący na modelu widzenia człowieka (HVS – *Human Visual System*).
- Model opisuje w jaki sposób człowiek odbiera lokalne zmiany jasności oraz różnice kontrastu.
- Liniowe mapowanie fragmentów obrazu zachowuje szczegóły.
- Algorytm ten często wytwarza obrazy o nadmiernym lokalnym kontraście (zbyt wyostnione).

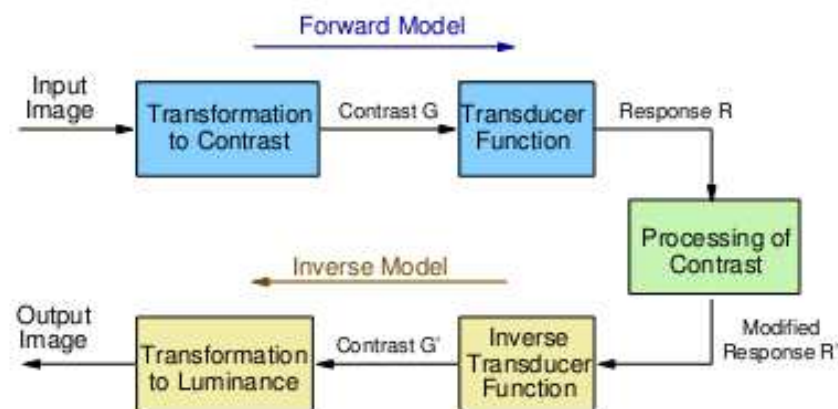
Algorytm Pattanaika

- Algorytm również oparty na modelu HVS.
- Odwzorowanie reakcji czopków i pręcików oka na zmiany luminancji i barwy.
- Również uwzględnia czas adaptacji wzroku do zmian luminancji – istotne przy tworzeniu filmów HDR.



Algorytm Mantiuka

- Metoda lokalna, również oparta na modelu widzenia HVS.
- Wartości luminancji są przekształcane na wartości lokalnego kontrastu, a następnie na odpowiedzi modelu HVS.
- Odpowiedzi te są modyfikowane – kompresja zakresu zmian kontrastu.
- Zmodyfikowane odpowiedzi są przekształcane na wartości luminancji obrazu LDR.



Algorytm Fattala

- Algorytm lokalny.
- Wyznaczane są gradienty luminancji – lokalne zmiany jasności.
- Duże gradienty (duże zmiany jasności) są tłumione (ciemny kolor na rysunku).
- Rozwiązanie równania Poissona dla zmodyfikowanego obrazu gradientowego daje obraz LDR.
- Metoda przerysowuje szczegóły, przez co bywa stosowana do celów „artystycznych”.



Porównanie efektów różnych algorytmów



Drago



Reinhard



Durand



Ashikhmin



Pattanaik



Fattal

Efekty mapowania tonalnego

- Mapowanie globalne pozwala zwiększyć zakres dynamiki zdjęcia, bez pełnego uwydatnienia wszystkich szczegółów.
- Mapowanie lokalne uwydatnia szczegóły, wprowadzając często zniekształcenia:
 - nadmierne wyostrzenie (lokalny kontrast),
 - ujednolicenie barw (zatarcie globalnego kontrastu) – „efekt komiksu”,
 - uwydatnienie szumu,
 - obwódki (*halo*).
- Ocena efektu – kwestia estetyczna.



Rendering HDR

HDRR – *High Dynamic Range Rendering*

- Renderowanie sceny 3D z wykorzystaniem algorytmów mapowania tonalnego.
- Obliczenia oświetlenia (cieniowanie): rozszerzony opis barwy pikseli (np. 32 bity).
- Mapowanie tonalne – utworzenie obrazu LDR.
- Możliwe jest dokładniejsze oddanie scen o dużej dynamice, zwłaszcza efektów świetlnych (rozbłyski, flary, itp.).
- Ze względu na konieczność działania w czasie rzeczywistym, są to zwykle alg. globalne.

Rendering HDR

Przykład efektu renderingu LDR (po lewej) i HDR (po prawej).



Tone mapping w HDRR

Przykład globalnego mapowania tonalnego.

- Obraz HDR zawiera informacje o luminancji $L_W(x, y)$ każdego piksela.
- Obliczenie logarytmicznej średniej luminancji:

$$L_{WA} = \exp\left[\sum (\log(\Delta + L_W(x, y))) / N\right]$$

- Przeskalowanie luminancji:

$$L(x, y) = a \cdot L_W(x, y) / L_{WA}$$

- Mapowanie tonalne:

$$L_d(x, y) = \frac{L(x, y)}{1 + L(x, y)}$$

HDRR a shadery

- Przed wprowadzeniem shaderów, HDR nie było możliwe (zapis 8 bitów na kolor).
- Nowsze modele (Shader Model) umożliwiają m.in:
 - renderowanie do bufora pamięci,
 - zapis wartości pikseli za pomocą liczb zmiennoprzecinkowych do 128 bitów,
 - mapowanie tonalne za pomocą fragment shaderów,
 - obsługę tekstur HDR