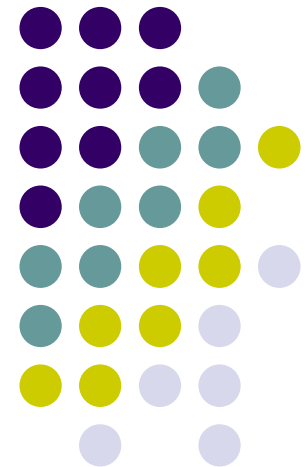


# Otipkavanje i kvantizacija

---

Prof. dr.sc Sven Lončarić  
<http://www.fer.hr/predmet/obrinf>





# Pregled tema

- Uvod
- 2-D teorija otipkavanja
- Praktični aspekti otipkavanja
- Kvantizacija



# Uvod

- Osnovni uvjet za digitalnu obradu slike je da je slika u digitalnom obliku tj. u obliku polja brojeva prikazanih u konačnoj preciznosti
- Da bi se dobila slika u digitalnom obliku potrebno je kontinuiranu sliku prostorno otipkati i svaki uzorak kvantizirati koristeći konačan broj bitova
- Slika se tada može obrađivati pomoću digitalnog računala



# Konvencija

- Slika s  $M$  redaka i  $N$  kolona ( $M \times N$ ) može se predstaviti na sljedeći način:

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \cdots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \cdots & f(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \cdots & f(M-1,N-1) \end{bmatrix}$$



# Terminologija

- Otipkavanje slike = pretvorba iz prostorno kontinuirane u diskretnu sliku (diskretizacija prostornih koordinata)
- Kvantizacija sivih tonova = diskretizacija amplitudne vrijednosti otipkanih uzoraka slike



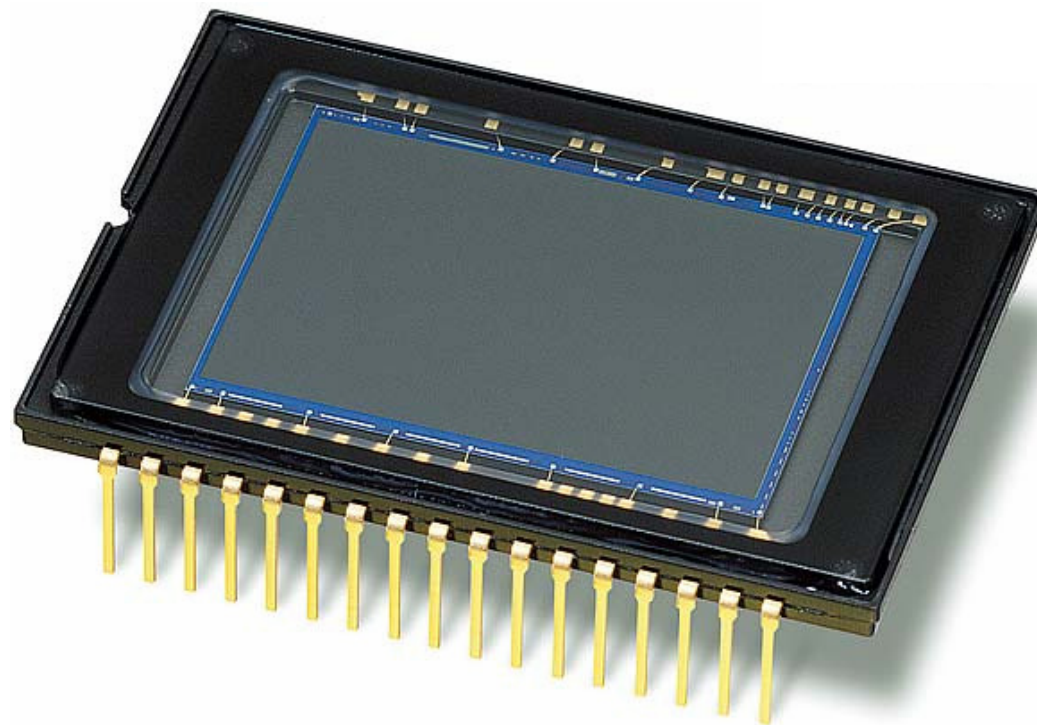
# Realizacija otipkavanja

- Uobičajeni način otipkavanja slike je prolaženje kroz sliku red po red i otipkavanje svakog reda
- Primjeri otipkavanja:
  - CCD i CMOS senzori
  - scan-in uređaji



# CCD i CMOS senzori slike

- Primjer: CCD i CMOS senzori
- Pretvaraju svjetlo u električni naboj, te zatim u električni signal





# CCD i CMOS senzori slike

- Oba senzora imaju svoje prednosti i mane:
  - Složenost senzora (manja kod CCD)
  - Složenost popratne logike (manja kod CMOS)
  - Šum (manji kod CCD)
  - Potrošnja (manja kod CMOS)
- Paralelno se razvijaju obje tehnologije
- Obje tehnologije imaju svoje mjesto i svoje primjene

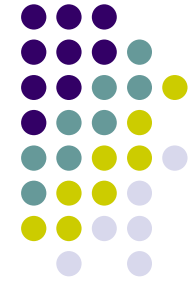




# Laserski skeneri

- Objekt se “skenira” pomoću tankog kolimiranog snopa svjetla (laser) koji osvjetljava samo jednu točku dokumenta u svakom trenutku
- Leće prenose reflektirano svjetlo na foto detektor
- Ova metoda koristi se za visoke rezolucije
  - plošni skeneri (danas najčešći – koriste tri linijska CCD senzora za RGB)
  - skeneri sa rotirajućim bubnjem (dokument se pričvrsti za rotirajući bubanj)

# Načini skeniranja analogne TV slike



- U SAD se koristi RETMA metoda skeniranja
- Svako očitavanje objekta se zove okvir (frame) i sadrži 525 linija i učitava se brzinom 30 okvira/s
- Svaki okvir se sastoji od dva pomaknuta (interlaced) polja po 262.5 linija
- Širina pojasa je oko 4 MHz
- 484 linija je aktivno od ukupno 525 linija
- 21 linija se gubi tokom vertikalnog vraćanja zrake



# Analogna TV

- Postoji tri glavna analogna TV kolor standarda:
  - NTSC (Sjeverna Amerika i Japan)
  - SECAM (Francuska, istočna Evropa i Rusija)
  - PAL (GB, D, dijelovi Evrope, južna Amerika, dijelovi Azije i Afrika)
- Analogna TV se ukida
  - Mnoge zemlje su već ukinule emitiranje programa za analognu TV i prešle na digitalnu TV



# Digitalna TV

- DVB (Digital Video Broadcasting)
  - Skup otvorenih standarda za digitalnu televiziju (DTV)
  - DVB-S, DVB-S2 – satelitska DTV
  - DVB-C – kablovska DTV
  - DVB-T, DVB-T2 – zemaljska DTV



# HDTV – DTV visoke rezolucije

- HDTV modovi:
  - 720p - rezolucija 1280x720
  - 1080i – rezolucija 1920x1080
  - 1080p – rezolucija 1920x1080
- Način označavanja:
  - Slovo “p” znači progressive scan (ili non-interlaced)
  - Slovo “i” znači interlaced
  - Broj slika u sekundi: 24, 25, 30, 50 i 60
- Npr. 1080i25 je 25 slika/s rezolucije 1920x1080 u interlaced modu



## 2-D teorija otipkavanja

- 2-D otipkavanje možemo prikazati kao množenje kontinuirane slike s funkcijom 2-D češlja (polje Dirac funkcija)
- Idealna funkcija otipkavanja je polje Dirac funkcija

$$\text{comb}(x, y; \Delta x, \Delta y) = \sum_{m,n=-\infty}^{\infty} \delta(x - m\Delta x, y - n\Delta y)$$

gdje su  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  dimenzije pravokutnog rastera otipkavanja



## 2-D teorija otipkavanja

- Otipkana slika jednaka je produktu originalne slike i funkcije češlja:

$$\begin{aligned}f_s(x, y) &= f(x, y)\text{comb}(x, y; \Delta x, \Delta y) \\&= \sum_{m, n=-\infty}^{\infty} f(m\Delta x, n\Delta y)\delta(x - m\Delta x, y - n\Delta y)\end{aligned}$$



## 2-D teorija otipkavanja

- Fourierova transformacija funkcije češlja s razmacima  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  je druga funkcija češlja s razmacima  $\xi_{xs}=1/\Delta x$ ,  $\xi_{ys}=1/\Delta y$

$$\begin{aligned}\text{COMB}(\xi_1, \xi_2) &= F\{\text{comb}(x, y; \Delta x, \Delta y)\} \\ &= \xi_{xs} \xi_{ys} \sum_{k,l} \delta(\xi_1 - k\xi_{xs}, \xi_2 - l\xi_{ys}) \\ &= \xi_{xs} \xi_{ys} \text{comb}(\xi_1, \xi_2; \xi_{xs}, \xi_{ys})\end{aligned}$$





## 2-D teorija otipkavanja

- Multiplikacija u prostornoj domeni odgovara konvoluciji u frekvencijskoj domeni:

$$\begin{aligned}F_s(\xi_1, \xi_2) &= F(\xi_1, \xi_2) * COMB(\xi_1, \xi_2) \\&= \xi_{xs} \xi_{ys} \sum_{k,l} F(\xi_1, \xi_2) * \delta(\xi_1 - k\xi_{xs}, \xi_2 - l\xi_{ys}) \\&= \xi_{xs} \xi_{ys} \sum_{k,l} F(\xi_1 - k\xi_{xs}, \xi_2 - l\xi_{ys})\end{aligned}$$

- Iz gornjeg izraza vidi se da dolazi do periodičkog ponavljanja (engl. aliasing) osnovnog spektra



# Ilustracija otipkavanja I

- Slika pokazuje spektar slike ograničene širine

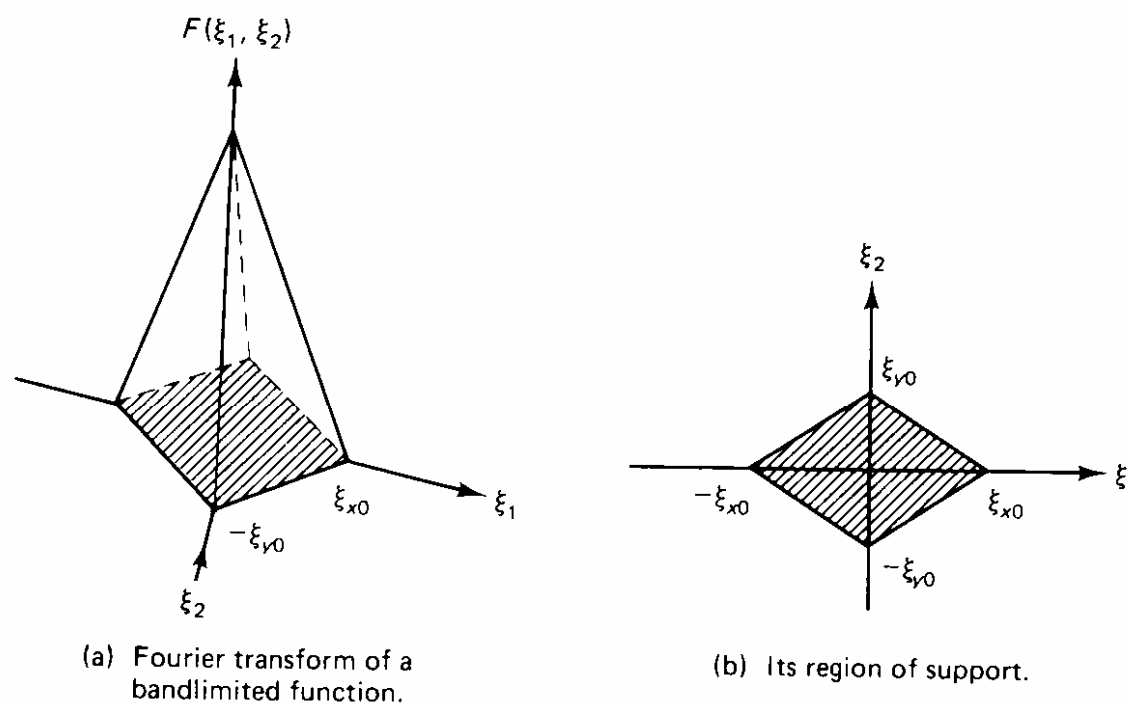
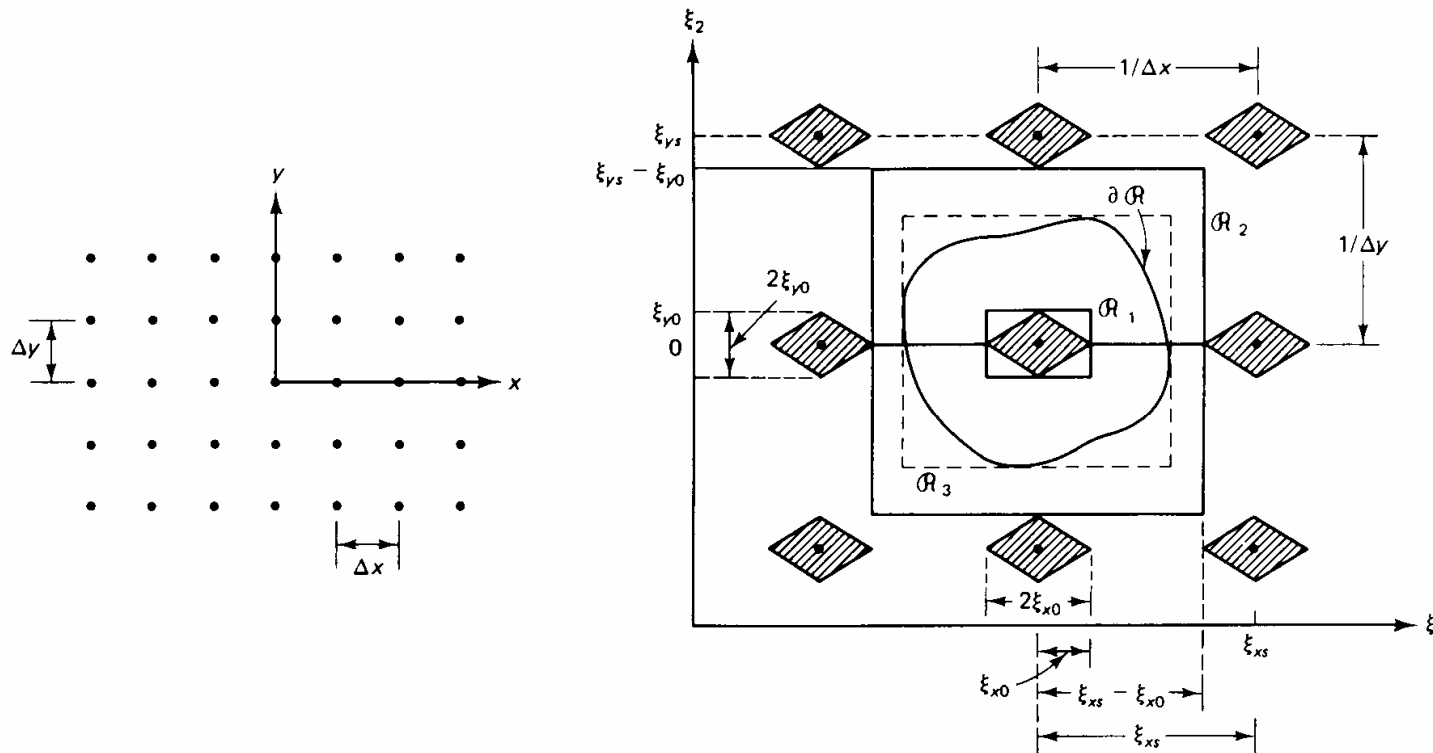


Figure 4.6



# Ilustracija otipkavanja II

- Pravokutno otipkavanje



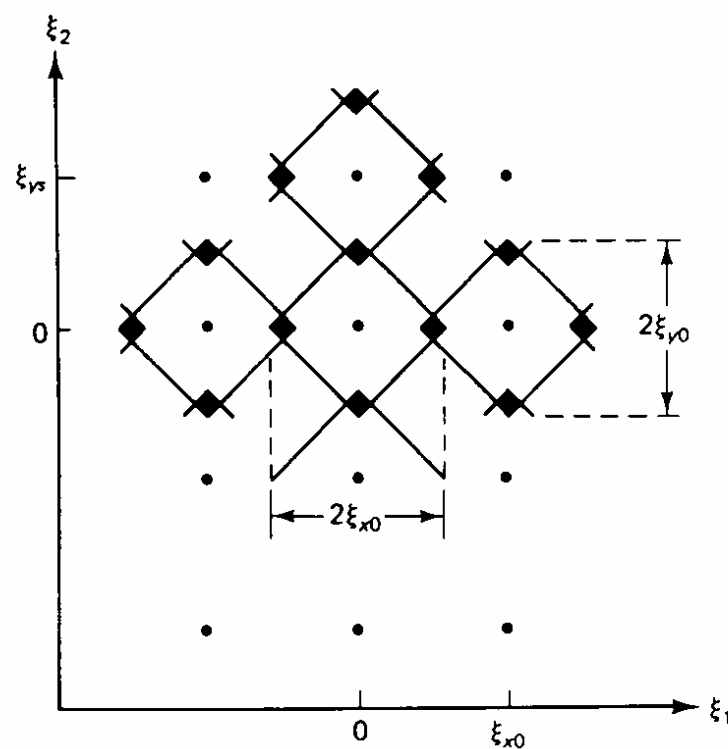
(a) Sampling grid.

(b) Sampled image spectrum.



# Ilustracija otipkavanja III

- Prekrivanje spektra - aliasing



(c) Aliasing and foldover frequencies (shaded areas).



# Praktična ograničenja

- Gornja razmatranja pretpostavljaju nekoliko idealizacija
- Praktična ograničenja su:
  - širina otvora S/H sklopa
  - problem rekonstrukcije kontinuirane slike (interpolacijska funkcija nije sinc oblika)
  - Moire efekt (neidealni antialiasing filtri)



# Kvantizacija

- Kvantizator preslikava kontinuiranu slučajnu variablu  $u$  u diskretnu variablu  $v$  koja poprima vrijednosti iz konačnog skupa  $L$  brojeva
- Kvantizator je stepeničasta U/I funkcija (nelinearni bezmemorijski sustav)
- Neka su  $t_k$ ,  $k = 1, \dots, L+1$  prijelazni nivoi
- Ako je  $t_k < u < t_{k+1}$  onda se vrijednost ulaza  $u$  preslikava u izlaznu vrijednost  $r_k$



# U/I karakteristika kvantizatora

- Tipična stepeničasta U/I karakteristika kvantizatora
- Crtkana linija pokazuje grešku kvantizacije

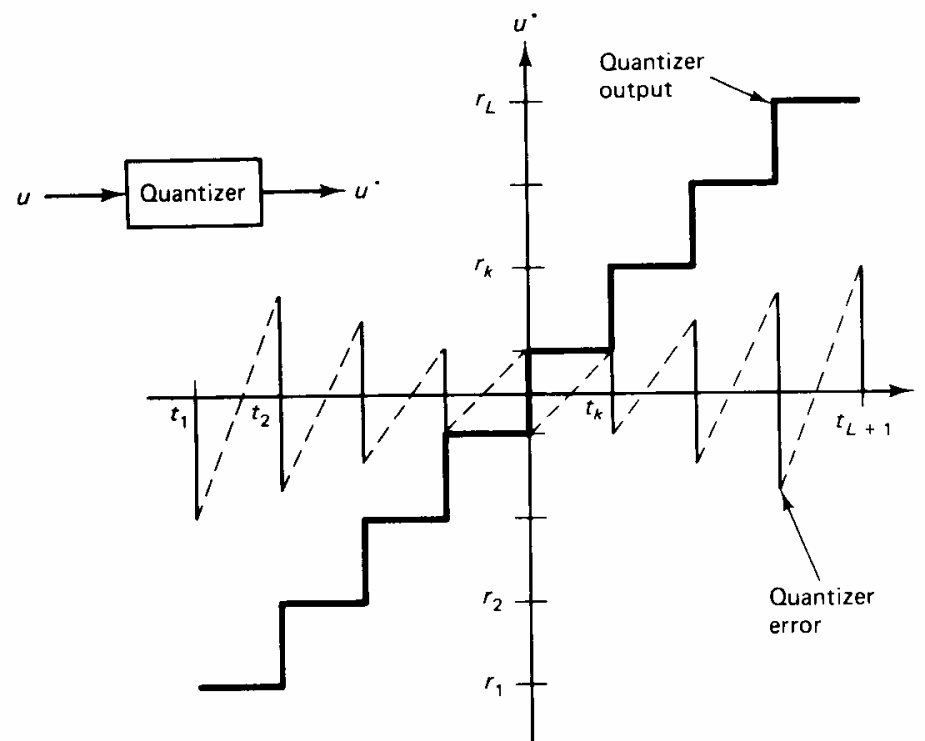


Figure 4.16 A quantizer.



# Neuniformna kvantizacija

- Raspored nivoa kvantizacije može biti jednolik (uniforman) ili neuniforman
- Kada broj bitova po pixelu mora biti malen bolji se rezultati postižu s neuniformnim kvantizatorom
- Optimalni raspored nivoa kvantizacije ovisi o razdiobi sivih nivoa u slici (histogram)
- Nivoi kvantizacije se raspoređuju gušće u području sivih tonova koji se često javljaju u slici





# Optimalni kvantizator

- Lloyd-Max kvantizator
- Minimizira srednju kvadratnu pogrešku za dani broj nivoa kvantizacije:

$$e = \sum_{i=1}^L \int_{t_i}^{t_{i+1}} (u - r_i)^2 p_u(u) du$$

gdje je  $p_u(u)$  gustoća vjerojatnosti varijable  $u$

- Izjednačavanje parcijalnih derivacija sa nulom i rješenje nelinearnog sustava jednažbi daje optimalne nivoe kvantizacije



# Uniformni kvantizator

- Kada je funkcija gustoće vjerojatnosti  $p_u(u)$  uniformna onda Lloyd-Max kvantizator ima jednake intervale između nivoa prijelaza i rekonstrukcije
- Takav kvantizator se također zove linearni kvantizator

# Pogreška uniformnog kvantizatora



- Pogreška je uniformno distribuirana
- Srednja kvadratna pogreška je dana sa:

$$e = \frac{1}{q} \int_{-q/2}^{q/2} u^2 du = \frac{q^2}{12}$$

- Uniformni kvantizator opsega  $A$  s  $B$  bitova ima korak kvantizacije jednak  $q = A/2^B$   
što daje  $\text{SNR} = 6B$  dB
- Dakle svaki dodatni bit popravlja SNR za 6 dB



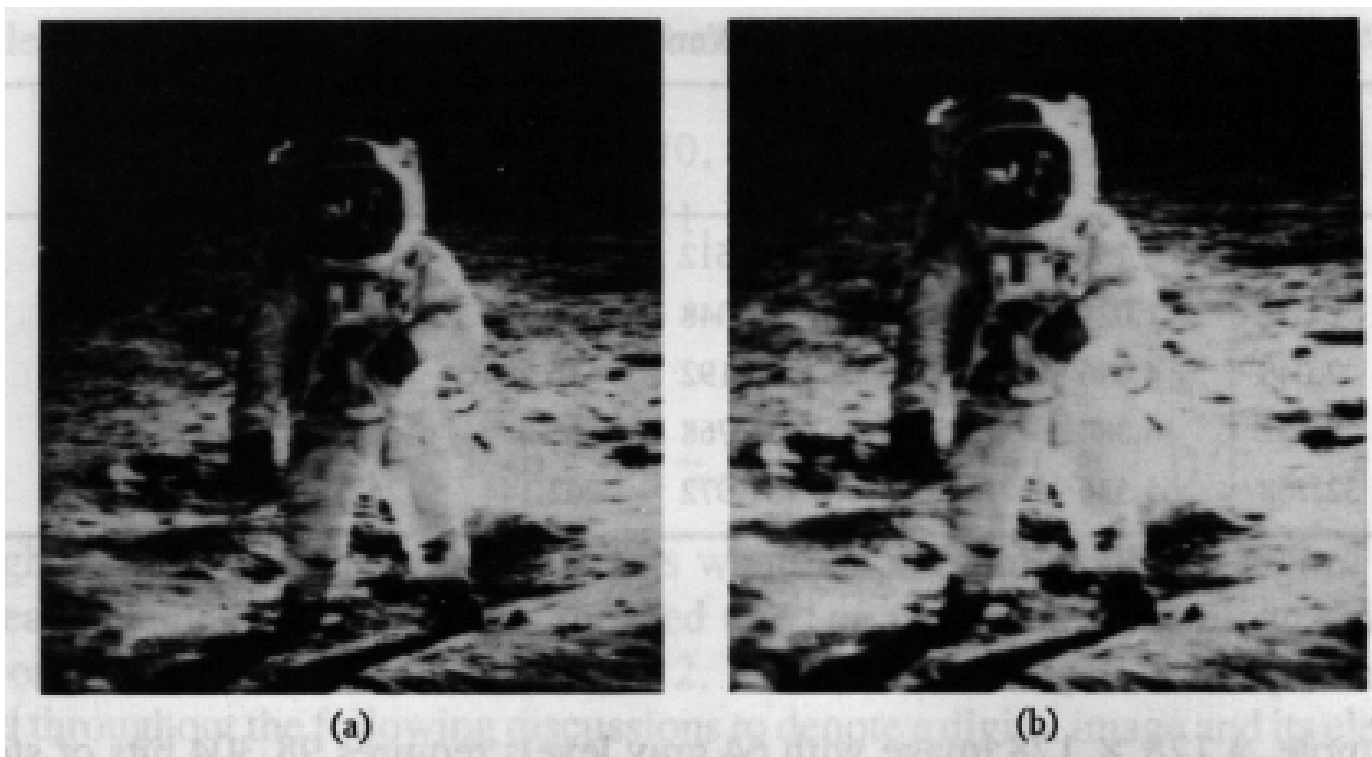
# Kolika rezolucija je potrebna

- Koliko je nivoa sivog (sivih tonova) potrebno za “dobru” aproksimaciju slike ?
- Za sliku sa niskim frekvencijama bolje je:
  - grublje prostorno otipkavanje
  - finija kvantizacija amplitude
- Za sliku sa visokofrekventnim sadržajem bolje je:
  - finije prostorno otipkavanje
  - grublja kvantizacija amplitude



# Efekt reduciranja rezolucije I

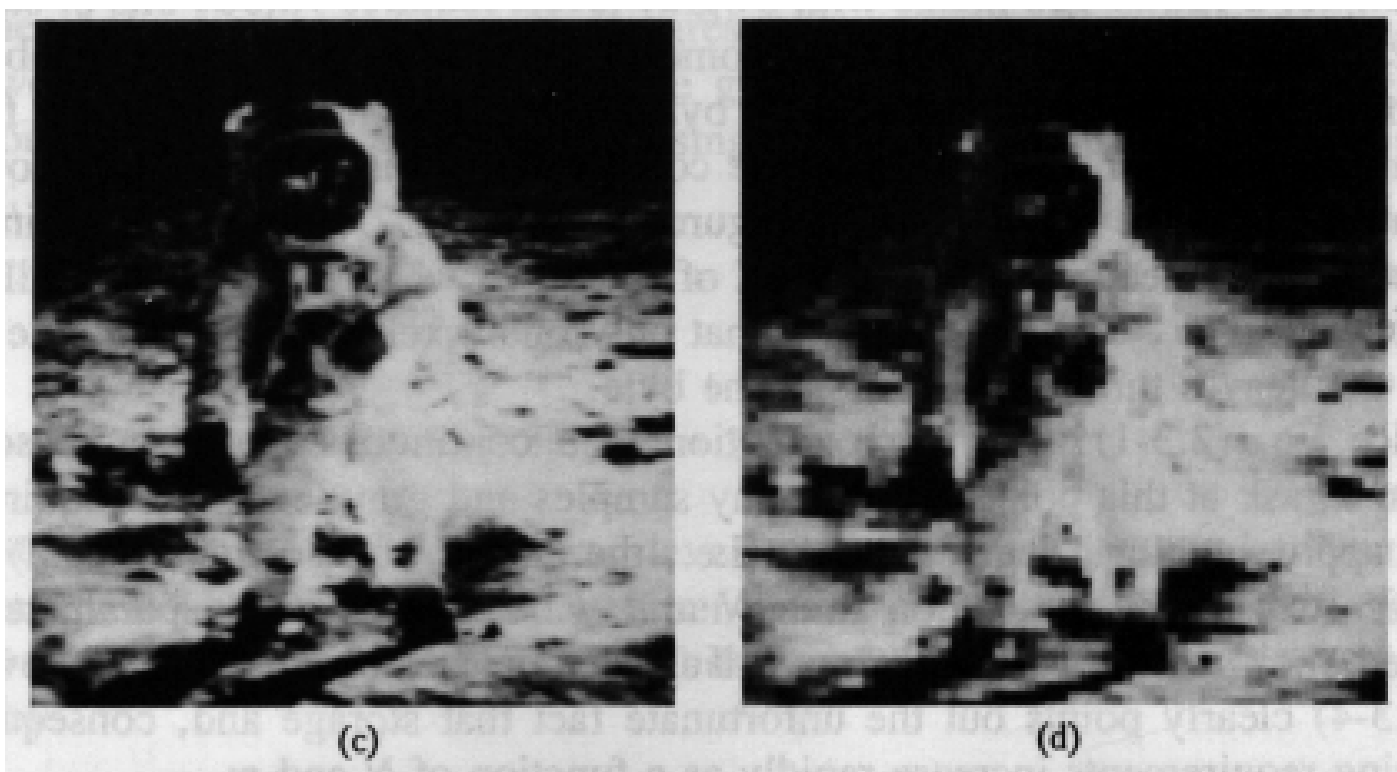
- Astronaut Buzz Aldrin u rezoluciji  $512 \times 512$  i 8 bita/pixel te u rezoluciji  $256 \times 256$





## Efekt reduciranja rezolucije II

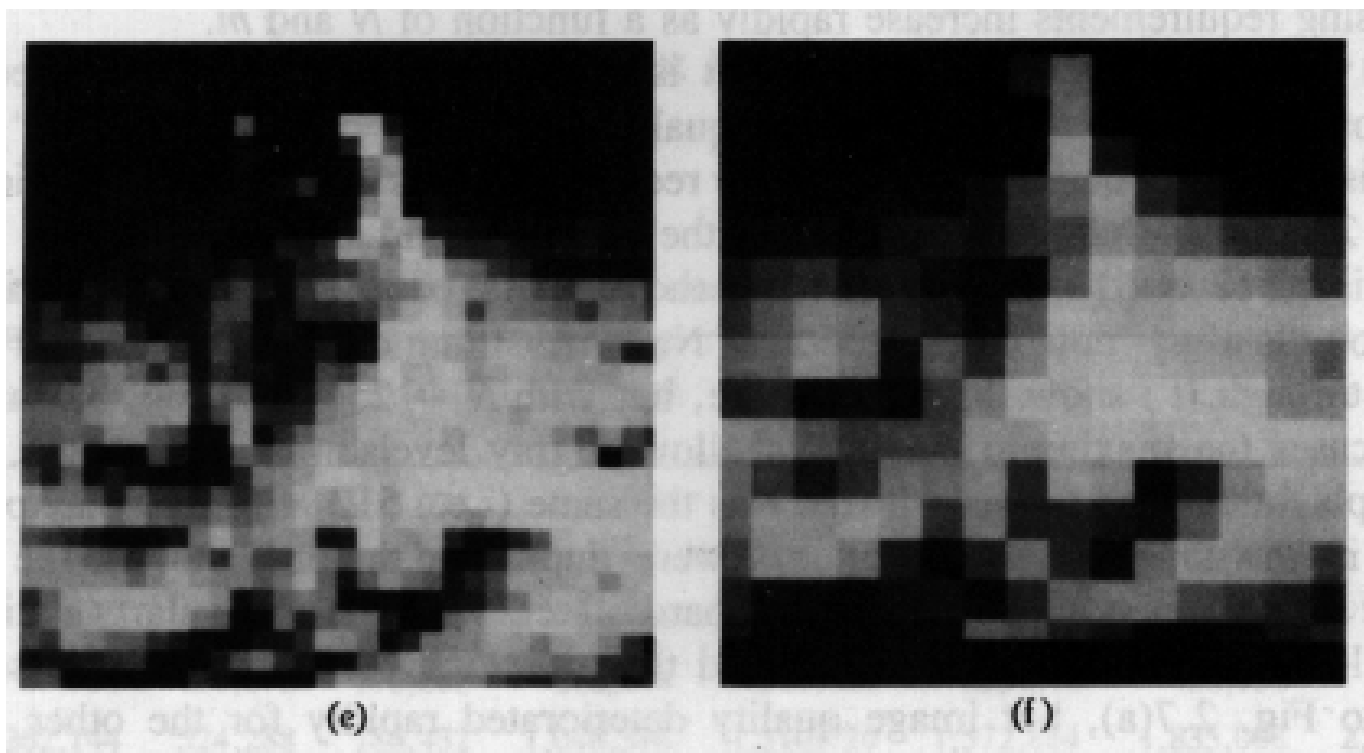
- Rezolucije  $128 \times 128$  i  $64 \times 64$





## Efekt reduciranja rezolucije III

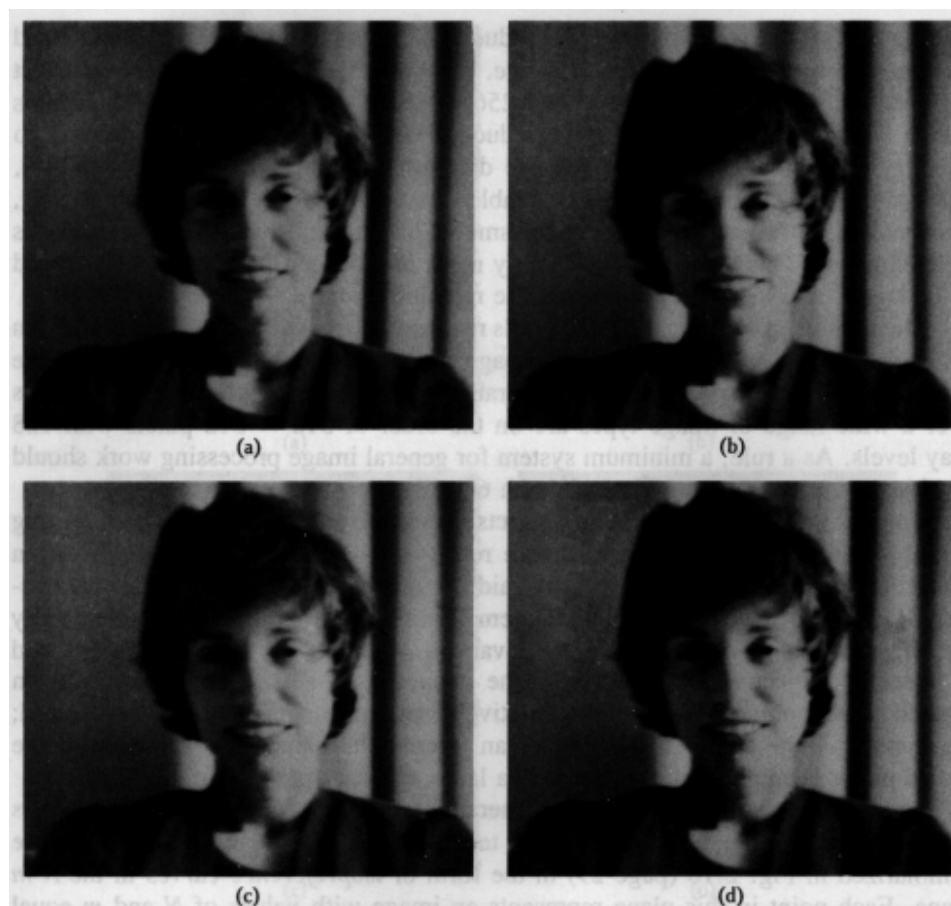
- Rezolucije  $32 \times 32$  i  $16 \times 16$
- Efekt šahovske ploče (checkerboard effect)





# Efekt kvantizacije I

- Originalna slika je dimenzija  $512 \times 512$  sa 8 bit/pixel
- Ostale slike su 7, 6 i 5 bit/pixel



**Figure 2.8** A  $512 \times 512$  image displayed in 256, 128, 64, 32, 16, 8, 4, and 2 levels, respectively.





## Efekt kvantizacije II

- Slike prikazane sa 4, 3, 2 i 1 bit/pixel
- Pojava lažnih kontura

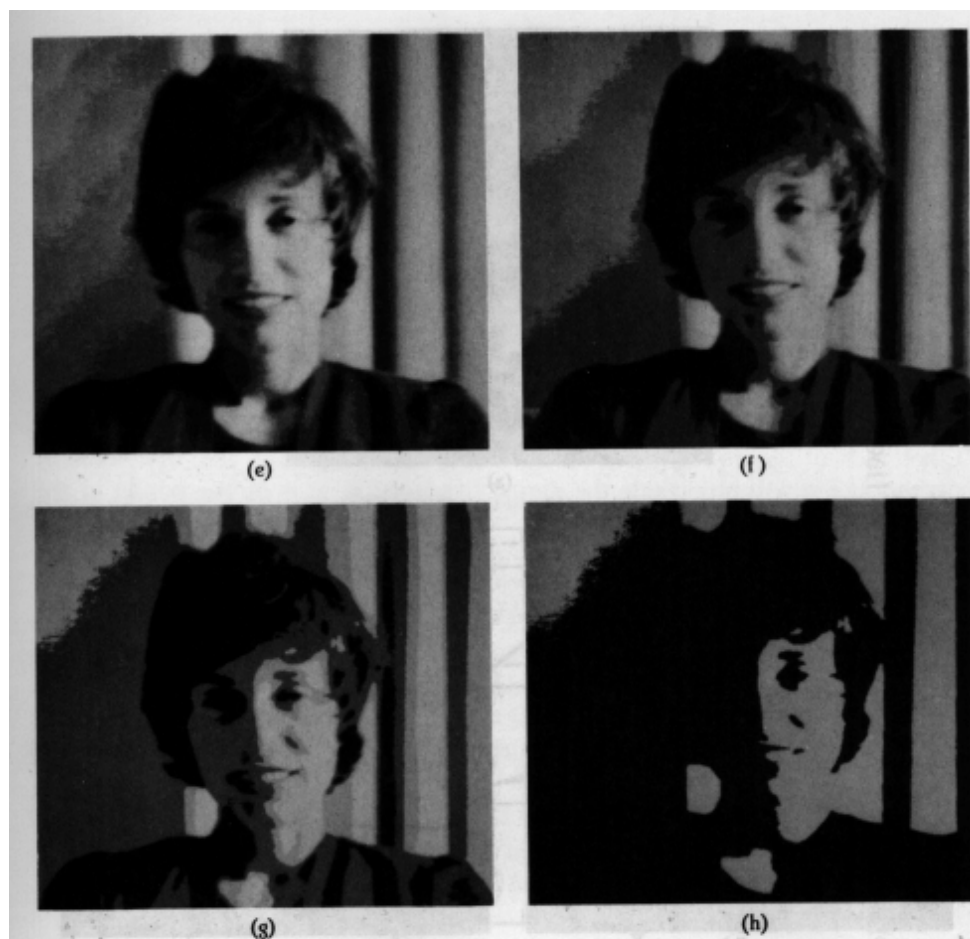


Figure 2.8 (Continued.)



# Zaključak

- Skaniranje, TV standardi
- 2-D teorija otipkavanja
- Kvantizacija, Lloyd-Max kvantizator, komparator
- Rezolucija