

## 6. SENZORY PRE ORIENTÁCIU V PRIESTORE

- ♦ dotykové - kontaktné
- ♦ bezdotykové : - optické  
- akustické

### 6.1. Kontaktné systémy

- polohovací systém ( $x, y, z$ , alebo sférické súradnice -  $\varphi, \theta, r$ )
- snímač vzdialeností - polohy

*Poznámka: Systémy sú veľmi presné, zložitá konštrukcia. Vyžadujú mechanický dotyk s objektom. Mäkký objekt môžu ovplyvniť - poškodiť*

### 6.2. Optické princípy

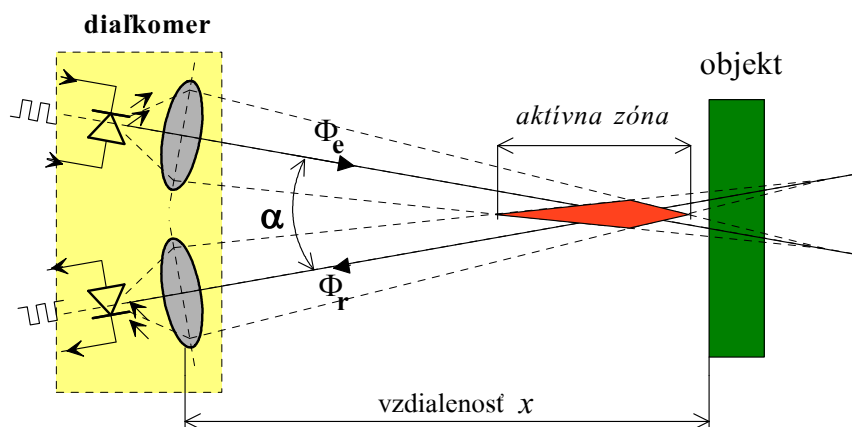
- snímače prekážok
- optické diaľkomery
- laserové 3D scannery a diaľkomery
- kamery

#### 6.2.1. Snímače prekážok

Princípy reflexných diaľkomerov - len logický signál. *Popis ďalej.*

#### 6.2.2. Optické diaľkomery (Optical rangefinder)

##### Reflexný optický diaľkometer



Obr. 39.

- ♦ malý  $\alpha$  - dlhá úzka aktívna zóna (väčšie  $x$ )
- ♦ veľký  $\alpha$  - krátka široká aktívna zóna  $\rightarrow$  proximitné snímače

- amplitúda úmerná vzdialenosti
- poruchové vplyvy, **presnosť malá**
- modulovaný svetelný tok
- optika (šošovky, zrkadlá)

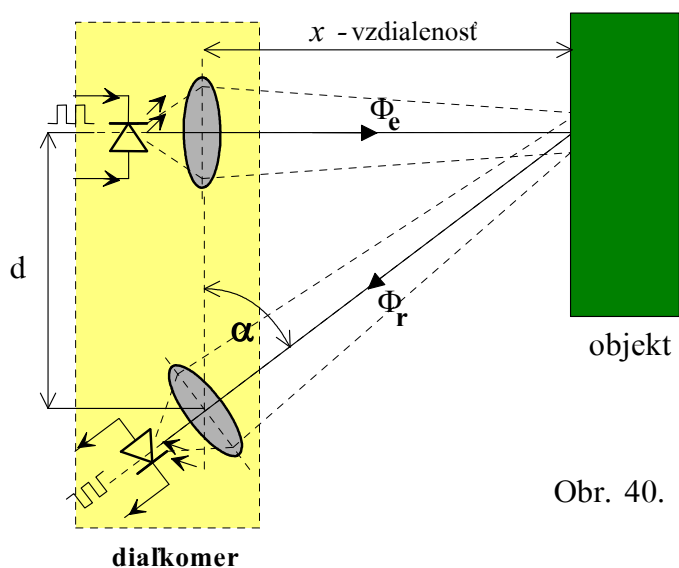
### Koincidenčný diaľkomer

$$x = d \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

**kde:** **d** je optická základňa diaľkomeru (30 ÷ 100 mm)

$x$  meraná vzdialenosť

$\alpha$  uhol natočenia prijímača

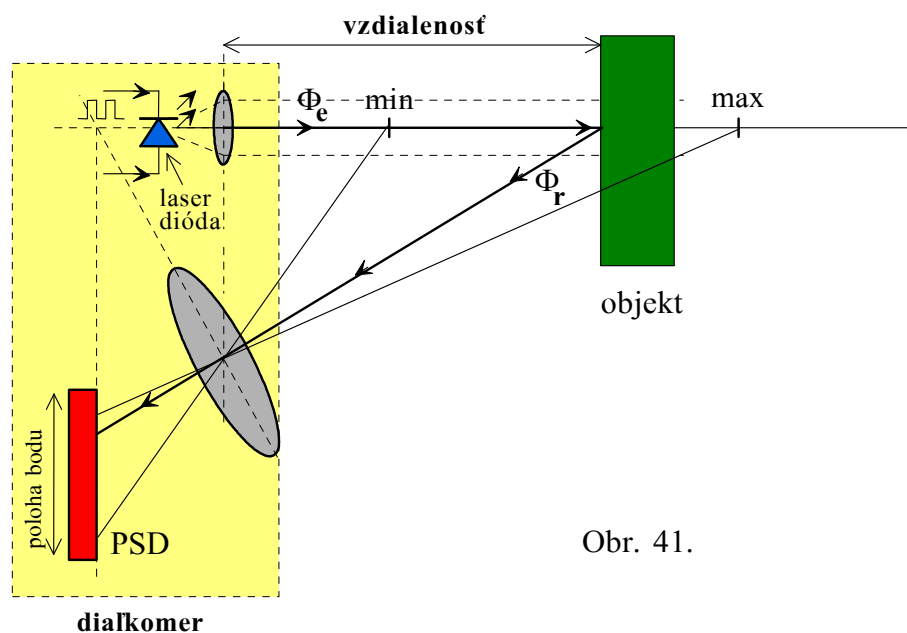


Obr. 40.

- amplitúda ako abs. hodnota nezaujímavá
- poruchové vplyvy (zrkadlový odraz)
- modulovaný svetelný tok
- optika, natáčanie nízkohmotných elementov

Poznámka: Čiste optický princíp - okom sa sleduje dvojité obraz v hľadáčku, pri "splynutí" sa odčíta vzdialenosť.

## Triangulačný diaľkomer



Obr. 41.

- laserom vytvorený bod na telese
- problem zaostrenia (Scheimpflugovo pravidlo)
- nelinearita

### 6.2.3. Laserové systémy

Meranie vzdialeností: - fázová metóda  
- rádiolokačný princíp (impulzná metóda)  
- triangulačná metóda

#### Fázová metóda

- kontinuálne budenie, sínusová amplitúdová modulácia svetelného toku
- fázový posun (prijímača a vysielača) je úmerný vzdialenosti (inkrementálna metóda)
- pri  $f_{\text{modulac.}} = 300 \text{ MHz}$  je  $\lambda = 1 \text{ m}$

#### Rádiolokačný princíp

- ♦ krátky svetelný impulz (laser)
- ♦ prijatie odrazeného impulzu - odmeranie času
- ♦ určenie vzdialenosti ako  $d = c \cdot t / 2$

Problémy:

- precízne meranie času,  $1 \text{ mm} = 3,3 \text{ ps}$ 
  - veľmi rýchle fotodetektory

- elektronika bez oneskoreni
- rýchle čítače s veľkým rozlíšením

Dosah je značný, 10ky (100ky) metrov

**Triangulačný princíp** (viď predošlé)

Dosah je menší, rádove metre

**Snímanie v priestore**

- vytvorenie polohovacieho (súradného) systému (uhly)
- zmeranie vzdialeností jednotlivých bodov v tomto priestore (systéme) (rádiolokačne)

Súradný systém - väčšinou sférický, laser v počiatku ( $\varphi$ ,  $\theta$ ,  $r$ )

Uhly sa získajú

- ♦ natáčaním lasera (pomalšie)
- ♦ rotujúcimi zrkadlami

Zrkadlá - až  $10^4$  -  $10^5$  bodov/s.

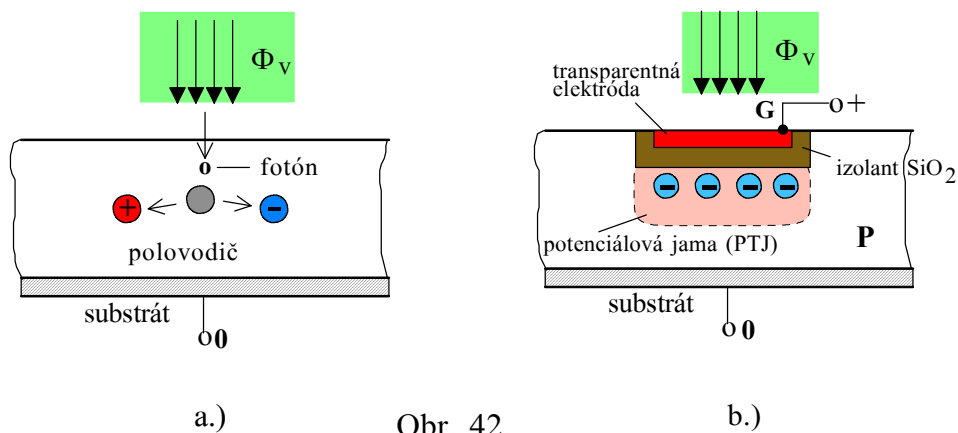
**Triangulačný princíp v priestore**

- na telese sa namiesto bodu vytvorí sústava bodov v priamke - pásik (multiplexne)
- CCD snímač registruje tieto body - vzdialenosti

Poznámka: CCD (lineárny s "natočením", alebo plošný) - je rýchlejší ako PSD

Spätne poskladanie informácií sa nazýva **rekonštrukcia**

**6.2.4. CCD prvky (Charge Coupled Device) - snímanie kamerou**



Obr. 42.

Uchovávame tzv. menšinové náboje, teda v P polovodiči elektróny. Tieto môžu vzniknúť :

- tepelnou generáciou - parazitný jav (**šum**)
- injekciou svetlom - vlastný snímací efekt
- injekciou z blízkeho PN prechodu - odovzdanie výstupného signálu

Množstvo nosičov závisí od intenzity osvetlenia  $E$  a od času  $t$ :

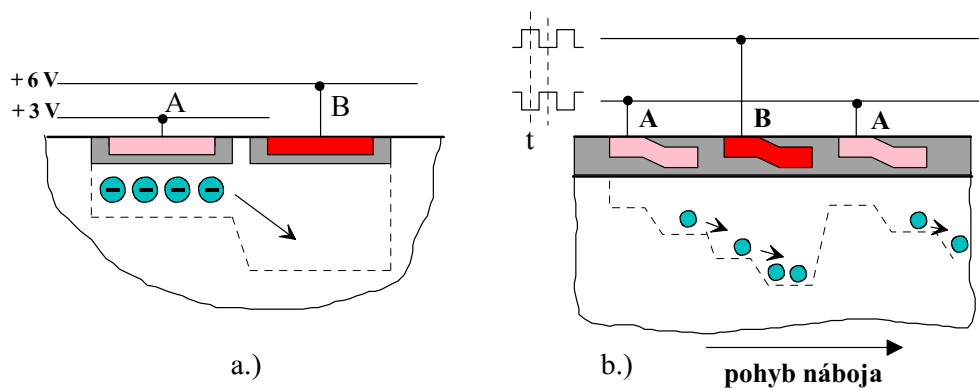
**expozičia (osvit)  $e$**  : ( $e$  býva označené tiež  $H$ )

$$e = E \cdot t \quad [\text{lx} \cdot \text{s} ; \text{lx} ; \text{s};] \quad (6 - 2)$$

**Poznámka:** Doba existencie náboja v PTJ je asi  $100 \text{ ms} \div 10 \text{ s}$ . (vyrovnanie tepelnou generáciou). Dlhé časy - problém, už cca  $5 \div 10 \text{ s}$  vyžadujú chladenie prvkov, napr. polovodičové, resp. softwérové potlačenie. (následné zosnímanie bez obrazu a odčítanie)

### Prenos nábojov (nosičov)

Plocha snímača je rozdelená na *pixely*.



Obr. 43.

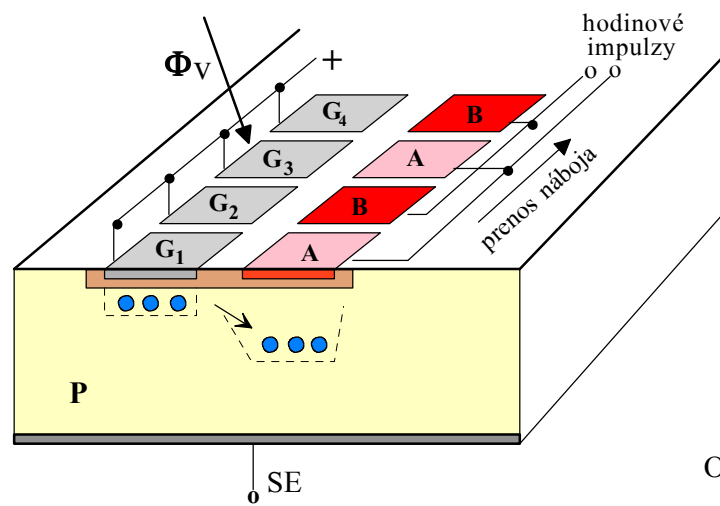
Vyšší potenciál vytvorí hlbšiu PTJ, nosiče do nej prepadávajú.

Tvarované elektródy - tvarovaná PTJ

Elektródy A a B - výstupný register

### Riadkový CCD senzor

1. Svetelný tok  $\Phi_v \rightarrow$  náboj pod  $G_1, G_2,$  atď.
2. Po dobe expozície presun náboja pod A,B
3. Fázovo posunuté impulzy na A,B - vysúvanie nábojov



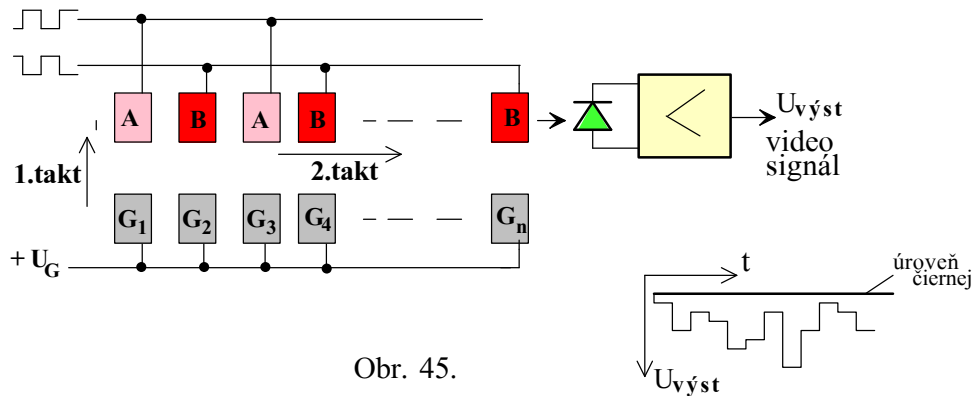
Obr. 44.

SE - spoločná elektróda (-)

G - akumulčné elektródy, predstavujú pixely a sú priehľadné,

A,B - nepriesvitné elektródy registra

Poznámka: V reálnych systémoch býva ešte pomocná elektróda medzi G a A, resp. B. Pixely sú rozdelené do dvoch registrov na párne a nepárne, aby sa zachovala "medzera".



Obr. 45.

Video signál:

- poloha bodu - čas od začiatku prenosu
- osvetlenie bodu - amplitúda.

Počet pixelov - 128 (termovízia), po 6 - 10 tis.(profí scannery...)

Rozmery : od 6 x 6  $\mu\text{m}$  do 17 x 8  $\mu\text{m}$ .

### Princíp elektronickej uzávierky

Doba snímania (pre 1728 pixelov)  $\rightarrow$  hodinové impulzy :

10 kHz  $\rightarrow$  doba snímania = 86 ms (1/12 [s])

10 MHz  $\rightarrow$  doba snímania = 86  $\mu\text{s}$  (1/12000 [s])

Optimálne cca 10 ms (1/100 [s]), čomu zodpovedá 86 kHz.

Výhody: netreba mechanickú uzávierku - cena

Nevýhody: pomalé vysúvanie - akumulujú svetlo aj počas vysúvania (náchylnejšie na smearing, blooming)

rýchle vysúvanie - nekvalitné (rýchle) odčítanie náboja

*T/2 spôsobí posun o jedno miesto, resp. T vysunie polovicu pixelov (párne - nepárne)*

$E = 10 \text{ lx}$  dáva 0,2 V na výstupe.

Citlivosť na svetlo: ASA (DIN) a je 100  $\div$  3200 ASA (21  $\div$  36 DIN).

Poznámka: Horná hranica je už 6000 - 12000 ASA, diskutabilná je kvalita (malé snímače)

Rozlíšenie úrovní šedej 8 - 32 bitov  $\rightarrow$  256 - 4,295.  $10^9$  úrovní. (štand. 24 bit)

Použitie riadkových CCD :

- nepohyblivé obrazy (scannery...) - snímanie po riadkoch
- snímanie polohy (ako PSD)
- iné, napr. zaostracie systémy - vyhodnotenie kontrastu (krížový senzor, hrany)

Ako zobrazovacie systémy potrebujú vysokokvalitnú optiku s vysokým rozlíšením pre malé ohniskové vzdialenosti (3 - 8 mm)

### Maticový CCD senzor

Snímanie pohybu. Predstava:

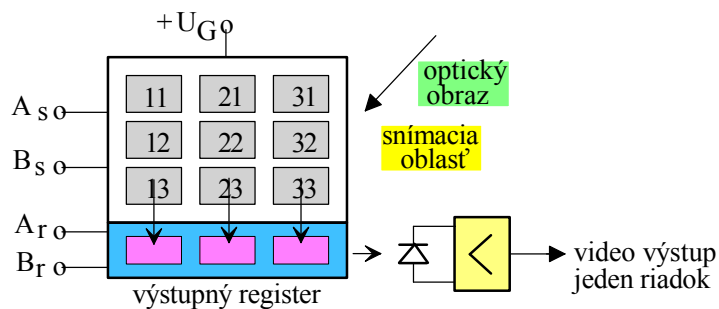
- niekoľko riadkových CCD (stĺpce)
- súčasné vysunutie - riadok
- vysúvanie a odčítanie riadku

**Full frame** (nutná mechanická uzávierka) (celý snímok, plný formát?)

**Frame transfer** (stačí elektronická uzávierka) (s presunom snímku?)

Poznámka: Pri presúvaní náboja stačia krátke časy, pri odčítaní hodnoty náboja trvá dlhší čas na premenu na napätie. Pri urýchlení sa môžu vyskytnúť chyby.

**Full frame** systém



Obr. 46.

Činnosť :

- ♦ obraz sa premietne na snímaciu časť → pod elektródami náboj
- ♦ hodinové impulzy na  $A_s$ ,  $A_r$  (1 fáza), a  $B_s$ ,  $B_r$  (2 fáza) → jeden riadok do výstupného registra.
- ♦ hodinové impulzy na  $A_r$ ,  $B_r$  → obsah registra po pixeloch do výstupu.

- častejšie pre väčší formát (24 x 36 mm) - pridaný "bočný register"

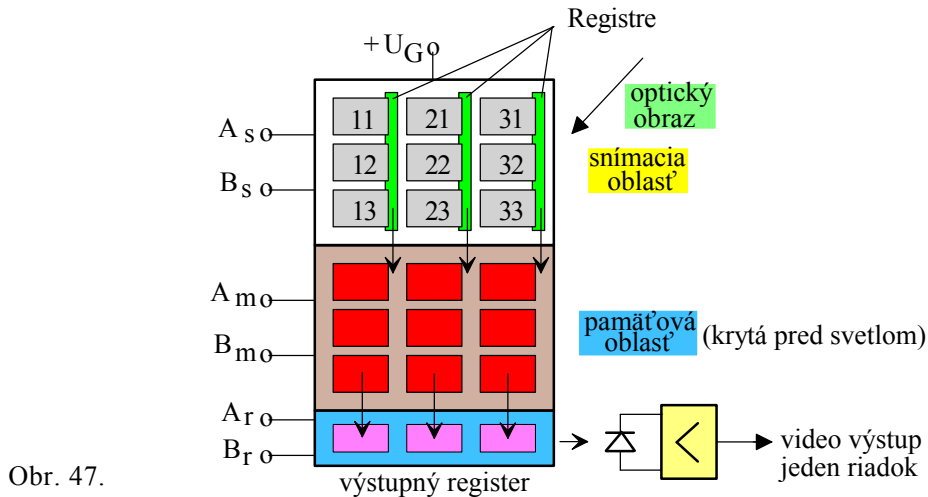
- pri vysúvaní by nemal reagovať na svetlo - zakrytie (mechanic. uzávierka)

- lacnejší



### Frame transfer systém

- pridaná pamäť (rovnaká)
- pridaný zvislý register k stĺpcom v sn. časti ( Al elektródy, krytý pred svetlom)
- úbytok plochy (citlivosť) — nad pixelom mikrošošovka (HAD)



### Činnosť :

- ♦ obraz sa premietne na snímaciu časť → pod elektródami náboj
- ♦ napätie na  $A_s$ ,  $B_s$  → náboj pod elektródy registra, a to :
  - súčasne na obe → všetky riadky, snímkový výber (**progressívny**)
  - iba na jednu → len párne (nepárne) riadky, polsnímkový výber (**prekladný**)
- ♦ hodinové impulzy na  $A_s$ ,  $A_m$  (1 fáza), a  $B_s$ ,  $B_m$  (2 fáza) → obsah do pamäte

*Poznámka:* Čas presunu je podstatne kratší, ako čas akumulácie, prakticky ho neovplyvní.

- ♦ hodinové impulzy na  $A_m$ ,  $A_r$  (1 fáza), a  $B_m$ ,  $B_r$  (2 fáza) → jeden riadok do výstupného registra.
- ♦ hodinové impulzy na  $A_r$ ,  $B_r$  → obsah registra po pixeloch do výstupu.

- vyššia cena (2x plocha, viac elektroniky...)
- smearing (čiara v smere posunu od "slnka"), blooming (pretekajúce k susedom)
- netreba mech. uzávierku (znižuje cenu) - "zakryvátka" (odšumovanie)
- možné krátke časy

Počet pixelov (rozlíšenie) je rôzny :

- ♦ od 10 x 10 pre termovízne kamery
- ♦ štandardné rozlíšenie sa berie cca 640 x 480 (307 000) - video VGA
- ♦ kvalitné rozlíšenie napr. 2816 x 2112 (> 6 M, obecné 4-12 M)
- ♦ experimentálne maximum je 6000 x 7500 (45 mil.)

Rozmery **snímača**: od 6 x 6 mm po cca 20 x 30 mm. (aj 24x36)

Pomer strán : 4:3 (najčastejšie - monitor), 3:2 (kinofilm), 16:9 (šir. video)

### **Ohnisková vzdialenosť optiky.**

*Definícia:* Za štandardnú ohniskovú vzdialenosť  $f$  sa berie veľkosť uhlopriečky snímacej plochy, čo zodpovedá uhlu cca  $40^\circ$ . Pod týmto uhlom zhruba vníma okolie ľudské oko.

- ♦ štandardný, širokouhlý, teleobjektív, ZOOM (transfokátor, varioobjektív)
- kinofilm  $24 \times 36 \text{ mm}$  → uhlopriečka  $43,3 \text{ mm}$ , uhol  $47,5^\circ$  (strany  $38^\circ$  a  $27^\circ$ )

*Poznámka:* Pretože rozmer CCD snímačov je rôznych, rôzna je i štandardná  $f$ . Udáva sa potom ekvivalentná  $f$  pre kinofilmový rozmer  $24 \times 36 \text{ mm}$ , čo je  $50 \text{ mm}$  (resp.  $40 - 50$ ), i keď skutočná veľkosť  $f$  je iná.

### **6.2.5. Snímanie vo farbe**

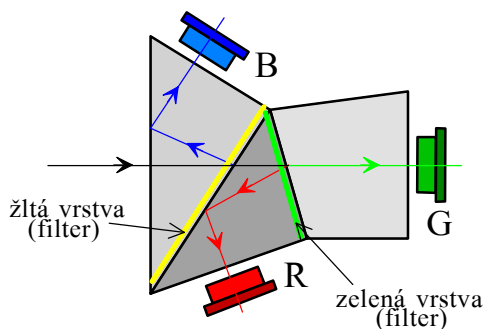
RGB systém - tri základné farby : R (Red - červená), G (Green - zelená),  
B (Blue - modrá)

*Poznámka:* Jedná sa o aditívne miešanie farieb - svetiel.

Možnosti:

- tri identické obrazy - tri senzory
- jeden "trojitý" maticový senzor + tzv. mozaikový filter.
- systém FOVEON

Tri CCD



RGB prizma

Obr. 48

- kvalitné zobrazenie
- náročné na presné nastavenie

### **Štruktúry trojitého senzora**

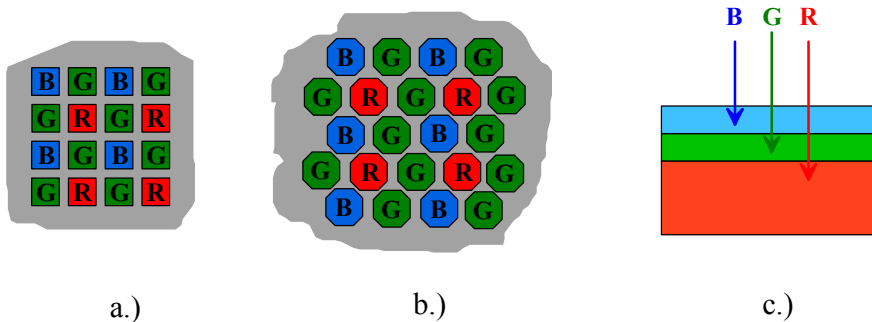
a.) klasické CCD

*Poznámka: vylepšenie HAD (fa SONY)- šošovka pred pixelom*

b.) Super CCD (fa FUJI) - osemuholníky, CCD SR, (zvýšená dynamika)

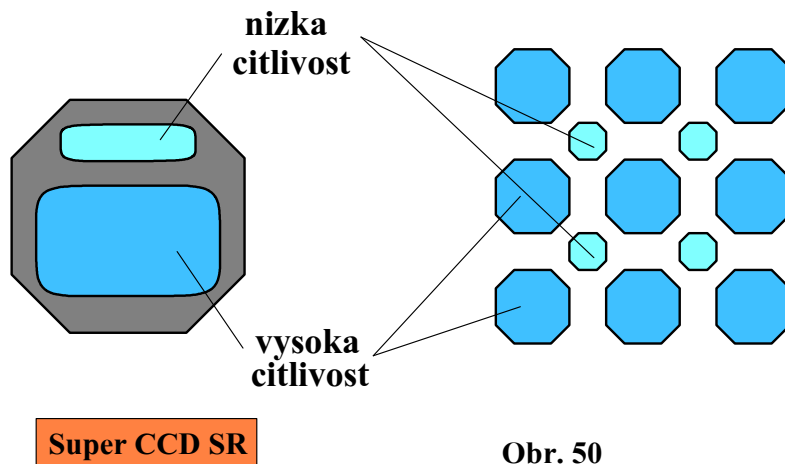
EXR techn (iné usporiadanie mozaiky, prepínanie pixelov)

c.) Trojvrstvový FOVEON



Obr.49

Zväčšenie dynamického rozsahu.



Obr. 50

- 6-2. 1. Aká je teda skutočná ohnisková vzdialenosť pre maticové senzory uvedených rozmerov ?
2. Ktoré typy objektívov sú v praxi viac používané - štandardné širokouhlé, alebo teleobjektívy ?
3. Expozičné doby sa vytvárajú elektronicky, t.j. frekvenciou hodinových (taktovacích) impulzov. Má opodstatnenie i mechanická uzávierka, teda zakrývanie a odkrývanie citlivej plochy na definovaný čas ?

### 6.3. Akustické metódy

Pre meranie vzdialeností a súradníc sú možnosti:

vysielanie:

- kontinuálne metódy - nepretržité
- impulzné metódy - vysielanie okamih

zachytenie :

- priama vlna
- odrazená vlna

#### 6.3.1. Kontinuálne metódy

##### Fázová metóda

inkrementálna metóda

vždy pre  $\varphi = 0 \rightarrow$  vznikne impulz  $\rightarrow$  pridaná  $\lambda$  vzdialenosť.(+ alebo - , smer)

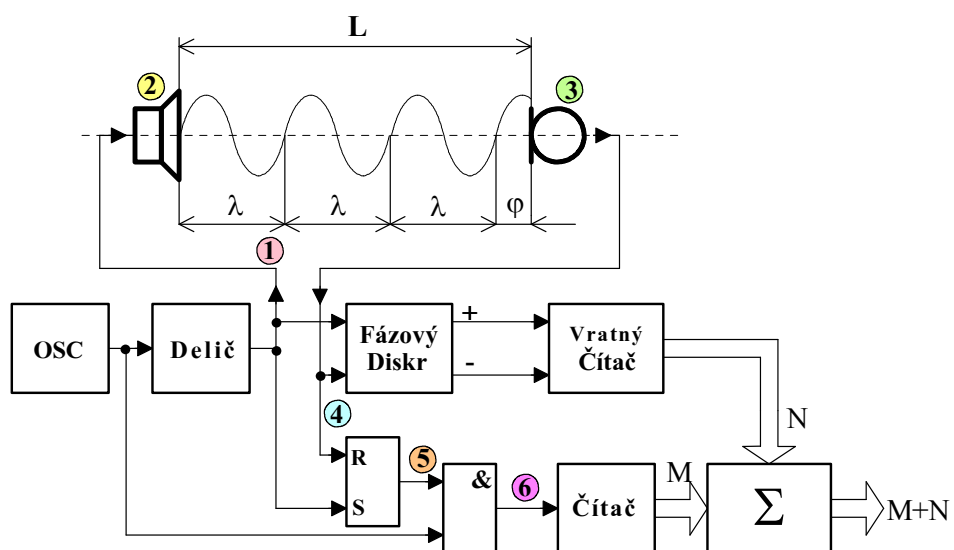
pre  $f = 100$  kHz je  $\lambda = 3,4$  mm

impulzy N reprezentujú vzdialenosť  $N \lambda$  .

doplnok  $\varphi = L - N \lambda$  , a platí  $\varphi < \lambda$  .

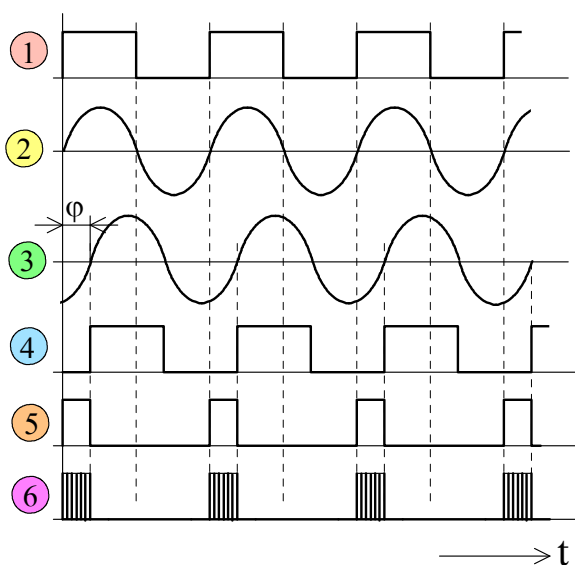
impulzy M - vzdialenosť  $\varphi$  .

v bloku  $\Sigma$  sa M a N sčítajú.



Obr. 51.

### Časové priebehy

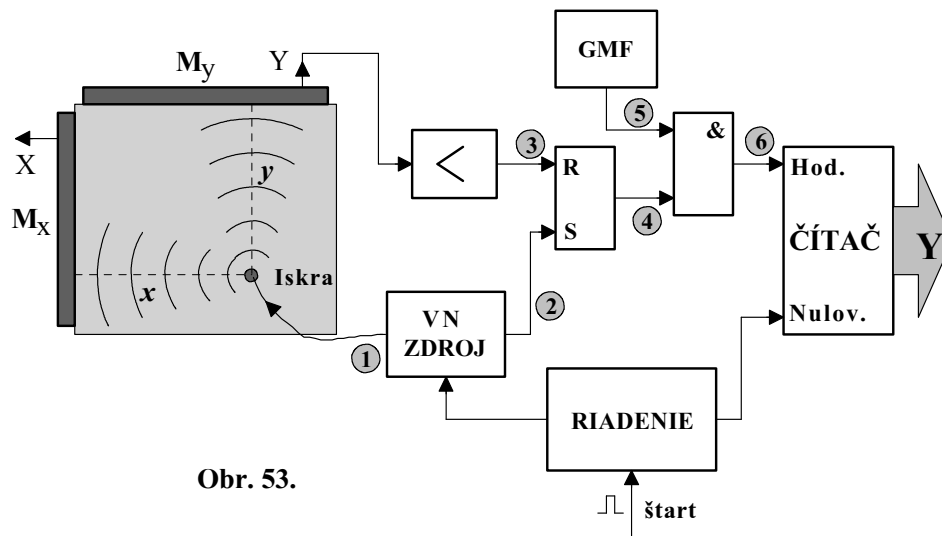


Obr. 52.

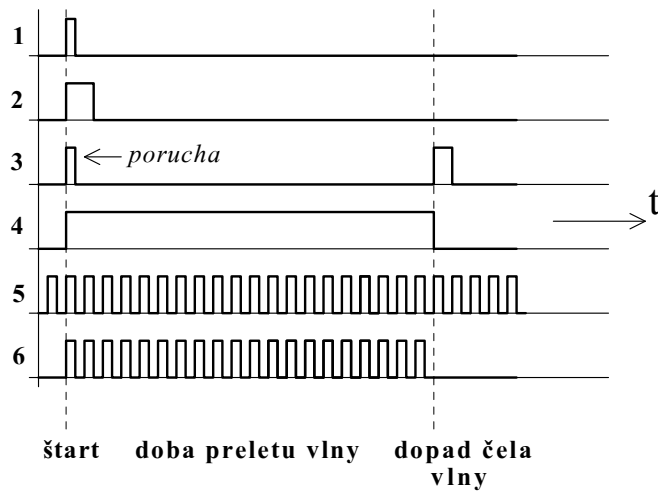
### 6.3.2. Impulzné metódy

metódy sú absolútne - skutočná vzdialenosť.  
 potrebný akustický impulz (strmý nástup)  
 modulovaná nosná - *rádiový impulz*

Na obr. 53 je meranie súradníc X - Y.



Obr. 53.



Obr. 54.

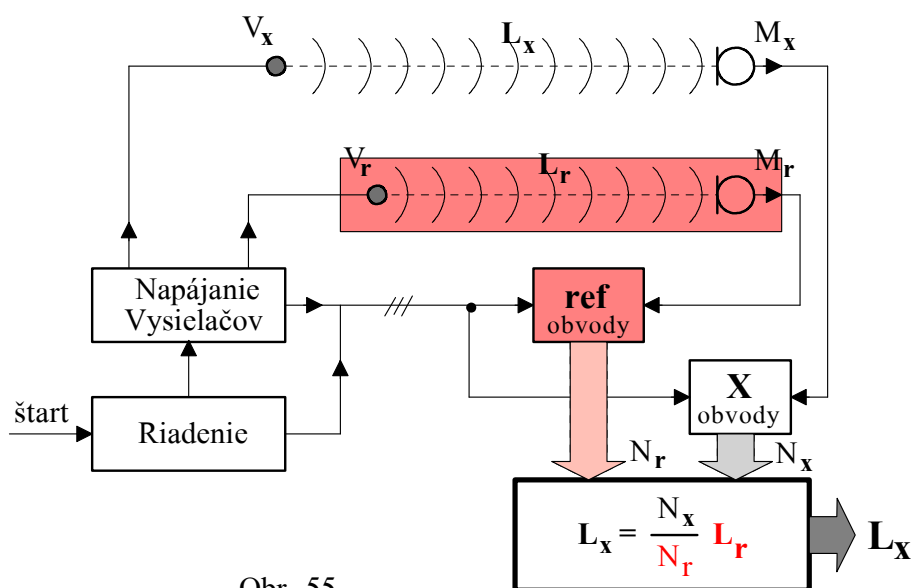
### 6.3.3. Referenčný kanál

Na obr. sú:

$V_x, V_r$  - merací a referenčný vysielateľ UZ vln

$M_x, M_r$  - merací a referenčný mikrofón

ref obvody a X obvody - obvody na získanie počtu impulzov



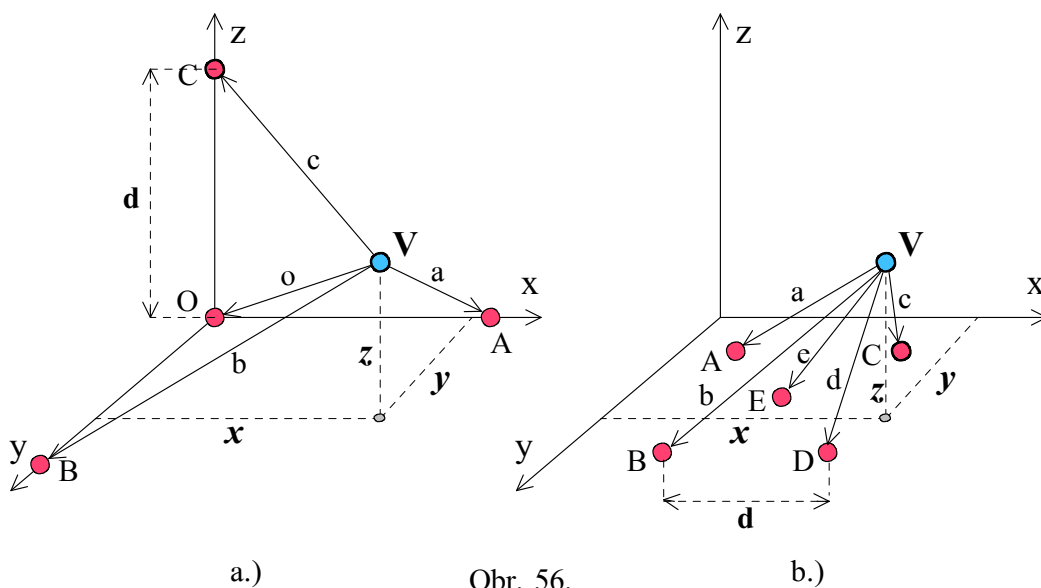
Obr. 55

### 6.3.4. Priestorové merania

usporiadanie s bodovými, kvázibodovými, resp. guľovými mikrofónmi

*nutné minimálne 3, pri použití 4-och a viac možná i určitá kompenzácia*

- a.) kompenzuje vplyv teploty a vlhkosti (4 mikro)
- b.) kompenzuje aj gradient teploty v zvislom smere - častý (5 mikro)



zdroj guľovej vlny (piezo, iskra)  
 snímače bodové, kvázibodové, alebo guľové  
 meriame 4 (5) vzdialenosti, počty impulzov ( $N_a, N_b, N_c, N_o$ )  
 súradnice - zložitejšie vzťahy.

Príklad pre  $x$ . (obr.a)

$$x = \frac{d^2 + K^2(N_o^2 - N_a^2)}{2d} \quad \text{kde } K \text{ je z rovnice}$$

$$a_4 K^4 + a_2 K^2 + a_0 = 0 \quad \text{a koeficienty "a" sú rovné:}$$

$$a_4 = d^4 \left[ (N_o^2 - N_a^2)^2 + (N_o^2 - N_b^2)^2 + (N_o^2 - N_c^2)^2 \right]$$

$$a_2 = 2d^6 [N_o^2 - N_a^2 - N_b^2 - N_c^2]$$

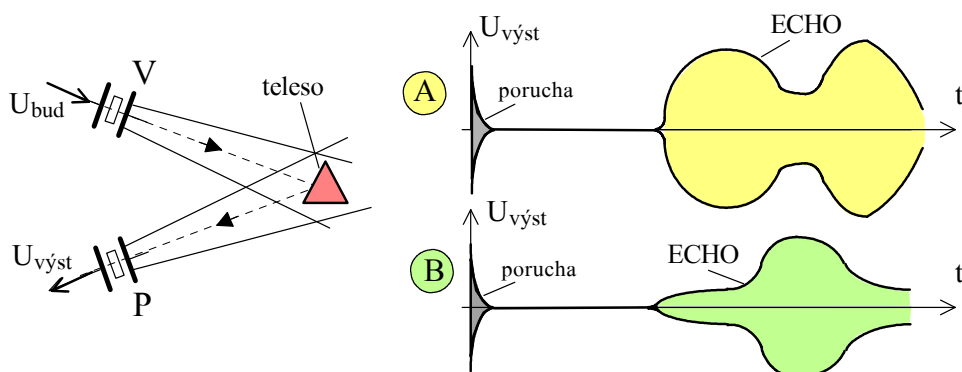
$$a_0 = 3d^8$$

*Poznámka:* Kompenzácia vektorových vplyvov - prúdenia je možná len cyklickou zámenou funkcie vysielajúca a niektorého prijímača → nutné recipročné meniče.

### 6.3.5. Určenie tvaru telesa z "echa"

- ♦ približná metóda pre jednoduché, značne odlišné telesá
- ♦ využitá je odrazená vlna impulznej metódy

Princíp s naznačenými piezomeničmi je na obr. 57.



Obr. 57.

- obálka odrazenej vlny má určitý tvar - ECHO
- tvar je pre každé teleso iný (závisí tiež od natočenia)
- A je echo pre jeden typ telesa, B je echo pre iný typ telesa



Porovnaním so "štandardnými tvarmi" sa dá približne usúdiť, čo sa nachádza v zornom poli snímača.

- 6-3. 1. Kompenzuje referenčný kanál zmeny mernej frekvencie, ktorá je použitá pri premene na počet impulzov ?
2. Je možné použiť pre referenčný kanál spoločný prvok (vysielač, alebo prijímač) ?
3. Pri priestorovom usporiadaní nahradíme teoretický bodový menič reálnym guľovým. Treba túto zmenu uvažovať ?