
Monochromatické zobrazování

© 1995-2001 Josef Pelikán
KSVI MFF UK Praha

e-mail: Josef.Pelikan@mff.cuni.cz

WWW: <http://cgg.ms.mff.cuni.cz/~pepca/>

Vnímání šedých odstínů

- ◆ šedý odstín má jediný **atribut**
 - **intenzita** (fyzikální smysl, vyzařovaná energie)
 - **jas** (subjektivní vjem člověka)
- ➔ vztah mezi intenzitou a jasnem **není lineární**
 - člověk vnímá intenzity **relativně**
 - pro rovnoměrně odstupňované jasové odstíny je třeba použít **logaritmickou stupnici** intenzit
 - minimální zobrazitelná intenzita: $I_0 = 0.005 \div 0.025$,
ostatní intenzity $I_j = I_0 * r^j$ ($r \cong 1.015$ pro 256 odstínů)

Gamma korekce

- ◆ intenzita světla vyzařovaného stínítkem monitoru **nezávisí lineárně** na hodnotě napětí přiváděného do monitoru
 - $I = K \cdot V^\gamma$, kde **I** je **intenzita světla**, **V** **hodnota pixelu** a **K**, γ konstanty závislé na **typu monitoru** (exponent γ má typickou hodnotu **2.2 ÷ 2.5**)
 - požadovaná hodnota pixelu $V_j = (I_j/K)^{1/\gamma}$
- ➔ “**gamma-korekce**” se často provádí už při digitalizaci obrázku (přepočítání jen při změně monitoru)

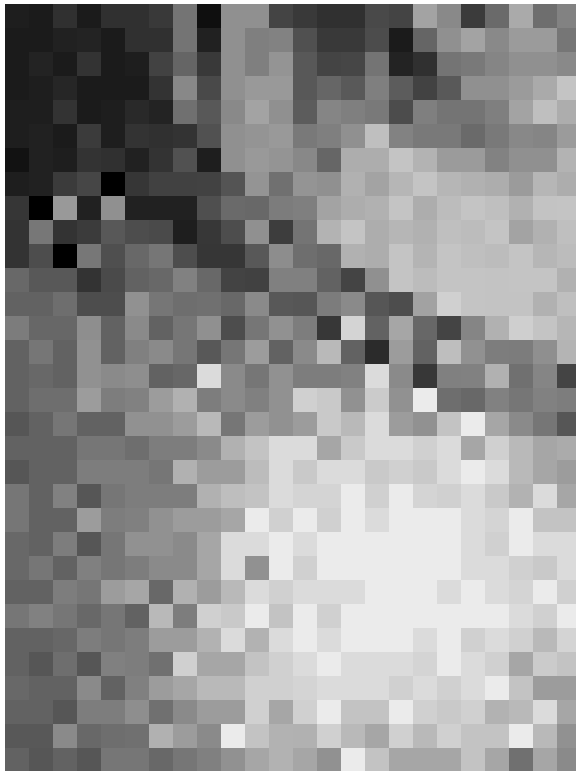
Počet odstínů šedi

- ◆ počet potřebných zobrazovacích odstínů n závisí na dynamickém rozsahu výstupního zařízení (předpokládáme $r = 1.01$):

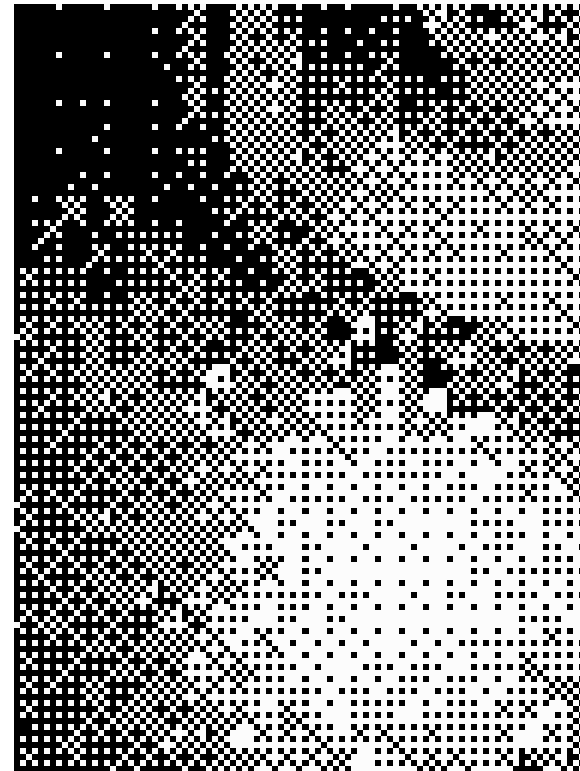
zařízení	dynamika ($1/I_0$)	n
displej	50-200	400-530
fotografie	100	465
diapozitiv	1000	700
černobílý tisk	100	465
barevný tisk	50	400

- ➔ na **displeji** většinou postačí **64 ÷ 256** úrovní šedi

Půltónování a rozptylování



odstíny šedi



**černobílé výstupní
zařízení**

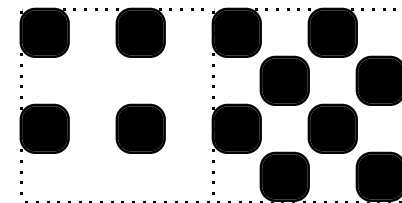
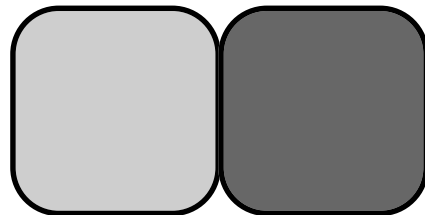
Půltónování a rozptylování

- ◆ napodobení vjemu šedých (barevných) odstínů na zařízení s **malým barevným rozlišením**
 - zvětšují barevné rozlišení na úkor prostorového
 - typické použití: **černobílé tiskárny** nebo displeje
- ◆ **půltónování** (“halftoning”): na výstupu mohou zvětšit rastrové rozlišení obrázku (1 : N)
- ◆ **rozptylování** (“dithering”): musím zobrazovat bez zvětšování (1 : 1)

Půltónování

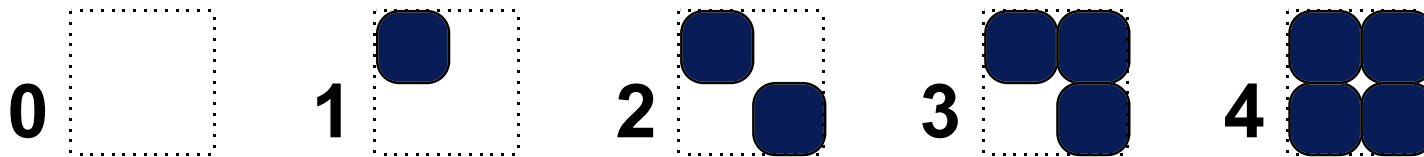
- ◆ situace: výstupní zařízení umí zobrazovat pouze **černé body (1)** na **bílém pozadí (0)**
- ◆ jeden vstupní pixel (s rozsahem hodnot $0 \div N^2$) nakreslím jako **čtverec $N \times N$ pixelů** na výstupu
 - výsledný vjem šedého odstínu závisí na počtu černých bodů v rastru $N \times N$

odstíny
číslo 4 a 8
(ze škály $0 \div 16$)

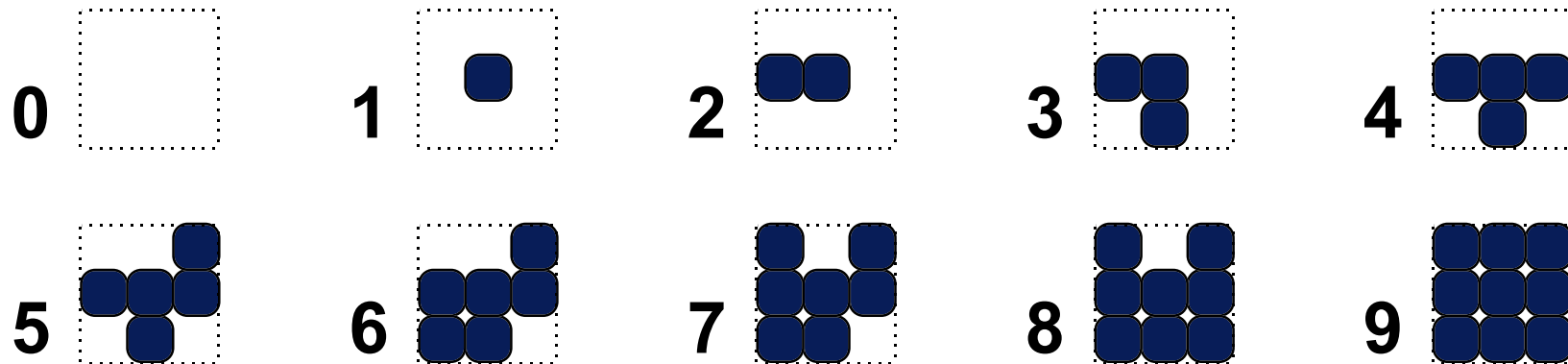


Půltónovací rastry

pravidelný rastr 2×2



rastr 3×3



Inkrementální rastry

- ◆ půltónovací rastr je **inkrementální**, jestliže:
 - vzorek odstínu **k** obsahuje právě **k** černých pixelů
 - dva sousední vzorky (**k** a **k+1**) se mezi sebou liší právě v jednom pixelu (**k+1** má o jeden černý pixel více)

➔ inkrementální rastr lze uložit do **matice** velikosti $\mathbf{N} \times \mathbf{N}$ obsahující celá čísla $\mathbf{0} \div \mathbf{N}^2 - \mathbf{1}$

– např. $\mathbf{M} = \begin{matrix} \mathbf{6} & \mathbf{8} & \mathbf{4} \\ \mathbf{1} & \mathbf{0} & \mathbf{3} \\ \mathbf{5} & \mathbf{2} & \mathbf{7} \end{matrix}$

Pravidelný rastr

I) velikost 2×2 : $M^{(2)} = \begin{bmatrix} 0 & 2 \\ 3 & 1 \end{bmatrix}$

II) přechod $N \times N \rightarrow 2N \times 2N$:

$$M^{(2N)} = \begin{bmatrix} 4M^{(N)} & 4M^{(N)} + 2J^{(N)} \\ 4M^{(N)} + 3J^{(N)} & 4M^{(N)} + J^{(N)} \end{bmatrix}$$

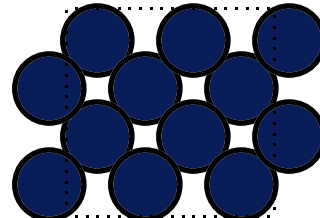
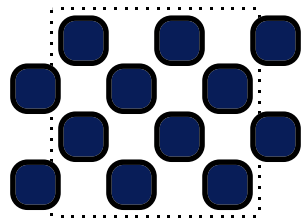
matice $J^{(N)}$ je typu $N \times N$ a obsahuje samé jedničky

Pravidelný rastr

$$\mathbf{M}^{(4)} = \begin{bmatrix} 0 & 8 & 2 & 10 \\ 12 & 4 & 14 & 6 \\ 3 & 11 & 1 & 9 \\ 15 & 7 & 13 & 5 \end{bmatrix}$$

- ◆ body pravidelných vzorků jsou vždy rozmístěny **rovnoměrně**
- ➔ **pravidelný rastr** je vhodný pro **obrazovku** a některé tiskárny (jehličkové s malým rozlišením)

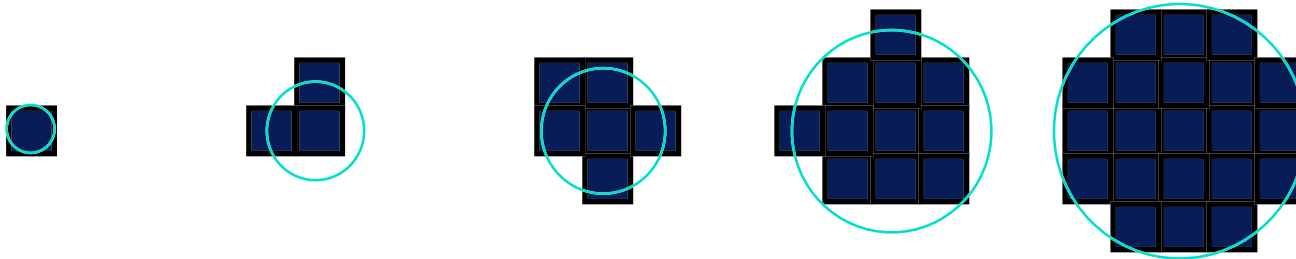
Pravidelný rastr na tiskárně



odstín 8 na obrazovce a tiskárně s velkým rozlišením

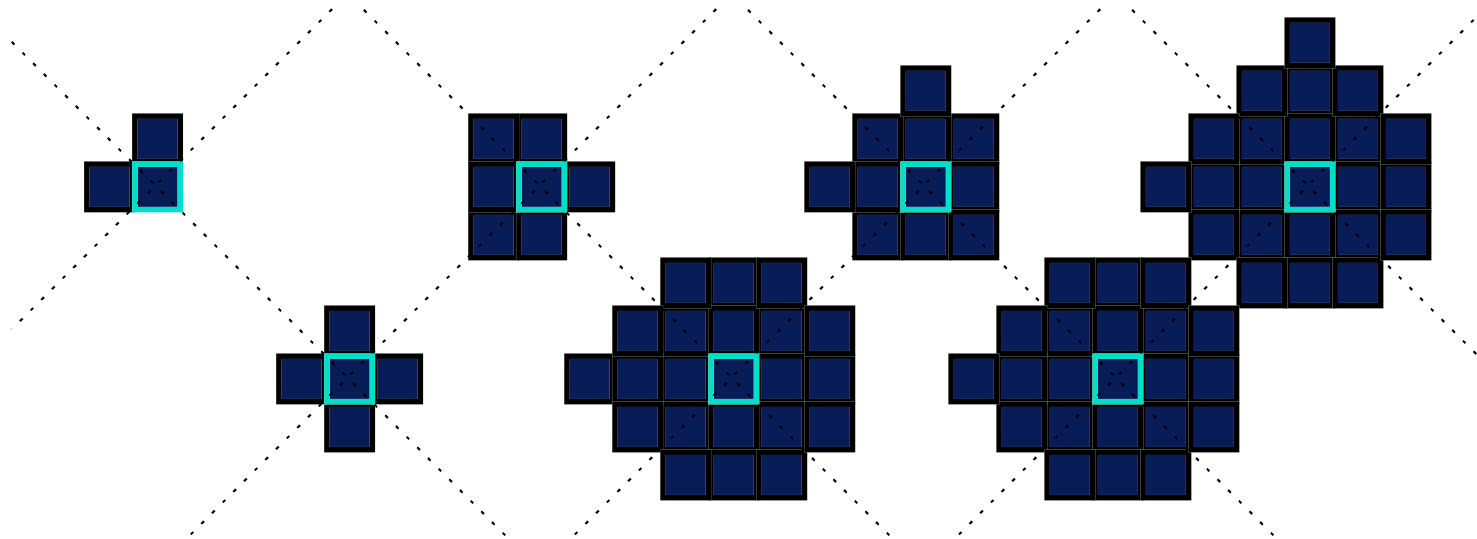
- ➔ u vyšších odstínů se sousední kapičky barvy **slévají**
- ➔ nižší odstíny obsahují **samostatné tečky**, které se špatně udrží na papíře

Tečkový rastr (“screen”)



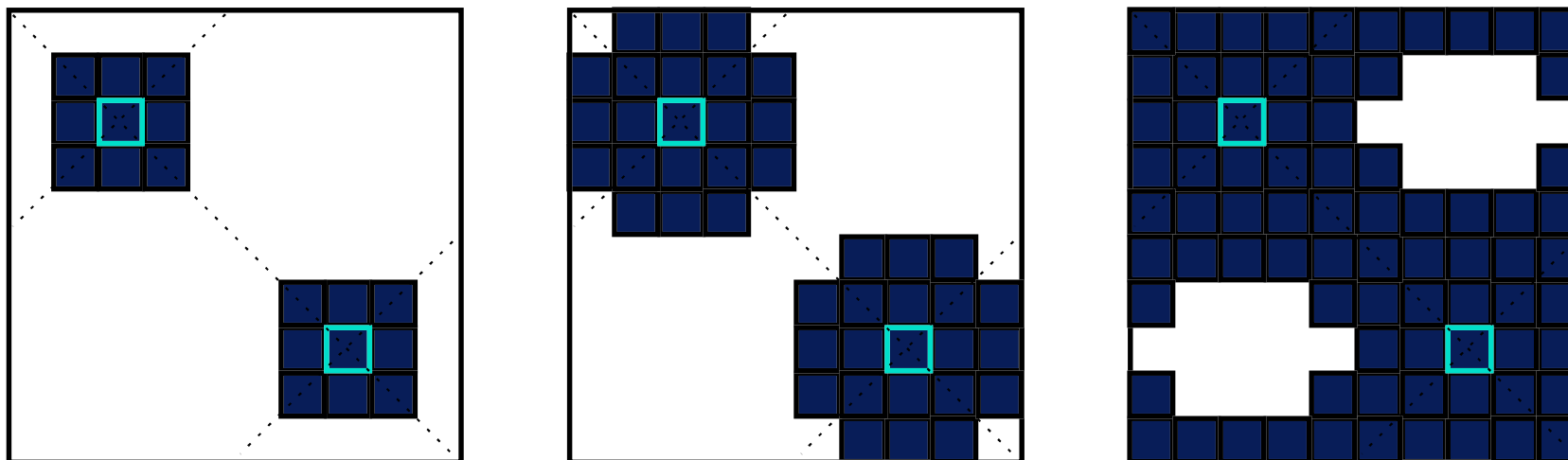
- ◆ jednotlivé vzorky jsou tvořeny **tečkami** různých poloměrů
 - netisknou se samostatné kapičky (až na odstín č.1)
 - rozpíjení kapiček způsobí pouze malou změnu poloměru teček

Tečkový rastr - otáčení



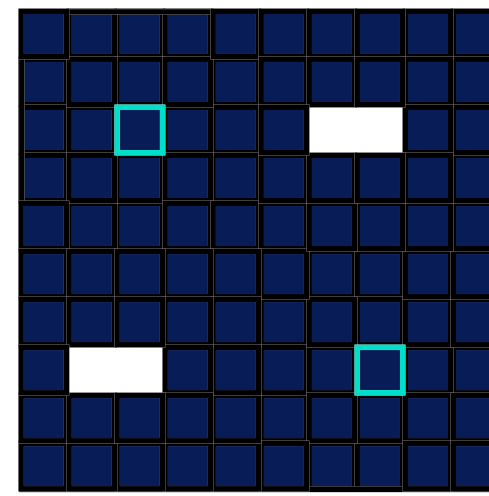
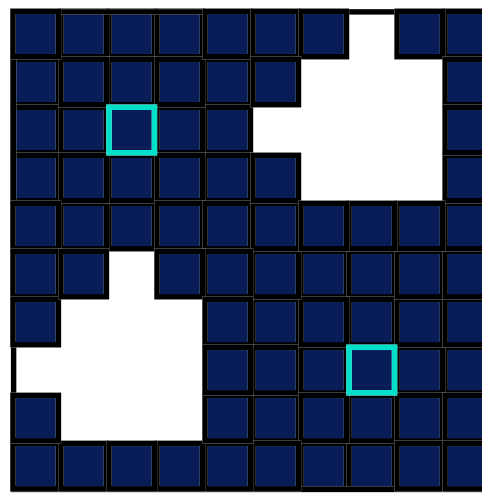
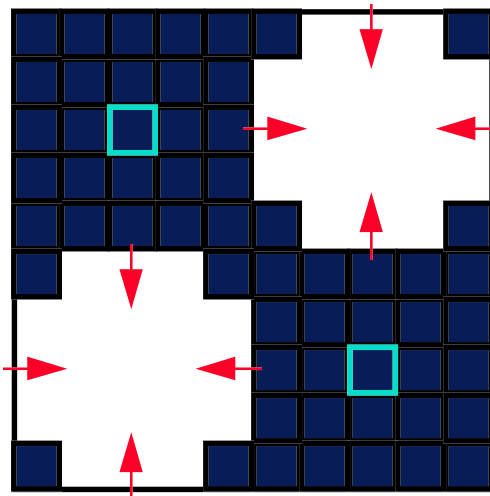
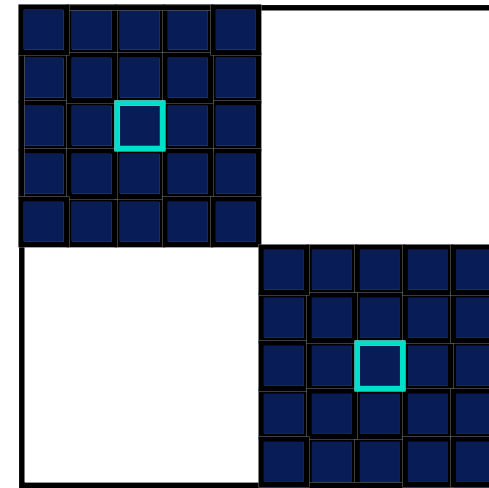
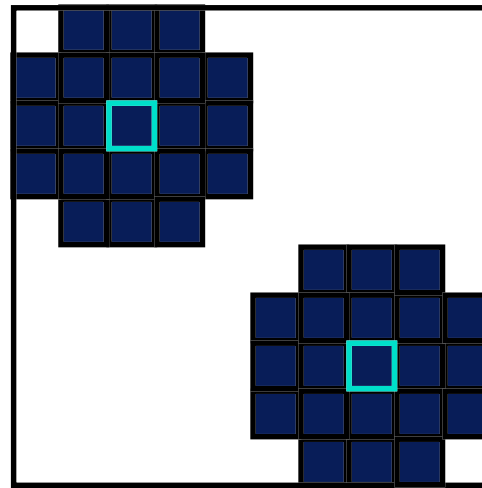
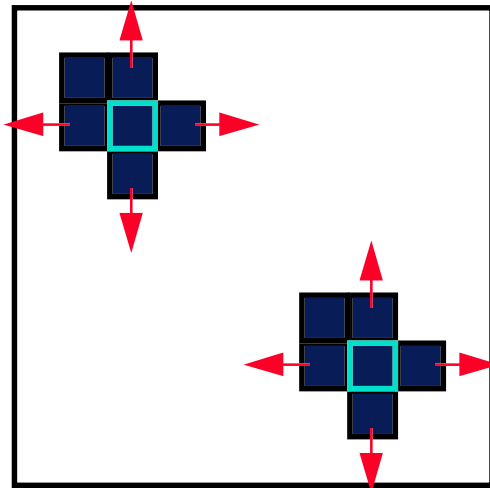
- ◆ tečkový rastr se často **otáčí** (o 45°, 15°, 75°, ..)
 - eliminují se svislé a vodorovné linie (nejzřetelnější pro lidské oko)
 - pro racionální směrnice lze tečky ukládat v matici

Varianty tečkového rastru



- ➔ **čtvercové tečky** (problémy při jemných přechodech odstínů - “vignettes”)
- ➔ **kruhové tečky** (plus různé modifikace)

Konstrukce tečkového rastru

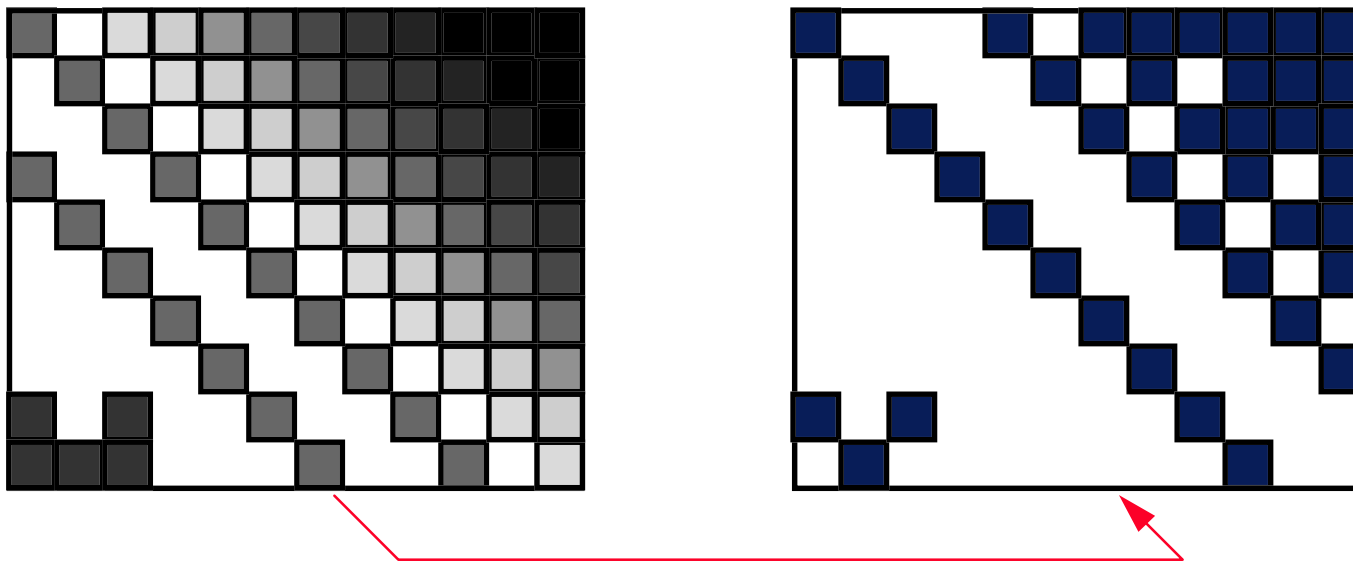


Maticové rozptylování

- ◆ zobrazuje se v **měřítku 1:1** (jeden vstupní pixel na jeden výstupní pixel)
- ◆ lze použít libovolnou **půltónovací matici**
 - nejčastěji se používá matice pravidelného rastru
- ➔ několik sousedních pixelů sdílí jednu matici:

```
procedure MatrixDither ( x, y, color : integer );  
begin  
  if M[ y mod N, x mod N ] < color  
  then PutPixel (x,y,1)  
  else PutPixel (x,y,0) ;  
end;
```

Maticové rozptylování



- ➔ **drobné detaily** (čáry) bývají velmi zkreslené
- ➔ při použití **neinkrementálního rastru** by mohly být zvýrazněny hranice mezi sousedními odstíny

Náhodné rozptylování

- ◆ šum a nahodilost jsou pro lidské oko přirozenější než pravidelný rastr

➔ velmi jednoduchá implementace:

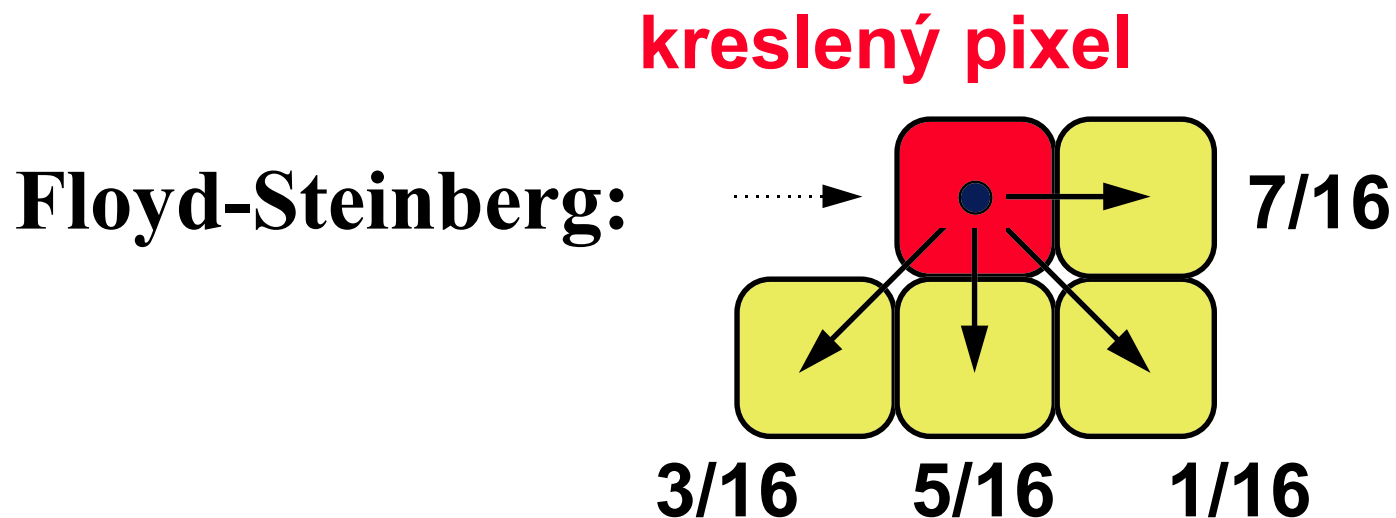
```
procedure RandomDither ( x, y, color : integer );  
begin  
  if Random(MaxGray) < color  
  then PutPixel(x,y,1)  
  else PutPixel(x,y,0);  
end;
```

- ◆ u **Č/B obrázků** je výstup příliš zašuměný
– lepší výsledky dává při **více výstupních odstínech**

Metody distribuce chyby

- ➔ intenzitu kresleného pixelu **zaokrouhlím** na nejbližší zobrazitelnou hodnotu a nakreslím ji:
 - **0/1** pro Č/B výstupní zařízení
 - **0, 1, .. K** pro víceúrovňové zařízení
- ➔ **rozdíl mezi požadovanou a skutečně zobrazenou intenzitou** rozdělím ve vhodném poměru do sousedních pixelů
 - je zachován lokální poměr počtu černých a bílých pixelů (odpovídající vstupnímu odstínu)
 - chyba se předává jen do dosud nenakreslených pixelů


Metoda distribuce chyby




- ➔ kreslení musí postupovat **po řádkách**
 - řádky lze procházet střídavě zleva a zprava
- ➔ pro **akumulaci chyb** na následující řádce je nutné použít **pomocný buffer**

Jiné distribuční filtry


F. Sierra:

		1/2
1/4	1/4	0

**J. Jarvis,
C. Judice,
W. Ninke:**

			7	5	
3	5	7	5	3	/ 48
1	3	5	3	1	

Stucki:

			8	4	
2	4	8	4	2	/ 42
1	2	4	2	1	

Metody distribuce chyby

- + **vysoká kvalita** výstupu na monitoru
 - vzorek je nepravidelný a příjemný pro lidské oko
- ➔ **nevýhody:**
 - nutnost kreslit výstup **po řádkách**
 - není možné se **vracet zpět** (proto se nepoužívá ve vyplňovacích rutinách grafických knihoven)
 - je potřeba **pomocný buffer** minimálně na 1 řádku
 - větší **časová náročnost**

Více výstupních odstínů

- ◆ na výstupu předpokládáme **$K+1$ odstínů**
 - **$0 \div K$** (**0** .. bílá, **K** .. černá)
- ◆ naše rozptylovací metoda umí zpracovat **$M+1$ vstupních odstínů** do dvou výstupních barev:
 - vstup: **$0 \div M$**
 - výstup: **$0 / 1$**
- ➔ na vstupu kombinované metody může být **$K * M + 1$ odstínů**

Více výstupních odstínů

```
function Dither ( x, y, color : integer ) : integer;  
    { vstupní odstín: 0 až M, vrací 0 nebo 1 }  
...  

```

```
procedure MultiDither ( x, y, color : integer );  
    { vstupní odstín: 0 až K*M, kreslený odstín: 0 až K }  
var base : integer;  
begin  
    base := color div M;           { 0 <= base <= K }  
    PutPixel(x,y, base + Dither(x,y,color mod M) );  
end;
```

Literatura

- **J. Foley, A. van Dam, S. Feiner, J. Hughes:** *Computer Graphics, Principles and Practice*, 563-573
- **V. Skala:** *Algoritmy počítačové grafiky III*, skriptum ZČU, 1992, 5-22
- **Jiří Žára a kol.:** *Počítačová grafika*, principy a algoritmy, 329-335

Konec

Další informace:

- **J. Jarvis, C. Judice, W. Ninke: *A Survey of Techniques for the Image Display of Continuous Tone Pictures on Bilevel Displays*, CGIP vol.5, #1, March 1976**
- ➔ **LAN na Malé Straně:**
 - **barbora\usr:\vyuka\pelikan\3**