

# Formaty graficzne HDR

Radosław Mantiuk  
**[radoslaw.mantiuk@gmail.com](mailto:radoslaw.mantiuk@gmail.com)**

## Formaty zapisu obrazów HDR

- 24 bity na piksel (8 bitów na kanał (R,G i B)) nie wystarcza na rejestrację pełnego zakresu luminancji oraz pełnego zakresu kolorów.
- **Format RAW** - 4-bajtowa (32-bitowa) liczba zmiennoprzecinkowa na kanał.
  - 3 x 4 bytes = 12 bytes/pixel.
  - Mało efektywna kompresja liczb zmiennoprzecinkowych.

### Formaty zapisu obrazów HDR:

- **Pixar Log Encoding (TIFF).**
- **Radiance RGBE (Radiance)**
- **OpenEXR (ILM)**
- **SGI LogLuv (SGI)**
- **scRGB**
- **HDR JPEG**
- **HDR MPEG**
- **Camera Raw**
- **Digital Negative (Adobe)**

## Parametry formatów

- **Zakres luminancji (zakres dynamiki)** - jaką największą i najmniejszą wartość luminancji można zarejestrować.
- **Dokładność rejestracji (kwantyzacja)** - z jakim najmniejszym krokiem możliwe jest rejestrowanie luminancji. Krok jest to różnica pomiędzy dwiema wartościami luminancji.
  - *Krok względny* - wartość kroku uwzględniająca zakres luminancji
  - Krok względny poniżej 1% jest niezauważalny dla człowieka (nie widać błędów kwantyzacji).
  - Najmniejszy krok rejestracji może być zmienny dla różnych wartości luminancji.
- Do zapamiętania całego zakresu luminancji potrzebnych jest 4096 odcieni szarości.

- Liczba bitów na pixel
- Rejestrowana dynamika
- Względny krok kwantyzacji

## Błąd względny kwantyzacji

**Krok względny** (ang. relative step)

$$relative\_step = \frac{luma(i+1) - luma(i)}{luma(i+1)}$$

**Błąd względny** (ang. relative error)

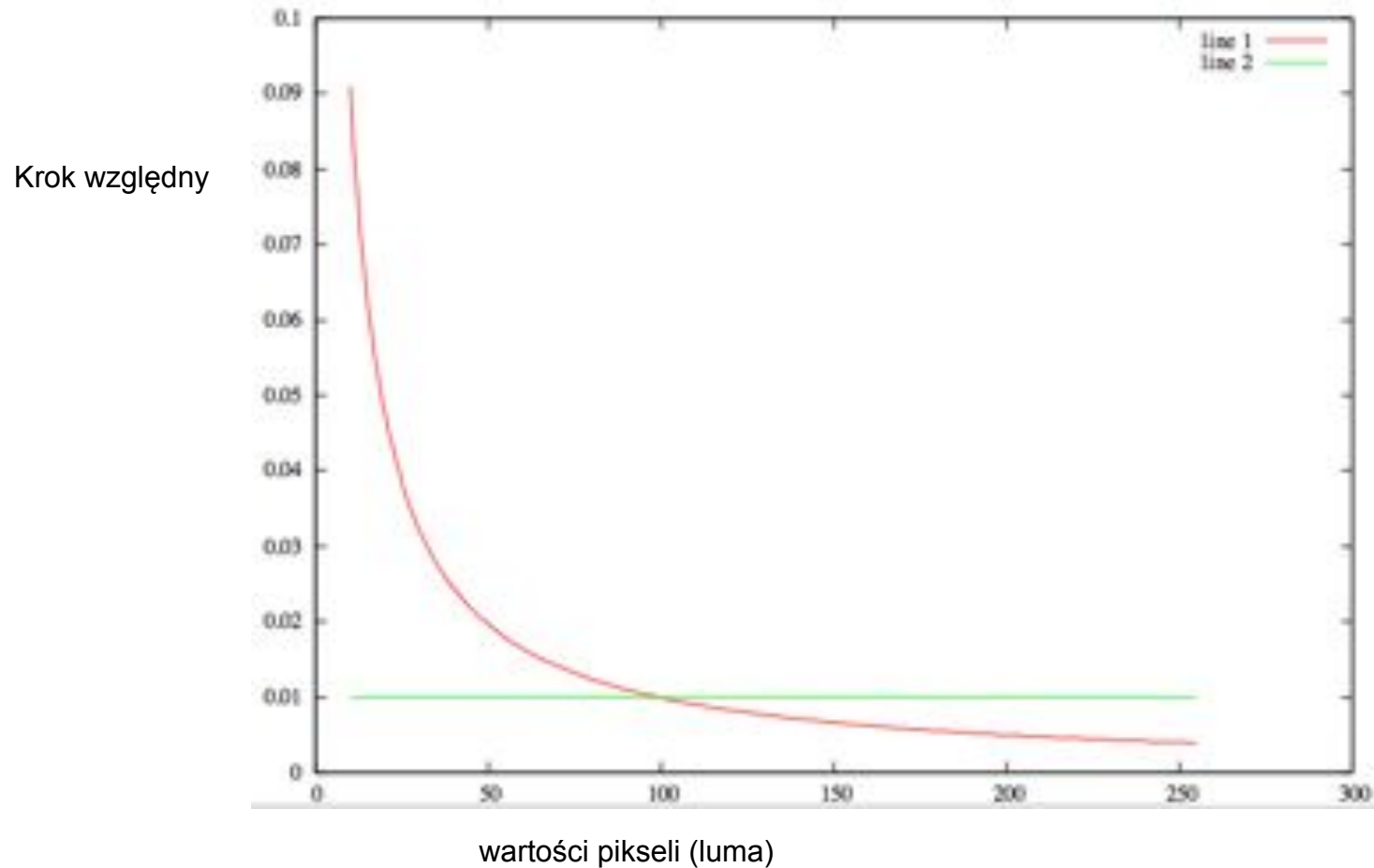
$$relative\_error = \frac{luminance - luma(i)}{luminance}$$

Największy błąd względny to  $0.5 * relative\_step$

**Krok względny powinien być mniejszy od 1% kroku kwantyzacji**

## Krok względny dla formatu RGB (liniowego) (1)

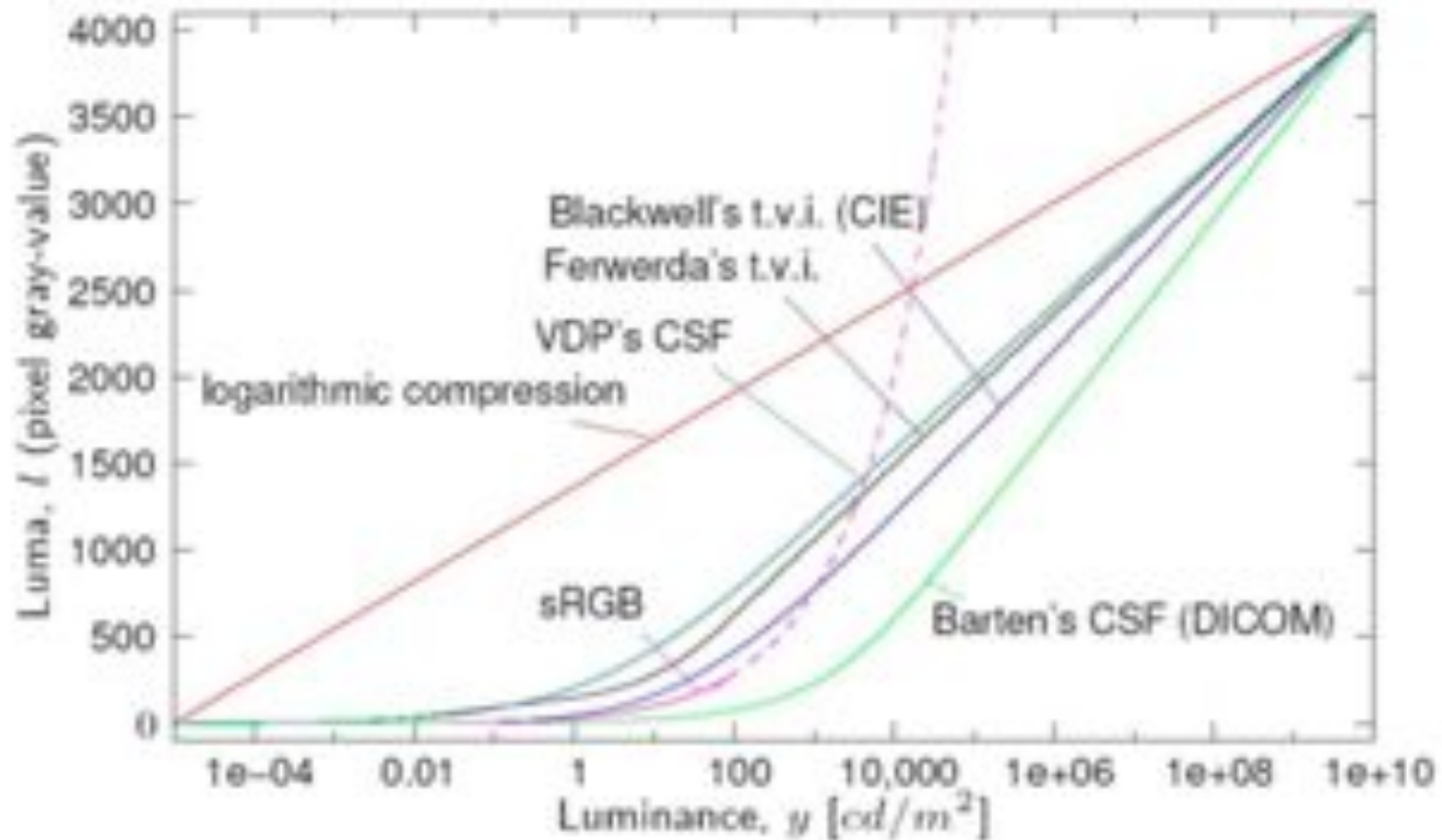
Dla RGB, zakres  $\langle 0, 255 \rangle$ , stały krok kwantyzacji 1,



Maksymalna dopuszczalna wartość względnego kroku kwantyzacji to 1%  $\Rightarrow 1 / 100 = 0.01$

## Błąd względny dla formatu sRGB (2)

W kodowaniu sRGB zwiększanie liczby bitów nie niweluje błędu.



Liczba poziomów jasności potrzebna na zapamiętanie danego zakresu luminancji, zachowująca błąd względny poniżej 1%.

## Format HDR Pixar Log Encoding (TIFF)

**Format powstał do nagrywania efektów komputerowych na taśmie filmowej (firma Computer Graphics Division of Lucasfilm (firma została później przekształcona w Pixar)). Taśma filmowa rejestruje 4 rzędy wielkości zakresu luminancji.**

- 11 bitów na każdy kanał R, G i B -> w sumie 33 bity na piksel.
- Skala logarytmiczna kodowania koloru.
- Rejestracja 3.6 rzędów zakresu dynamiki (1:3600) z dokładnością 0.4%.
- Ograniczona gama barw (brak ujemnych wartości składowych koloru).
- Format zaimplementowany w oparciu o bibliotekę TIFF.
- Format używany wewnętrznie w firmie Pixar.

# Format HDR RADIANCE RGBE (.hdr, .pic)

Greg Ward's "Real Pixels" format

Format opracowany przez Greg'a Ward'a w 1985 roku. Wykorzystany w pakiecie Radiance służącym do obliczeń wartości fotometrycznych.



$$\begin{aligned}
 &(145, 215, 87, 149) = \\
 &(145, 215, 87) * 2^{(149-128)} = \\
 &(\mathbf{1190000}, \mathbf{1760000}, \mathbf{713000})
 \end{aligned}$$

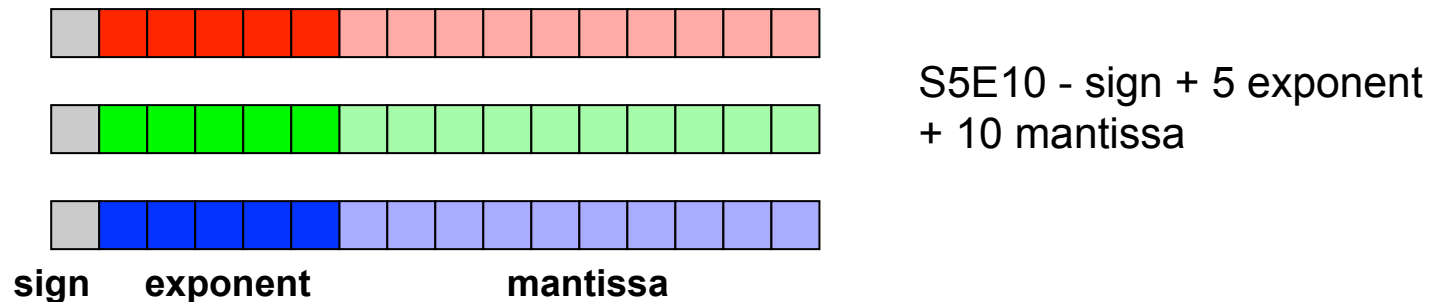
$$\begin{aligned}
 &(145, 215, 87, 103) = \\
 &(145, 215, 87) * 2^{(103-128)} = \\
 &(\mathbf{0.00000432}, \mathbf{0.00000641}, \\
 &\quad \mathbf{0.00000259})
 \end{aligned}$$

- Rejestracja 76 rzędów zakresu dynamiki z krokiem 1%.
- Brak możliwości zapamiętania całej widzialnej gamy kolorów.
- Zbyt mała dokładność kwantyzacji koloru (widoczne artefakty w niektórych obszarach widma).
- Rejestracja bardzo dużego zakresu dynamiki kosztem dokładności.



## Format HDR OpenEXR ILM (.exr)

Format opracowany przez firmę Industrial Light and Magic.



48-bitów na pixel, 16 bitów na składową koloru

- Kanaly RGB kodowane w postaci 16-bitowych liczb zmiennoprzecinkowych (kodowanie zgodne z IEEE-754).
- Rejestruje zakres dynamiki 10.7 z dokładnością 0.1%.
- Rejestruje pełną gamę kolorów dzięki możliwości zapamiętania ujemnych wartości.
- Możliwość kodowania większej liczby kanałów.
- Zaimplementowana kompresja bezstratna (2:1).
- Format zaimplementowany został na kartach graficznych firm nVidia i ATI.
- Istnieje również wersja 32-bitowa (na kanał) formatu.
- Firma ILM udostępnia bezpłatnie kody źródłowe do kompresji i dekompresji formatu (<http://www.openexr.com>).

## Format HDR SGI Log Luv (1)

**Format opracowany w 1997 przez pracowników firmy SGI (miedzy innymi Greg'a Ward'a. Bazuje na kwantyzacji koloru uwzglęniającej progową rozpoznawalność przez człowieka różnic koloru i kontrastu.**

- **Kolor reprezentowany przez kanał luminancji i dwa kanały chrominancji. Dwa warianty kodowania:**
  - 24-bitowy: 10-bitów luminancja, 14 bitów chrominancja
    - zakres dynamiki 4.8 rzędów wielkości
  - 32-bitowy: 16-bitów luminancja, 16 bitów chrominancja
    - zakres dynamiki 38 rzędów wielkości, dokładność kwantyzacji 0.27%
- **Krok kwantyzacji nierozróżnialny dla człowieka.**
- **Luminancja kodowana jest logarytmicznie.**
- **Luminancja może przyjmować ujemne wartości.**
- **Rejestruje całą gamę barw.**
- **Format zaimplementowany w bibliotece TIFF.**

## Format HDR SGI Log Luv (2)

### Konwersja luminancji

$$L_e = \lfloor 256(\log_2 Y + 64) \rfloor$$

$$Y = \exp_2 \left[ \left( \frac{L_e + 0.5}{256} - 64 \right) \right]$$

### Konwersja chrominancji

$$u' = \frac{4x}{-2x + 12y + 3} \quad x = \frac{9u'}{6u' - 16v' + 12}$$

$$v' = \frac{9y}{-2x + 12y + 3} \quad y = \frac{4v'}{6u' - 16v' + 12}$$

$$x = X/(X+Y+Z)$$

$$y = Y/(X+Y+Z)$$

$$XYZ \leftrightarrow L_e u_e v_e$$

Skalowanie wartości pikseli do przedziału  $\langle 0, 0.62 \rangle$

$$u_e = \lfloor 410u' \rfloor$$

$$v_e = \lfloor 410v' \rfloor$$

$$u' = (u_e + 0.5) / 410$$

$$v' = (v_e + 0.5) / 410$$

## Format HDR Microsoft/HP scRGB Encoding

**Format opracowany przez firmy Microsoft i Hewlet-Packard. Podobne do formatu sRGB.**

- **Dwa warianty kodowania koloru:**
  - scRGB: 48-bitów na piksel, 16-bitów na składową koloru (RGB), kodowanie liniowe.  
Zakres dynamiki 3.5 rzędów wielkości.
  - scRGB-nl: 36-bitów na piksel, 12-bitów na składową koloru (RGB), kodowanie gamma.  
Zakres dynamiki 3.2 rzędów wielkości.
- **W innym wariacie składowe kolorów RGB zastępowane są przez YCC tworząc formaty scYCC i scYCC-nl.**
- **Możliwe wykorzystanie ujemnych wartości kanałów.**
- **Kodowanie liniowe i gamma przy założonej kwantyzacji i zakresie dynamiki powoduje powstawanie widocznych artefaktów. Szczególnie nasilone jest to dla dużych wartości luminancji.**
- **W formacie scYCC-nl występuje silna saturacja kolorów w miejscach o dużej jasności.**

## Formaty HDR - Porównanie

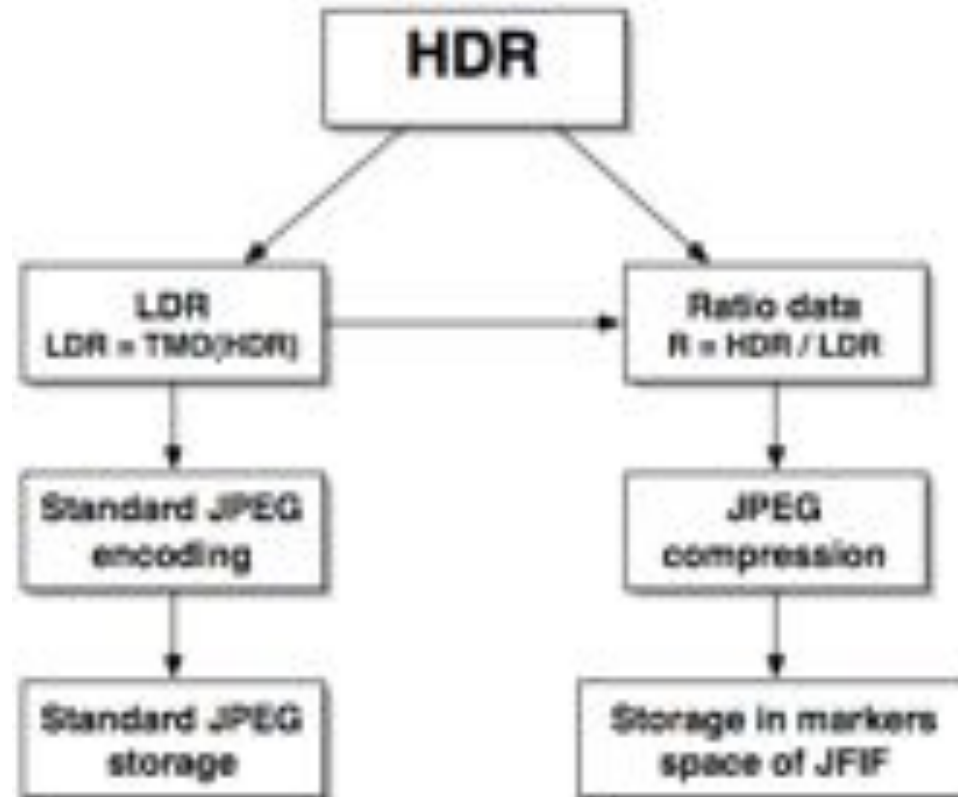
Encoding	Covers Gamut	Bits / pixel	Dynamic Range	Quant. Step
sRGB	No	24	1.6 (1.0:0.025)	Variable
Pixar Log	No	33	3.8 (25.0:0.004)	0.4%
RGBE	No	32	76 ( $10^{38}$ : $10^{-38}$ )	1%
XYZE	Yes			
LogLuv 24	Yes	24	4.8 (15.9:0.00025)	1.1%
LogLuv 32	Yes	32	38 ( $10^{19}$ : $10^{-20}$ )	0.3%
EXR	Yes	48	10.7 (65000:0.0000012)	0.1%
scRGB	Yes	48	3.5 (7.5:0.0023)	Variable
scRGB-nl	Yes	36	3.2 (6.2:0.0039)	Variable
scYCC-nl	Yes			

Zmienna kwantyzacja jest wynikiem liniowego kodowania koloru lub kodowania gamma.

## Format HDR JPEG

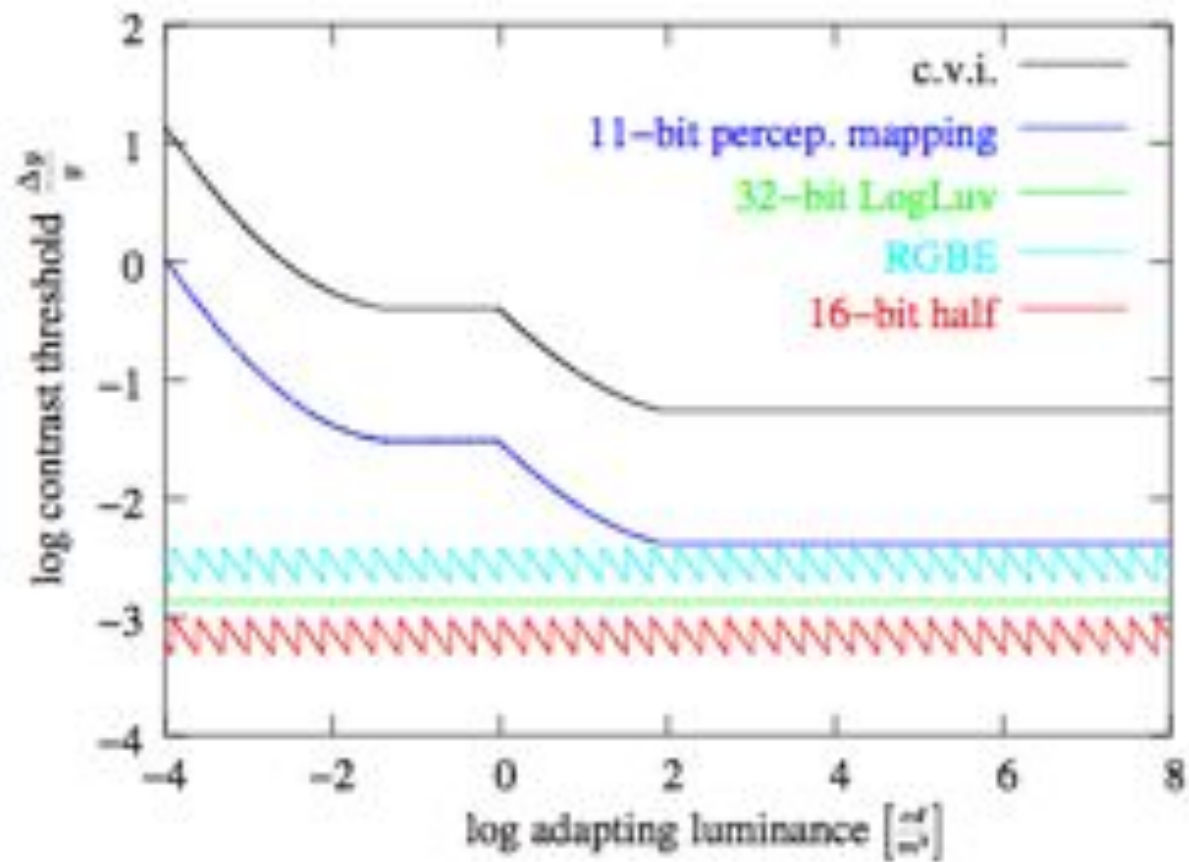
Format zaproponowany przez Greg'a Ward'a. Kompatybilny z formatem JPEG JFIF.

- W markerach formatu JFIF umieszczone są dodatkowe informacje służące do odtworzenia obrazu HDR.
- W głównym kanale pliku umieszczony jest obraz LDR.



# Format HDR MPEG

Percepcyjna kwantyzacja luminancji na 11 bitach.



## Literatura

- Ward, Greg. "Real Pixels," in *Graphics Gems IV*, edited by James Arvo, Academic Press, 1994.
- Greg Ward and Maryann Simmons. Jpeg-hdr: A backwards -compatible, high dynamic range extension to jpeg. In *Proc. of 13th Color Imaging Conference*, November 2005.
- G. Ward Larson. The logluv encoding for full-gamut, high-dynamic range images. *Journal of Graphics Tools*, 3(1):815-30, 1998.
- R. Bogart, F. Kainz, and D. Hess. OpenEXR image file format. In *ACM SIGGRAPH 2003, Sketches & Applications*, 2003.
- Rafał Mantiuk, G. Krawczyk, K. Myszkowski, and H-P. Seidel. Perception-motivated high dynamic range video encoding. *ACM Transactions on Graphics*, 23(3):730-738, 2004.
- Radoslaw Mantiuk and Konrad Kabaja. Effective compression of high dynamic range images. In *Proc. of 5th EURASIP Conference*, pages 13-18, Smolnice, Slovak Republic, June/July 2005.