

# Základy počítačové grafiky

Redukce barevného prostoru

Michal Španěl

Tomáš Milet



Ústav počítačové grafiky a multimédií

Brno 2022

# Cíl přednášky

Jak smysluplně a efektivně pracovat s barvami?

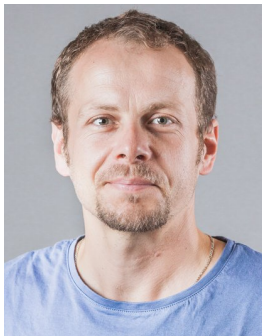
Jak upravit barevná data pro výstup s omezeným počtem barev?



# Obsah

- 1 Úvod
- 2 Achromatické obrazy
- 3 Dithering vs. Halftoning
- 4 Thresholding
- 5 Náhodné rozptýlení
- 6 Distribuce chyby
- 7 Maticové rozptýlení
- 8 Barevná paleta 332
- 9 Příklady

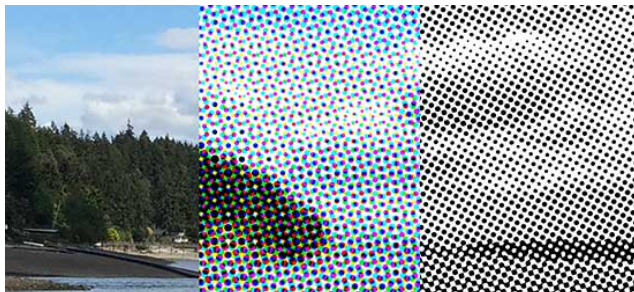
# Jak zobrazit fotku volajícího na černo-bílé displeji?



# Motivace

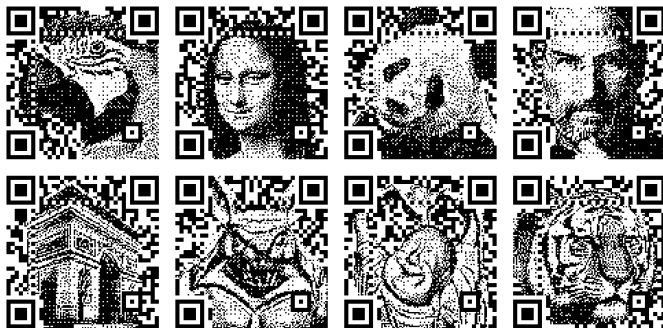
## Redukce barevného prostoru pro výstup s omezeným počtem barev

- Tisk na černo-bílé tiskárně (vytvoření šedotónového obrázku).
- Zobrazení na displeji s pouze 256 barvami (mobilní zařízení).
- Komprese obrazových dat omezením počtu barev.



# Trochu jiné použití...

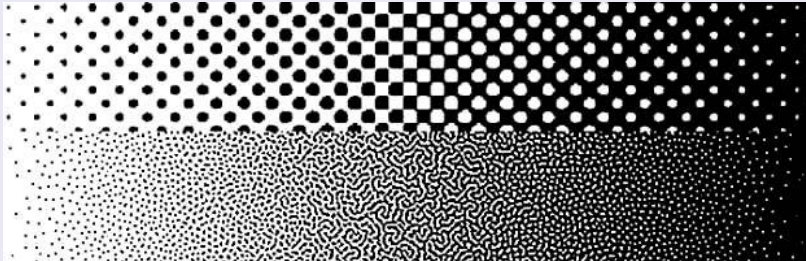
- H.-K. Chu, et al.: Halftone QR Codes (2013) - [http://vecg.cs.ucl.ac.uk/Projects/SmartGeometry/halftone\\_QR/halftoneQR\\_sigga13.html](http://vecg.cs.ucl.ac.uk/Projects/SmartGeometry/halftone_QR/halftoneQR_sigga13.html)



# Základní principy

Integrační schopnost lidského oka - z několika blízkých barevných bodů si vytvoří barevný odstín

- Kombinace černých a bílých bodů dává stupně šedi.
- Kombinace R, G, B bodů dává barevné odstíny.



# Základní principy

## Kompresa obrazu - snížení počtu barev

- Při převodu dochází ke ztrátě dat.



# Obsah

- 1 Úvod
- 2 Achromatické obrazy**
- 3 Dithering vs. Halftoning
- 4 Thresholding
- 5 Náhodné rozptýlení
- 6 Distribuce chyby
- 7 Maticové rozptýlení
- 8 Barevná paleta 332
- 9 Příklady

# Barevné obrazy

- Barevné modely *RGB*, *HSV*, ...
- Typicky tři barevné kanály, každý 8 bitů = *24 bitů na pixel*.



# Achromatické obrazy

## Bílé světlo

Všechny vlnové délky mají stejnou intenzitu.

- $> 80\%$  odrazu - bílá barva.
- $< 3\%$  odrazu - černá barva.

# Achromatické obrazy

## Bílé světlo

Všechny vlnové délky mají stejnou intenzitu.

- $> 80\%$  odrazu - bílá barva.
- $< 3\%$  odrazu - černá barva.

## Vztah barvy a intenzity

- Empirický vztah:

$$I = 0.299R + 0.587G + 0.114B$$

# Převod barevného prostoru na 256 stupňů šedi.



# Achromatické obrazy, pokr.

## Obrazy ve stupních šedi (šedotónové/grayscale obrazy)

- Teoreticky stačí 32-64 stupňů (citlivost oka), prakticky 256 stupňů



# Achromatické obrazy, pokr.

## Černo-bílé (monochromatické, black-and-white, B/W) obrazy

- Jen dvě úrovně - černá/bílá.



# Obsah

- 1 Úvod
- 2 Achromatické obrazy
- 3 Dithering vs. Halftoning**
- 4 Thresholding
- 5 Náhodné rozptýlení
- 6 Distribuce chyby
- 7 Maticové rozptýlení
- 8 Barevná paleta 332
- 9 Příklady



# Metody redukce šedotónového obrazu na černo-bílý

## Dithering (rozptylování)

- Nahrazení původních hodnot intenzity šedé černými a bílými body.
- Snaha o vizuálně maximálně odpovídající podobu.
- Zachovává rozměry obrazu.
- Výstup na obrazovku.

# Metody redukce šedotónového obrazu na černo-bílý

## Dithering (rozptylování)

- Nahrazení původních hodnot intenzity šedé černými a bílými body.
- Snaha o vizuálně maximálně odpovídající podobu.
- Zachovává rozměry obrazu.
- Výstup na obrazovku.

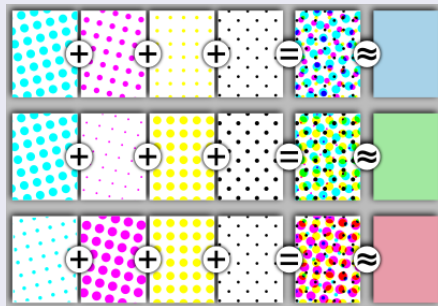
## Halftoning (polotónování)

- Každý pixel nahrazen vzorem černých a bílých bodů dané hodnoty.
- Zvětšuje rozměry obrazu.
- Výstup na tiskárnu.

# Metody redukce šedotónového obrazu na černo-bílý

## Barevné obrazy

- Každý kanál se upravuje zvlášť.
- Další výklad pro převod gray na mono!



# Dithering

## Základní metody

- Prahování
- Náhodné rozptýlení
- Distribuce chyby
- Maticové rozptýlení

# Obsah

- 1 Úvod
- 2 Achromatické obrazy
- 3 Dithering vs. Halftoning
- 4 Thresholding**
- 5 Náhodné rozptýlení
- 6 Distribuce chyby
- 7 Maticové rozptýlení
- 8 Barevná paleta 332
- 9 Příklady

# Prahování (angl. thresholding)

- Rozdělení pixelů obrazu podle prahové hodnoty  $T$ .
- Nejprimitivnější metoda.



# Prahování, pokr.

## Algoritmus

- Vstupní obraz  $I(x,y)$ , výstupní binární obraz  $G(x,y)$ .
- Pro každý pixel obrazu:

$$G(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{pro } I(x,y) \geq T \\ 0 & \text{pro } I(x,y) < T \end{cases}$$

# Prahování, pokr.

## Algoritmus

- Vstupní obraz  $I(x,y)$ , výstupní binární obraz  $G(x,y)$ .
- Pro každý pixel obrazu:

$$G(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{pro } I(x,y) \geq T \\ 0 & \text{pro } I(x,y) < T \end{cases}$$

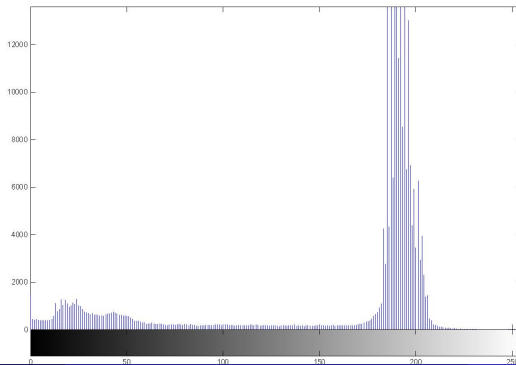
+/-

- Uspokojující pro obrazy s velkým kontrastem.
- Značná degradace obrazu.
- Jak zvolit vhodný práh?



# Optimální výběr prahu

- Práh zvolený uživatelem
- Střední hodnota, medián, apod.
- Analýza histogramu



# Obsah

- 1 Úvod
- 2 Achromatické obrazy
- 3 Dithering vs. Halftoning
- 4 Thresholding
- 5 Náhodné rozptýlení**
- 6 Distribuce chyby
- 7 Maticové rozptýlení
- 8 Barevná paleta 332
- 9 Příklady

# Náhodné rozptýlení

- Hodnota prahu generována náhodně pro každý pixel obrazu.
- Efekt "hrubého zrna" simulující staré fotografie.



# Náhodné rozptýlení, pokr.

## Algoritmus

- Pro každý pixel obrazu:

$$G(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{pro } I(x, y) \geq \text{random}(I_{\max}) \\ 0 & \text{jinak} \end{cases}$$

# Náhodné rozptýlení, pokr.

## Algoritmus

- Pro každý pixel obrazu:

$$G(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{pro } I(x, y) \geq \text{random}(I_{\max}) \\ 0 & \text{jinak} \end{cases}$$

+/-

- Jednoduchá a rychlá metoda.
- Zachovává jasové poměry v obraze.
- Rovnoměrná intenzita u velkých ploch.
- Vhodná pro velké obrazy s konstantními plochami .
- Lze modifikovat pro obecný počet úrovní. **Jak?**

# Náhodné rozptýlení, pokr.

## Algoritmus 2

Pro každý pixel obrazu:

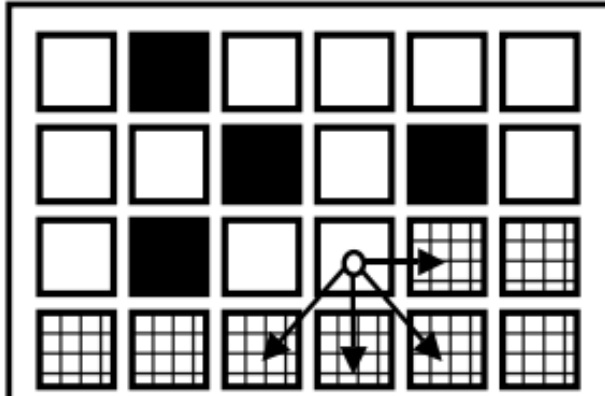
- Inicializuj  $G(x, y) = 0$
- Generuj náhodné prahy  $T_1, \dots, T_n$
- Je-li  $I(x, y) > T_i$ , pak  $G(x, y)_+ = 1$

# Obsah

- 1 Úvod
- 2 Achromatické obrazy
- 3 Dithering vs. Halftoning
- 4 Thresholding
- 5 Náhodné rozptýlení
- 6 Distribuce chyby**
- 7 Maticové rozptýlení
- 8 Barevná paleta 332
- 9 Příklady

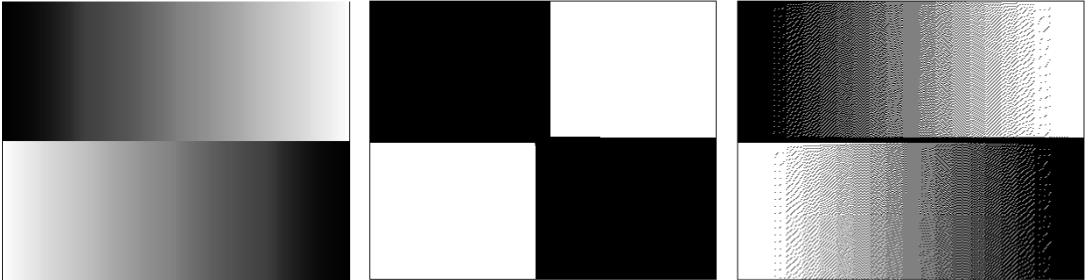
# Distribuce chyby

- Distribuce vznikající chyby okolním pixelům.
- Maximální využití vstupní informace.





# Prahování vs. prahování s distribucí chyby



# Distribuce chyby

## Algoritmus

Pro každý pixel obrazu:

- Urči hodnotu  $G(x, y)$  podle dané metody rozptýlení.
- Výpočti chybu  $E$   
Je-li  $G(x, y) = 1$ , pak  $E = I(x, y) - I_{max}$   
jinak  $G(x, y) = 0$  a  $E = I(x, y) - 0$
- Distribuce chyby sousedům (modifikace hodnot pixelů).

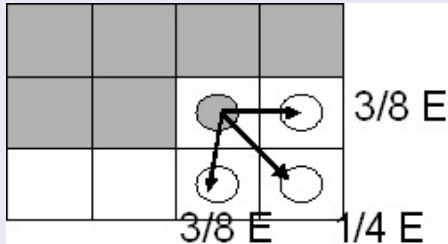
# Příklad rozptýlení s distribucí chyby



# Distribuce chyby, pokr.

- Různé metody rozptýlení hodnot (nejčastěji prahování).
- Různé metody distribuce chyby (Floyd, Bayer, Burkes, Stucky).

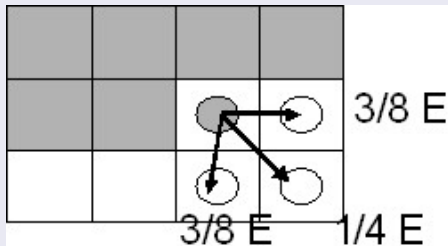
## Floyd-Steinberg



# Distribuce chyby, pokr.

- Různé metody rozptýlení hodnot (nejčastěji prahování).
- Různé metody distribuce chyby (Floyd, Bayer, Burkes, Stucky).

## Floyd-Steinberg



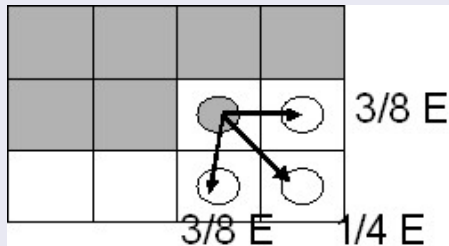
## Pozn.

- Pozor na přetečení rozsahu hodnot pixelu!
- Jak by se dalo řešit?

# Distribuce chyby, pokr.

- Různé metody rozptýlení hodnot (nejčastěji prahování).
- Různé metody distribuce chyby (Floyd, Bayer, Burkes, Stucky).

## Floyd-Steinberg



## Pozn.

- Pozor na přetečení rozsahu hodnot pixelu!
- **Jak by se dalo řešit?**
- Omezení (saturace) hodnot
- Pomocný řádkový buffer o velikosti  $N + 1$

# Příklady



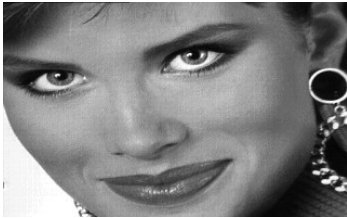
Originální barevný RGB obraz



Barevný obraz s paletou 16 barev.

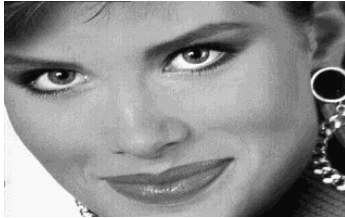


Barevný obraz s paletou 16 barev. Použita distribuce chyby.



256 stupňů šedi

(FIT VUT v Brně)



16 stupňů šedi.

Základy počítačové grafiky



16 stupňů šedi, distribuce chyby

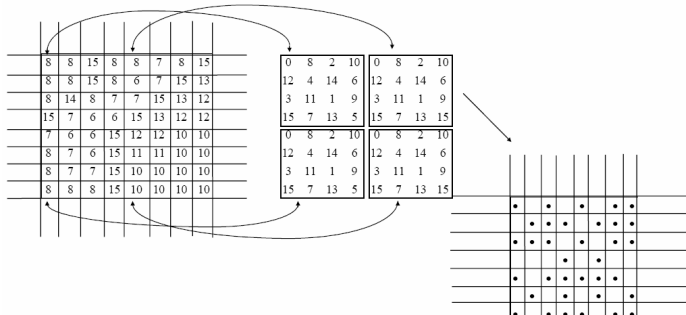
# Obsah

- 1 Úvod
- 2 Achromatické obrazy
- 3 Dithering vs. Halftoning
- 4 Thresholding
- 5 Náhodné rozptýlení
- 6 Distribuce chyby
- 7 Maticové rozptýlení**
- 8 Barevná paleta 332
- 9 Příklady



# Maticové rozptýlení

- Porovnání pixelů obrazu s odpovídajícími hodnotami distribuční (rozptylovací) matice a prahování.
- Dithering - plochu obrazu pokryjeme maticemi.
- Halftoning - každý pixel nahradíme maticí.



# Maticové rozptýlení

## Algoritmus

Pro každý pixel obrazu:

- Inicializuj  $G(x, y) = 0$
- Je-li  $I(x, y) > M_{x_m, y_m}$ , pak  $G(x, y) + = 1$   
 $x_m = x \bmod n$   
 $y_m = y \bmod n$   
 $n \dots$  řád matice

# Rozptylové matice $n \times n$ různých řádů


1

	•

2

	•
•	

3

•	•
•	

4

•	•
•	•

5

$$\approx^{(2)} T = \begin{bmatrix} 3 & 1 \\ 2 & 4 \end{bmatrix}$$


	•	

•	•	

	•	
•	•	

	•	
•	•	
		•

	•	
•	•	•
	•	

•	•	
•	•	•
	•	

•	•	
•	•	•
	•	•

$$\approx^{(3)} T = \begin{bmatrix} 7 & 9 & 5 \\ 2 & 1 & 4 \\ 6 & 3 & 8 \end{bmatrix}$$

•	•	
•	•	•
•	•	•

•	•	•
•	•	•
•	•	•

# Rozptylové matice, pokr.

## Příklady používaných matic

$$M_d = \begin{pmatrix} 0 & 12 & 3 & 15 \\ 4 & 8 & 11 & 7 \\ 2 & 14 & 1 & 13 \\ 10 & 6 & 9 & 5 \end{pmatrix}, \quad M_p = \begin{pmatrix} 1 & 5 & 9 & 2 \\ 8 & 12 & 13 & 6 \\ 4 & 15 & 14 & 10 \\ 0 & 11 & 7 & 3 \end{pmatrix}$$

# Rozptylové matice, pokr.

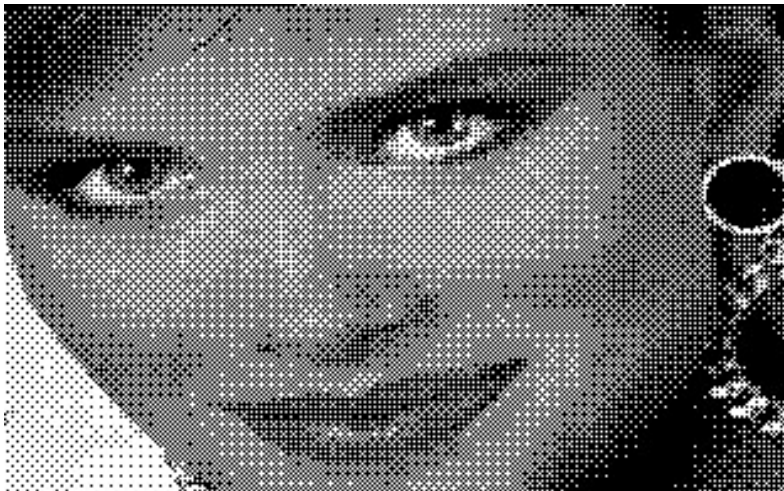
## Příklady používaných matic

$$M_d = \begin{pmatrix} 0 & 12 & 3 & 15 \\ 4 & 8 & 11 & 7 \\ 2 & 14 & 1 & 13 \\ 10 & 6 & 9 & 5 \end{pmatrix}, \quad M_p = \begin{pmatrix} 1 & 5 & 9 & 2 \\ 8 & 12 & 13 & 6 \\ 4 & 15 & 14 & 10 \\ 0 & 11 & 7 & 3 \end{pmatrix}$$

## Pozn.

- Matice vyšších řádů lze algoritmicky vytvářet z menších.
- Pozor na permutace uvnitř a na okrajích matice → artefakty (pruhy, vzory) v obraze.

# Dithering pomocí matice $M_d$ .



# Halftoning pomocí matice $M_p$ - upravený rozměr.



# Obsah

- 1 Úvod
- 2 Achromatické obrazy
- 3 Dithering vs. Halftoning
- 4 Thresholding
- 5 Náhodné rozptýlení
- 6 Distribuce chyby
- 7 Maticové rozptýlení
- 8 Barevná paleta 332**
- 9 Příklady



# Barevná paleta 332

- Redukce RGB obrazu (16 mil. barev) na 256 barevný obraz.
- R,G kanály - 3 bity.
- B kanál - 2 bity.

# Barevná paleta 332

- Redukce RGB obrazu (16 mil. barev) na 256 barevný obraz.
- R,G kanály - 3 bity.
- B kanál - 2 bity.

## Algoritmus

Pro každý pixel obrazu:

- Nalezni nejbližší barvu z palety 332  $\rightarrow$  index  $i$ .
- Nastav hodnotu pixelu  $G(x,y) = i$ .
- Případně určení chyby hodnot R, G, B a distribuce chyby.

Příklad redukce barevného prostoru RGB zmenšením počtu barev paletou 332.



Příklad redukce barevného prostoru RGB zmenšením počtu barev paletou 332.



# Generování barevné palety 332

## Výpočet barev

$$R = ((i >> 5) * 255) / 7$$

$$G = (((i >> 2) \& 7) * 255) / 7$$

$$B = ((i \& 3) * 255) / 3$$

# Generování barevné palety 332

## Výpočet barev

$$R = ((i \gg 5) * 255) / 7$$

$$G = (((i \gg 2) \& 7) * 255) / 7$$

$$B = ((i \& 3) * 255) / 3$$

## Index barvy v paletě

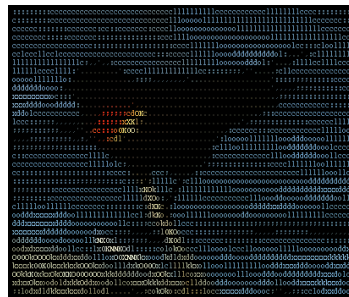
$$I = (R_3 \ll 5) + (G_3 \ll 2) + B_2$$

# Obsah

- 1 Úvod
- 2 Achromatické obrazy
- 3 Dithering vs. Halftoning
- 4 Thresholding
- 5 Náhodné rozptýlení
- 6 Distribuce chyby
- 7 Maticové rozptýlení
- 8 Barevná paleta 332
- 9 Příklady**

# ASCII Art

- Obrázce tvořené ASCII znaky.
- Využívají integrační vlastnost lidského oka.



[http://en.wikipedia.org/wiki/ASCII\\_art](http://en.wikipedia.org/wiki/ASCII_art)



# Převod šedotónového obrazu do ASCII

- Části obrazu o velikosti nahradíme jedním znakem (bloky např.  $7 \times 12$ ).
- Vhodný znak vybereme na základě průměrné intenzity v bloku.
- Černý blok ( $\sim 0$ )  $\rightarrow$  ' '
- Bílý blok ( $\sim 255$ )  $\rightarrow$  '#'

# Převod šedotónového obrazu do ASCII

- Části obrazu o velikosti nahradíme jedním znakem (bloky např.  $7 \times 12$ ).
- Vhodný znak vybereme na základě průměrné intenzity v bloku.
- Černý blok ( $\sim 0$ )  $\rightarrow$  ' '
- Bílý blok ( $\sim 255$ )  $\rightarrow$  '#'

## Příklady používaných znakových sad

"# "
"10"
"@%#*+=-:~."
"#WMNRXVYlti+=;,:~."

# Převod obrazu do ASCII

[illegible]

## A black and white close-up portrait of a woman with a warm, smiling expression. She has dark, well-defined eyebrows, large dark eyes, and full lips. She is wearing large, dark hoop earrings. The lighting is soft, highlighting her facial features. The background is dark and out of focus.

[illegible]

# Převod obrazu do ASCII



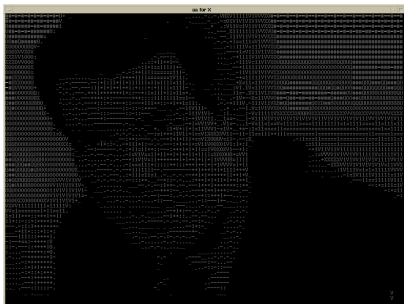
```

MNNRRRRNRRXRRXXUYVIttttttIItiitttiii++++=====+iitttIYUXUYtIYXRMMWWWRUXUYXXNW
NNNNNNRRRRNRRXUVIIttiii+tIii+++++iii+i++++=====+iitttttttttttIUXNMWWWNXUUYIYRW
NNMMNNNNNRRXUYVtiii+iii+i++++=====+iitttttttttttIUXNNNNNRRXXUUYIIR
MMMMNNNRRXUYItti++++=====+iitttttttttttIYVXXRRRRRXUYI
MMMMNNRRXXUYItti+=====+iitttttttttttIYUUUYVUXRRNRXYI
MMNNNRXXUYItti++++=====+iitttttttttttIYUUUYIIttttttIYVUIXRNNNRUIT
RRRRXUYVYIi++++=====+iitttttttttttIYUUUYIUNNRXYIX
UUUYVItti+=====+iitttttttttttIYUUUYXNRUIIYM
RXXUYItti+=====+iitttttttttttIYUUUYXNRUIIYM
XXXXXXXXXXXXXXXXXUYVIt+=====+iitttttttttttIYUUUYXNRUIIYM
UUUUUXRRNNMMNNMMNNRUYti+=====+iitttttttttttIYUUUYXNRUIIYM
UXRRNNWWWU+XUYVWUWU+ii+=====+iitttttttttttIYUUUYXNRUIIYM
tIYXNMRI;,+tYVYt;+i=====+iitttttttttttIYUUUYXNRUIIYM
i+itIXRXYtiii++++=====+iitttttttttttIYUUUYXNRUIIYM
i+++++tIiIYIttiii++++=====+iitttttttttttIYUUUYXNRUIIYM
iii+=====+iitttttttttttIYUUUYXNRUIIYM
=i+=====+iitttttttttttIYUUUYXNRUIIYM
.i+=====+iitttttttttttIYUUUYXNRUIIYM
.;iii+=====+iitttttttttttIYUUUYXNRUIIYM
..=tii+=====+iitttttttttttIYUUUYXNRUIIYM
...=tii+=====+iitttttttttttIYUUUYXNRUIIYM
....;iiii+=====+iitttttttttttIYUUUYXNRUIIYM
.....=tttttttttttIYUUUYXNRUIIYM
.....,itIIttttttttIYUUUYXNRUIIYM
.....=tttttttttIYUUUYXNRUIIYM
.....,tttttttIYUUUYXNRUIIYM
.....,iti+=====+iitttttttttttIYUUUYXNRUIIYM
,....,iti+=====+iitttttttttttIYUUUYXNRUIIYM

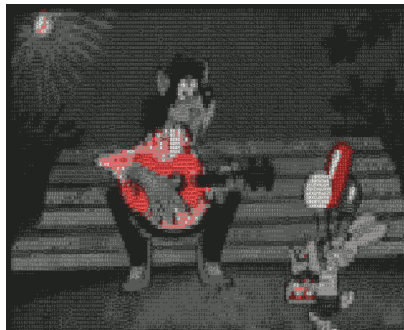
```

# Video v ASCII

- Vyzkoušejte MPlayer ...



<http://www.mplayerhq.hu/>



<http://www.root.cz/clanky/mplayer-a-mencoder-hrajeme/>