

MEMS Inteligentné senzory a aktuátory

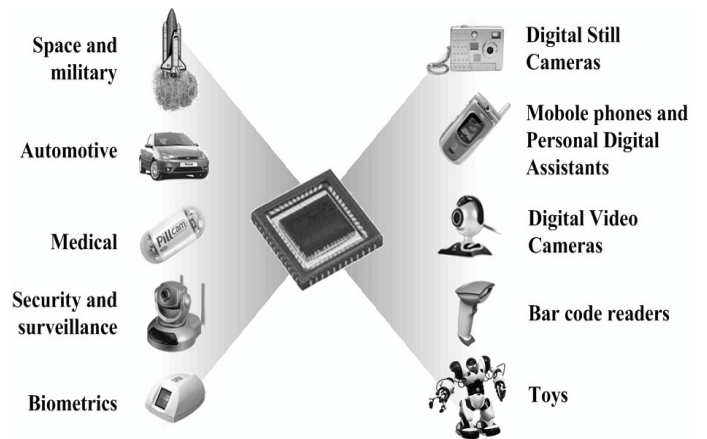
Ing. Richard Balogh

CCD a CMOS snímače + čiarové kódy

21. 3. 2016

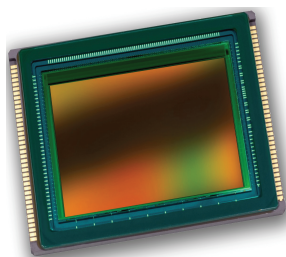
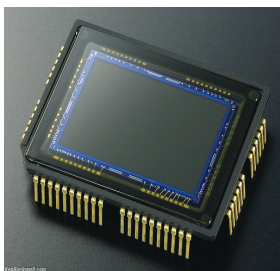


6. Aplikácie optických snímačov

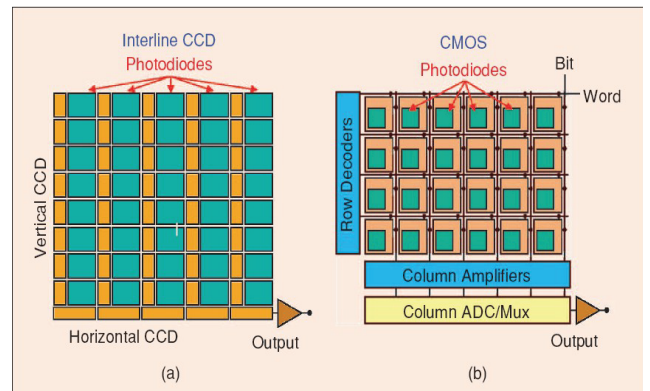


6. Optické snímače

CCD a CMOS



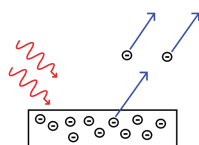
6. Optické snímače



6.1. CCD prvky fotoelektrický jav



Hertz: observed in 1887



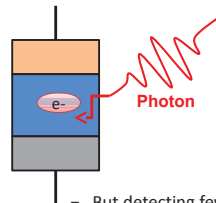
Einstein
 $E = \frac{hc}{\lambda}$

- For silicon, need ≈ 1.14 eV to release an electron
- So need $\lambda < 1100$ nm

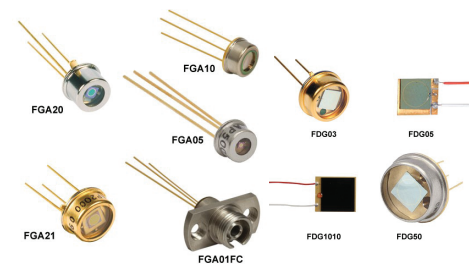
6.1. CCD prvky 1 pixel

Photodiodes

- Photons will generate electron (photoelectron)

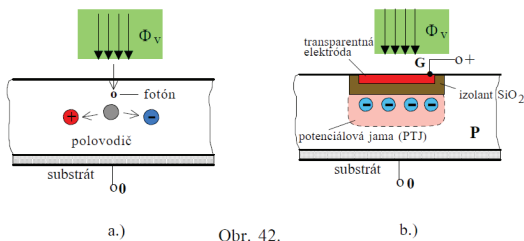


- But detecting few electrons is hard
- Need way to amplify the signal



6.1. CCD prvky

charge coupled device



Obr. 42.

Uchovávaime tzv. menšinové náboje, teda v P polovodiči elektróny. Tieto môžu vznikat' :

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

6.1. CCD prvky

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

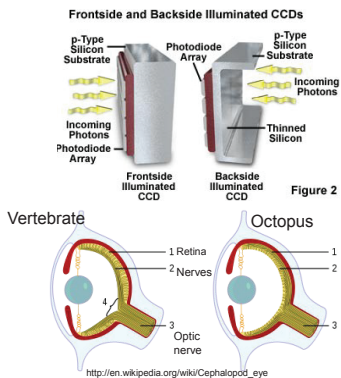
expozičia (osvit) e : (e býva označené tiež H)

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

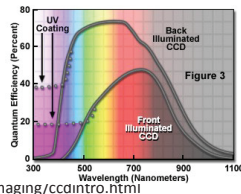
Poznámka: Doba existencie náboja v PTJ je asi $100 \text{ ms} + 10 \text{ s}$. (vyrovnanie tepelnou generáciou). Dlhé časy - problém, už cca $5 + 10 \text{ s}$ vyžadujú chladienie prvkov, napr. polovodičové, resp. softvrévé potlačenie. (následné zosnimanie bez obrazu a odčítanie)

6.1. CCD prvky

Front or Back Illuminated

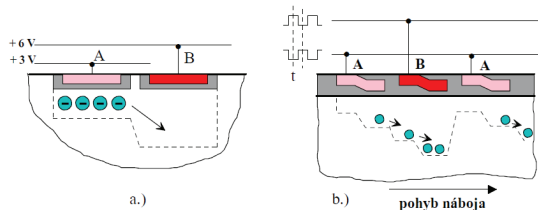


- Traditional, front-illuminated have wiring in front of photosensitive region
- This blocks some light, reducing QE
- Back-illuminated CCDs:
- Back side of the CCD is etched to 10-15 microns
- More fragile and costly, but higher QE



6.1. CCD prvky

prenos náboja



Obr. 43.

Vyšší potenciál vytvorí hlbšiu PTJ, nosiče do nej prepadávajú.

Tvarované elektródy - tvarovaná PTJ

Elektródy A a B - výstupný register

6.1. CCD prvky

základná CCD bunka

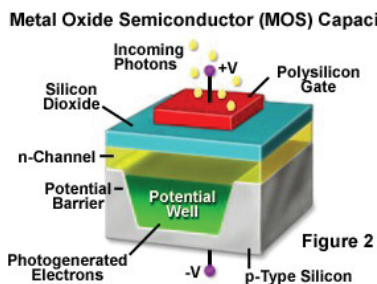


Figure 2

Charge-Coupled Device

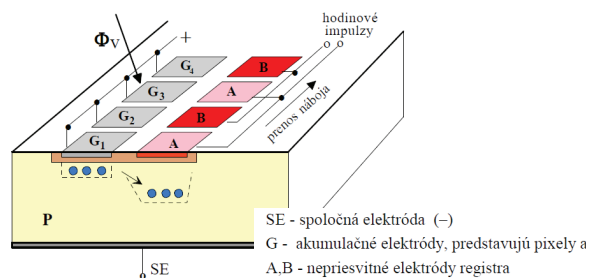
- Invented at Bell Labs in 1970
- 2009 Nobel Prize in Physics
- Widely used in TV, medical, astronomy cameras
- Array of light sensitive MOS capacitors (pixels)
- Incoming light generates electrons which are captured in a potential well
- Electrodes, or gates, move the charge

6.1. CCD prvky

riadkový CCD senzor

Riadkový CCD senzor

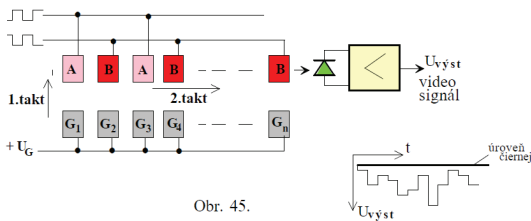
- Svetelný tok $\Phi_v \rightarrow$ náboj pod G_1, G_2, \dots
- Po dobe expozičie presun náboja pod A,B
- Fázovo posunutú impulzy na A,B - vysúvanie nábojov



SE - spoločná elektróda (-)
G - akumulčné elektródy, predstavujú pixely a A,B - neprievitné elektródy registra

From <http://learn.hamamatsu.com/articles/quantumefficiency.html>
Image from <http://www.microscopy.com/articles/digitalimaging/ccdintr.html>

6.1. CCD prvky riadkový CCD senzor



Video signál:

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

Počet pixelov - 128 (termovízia), po 6 - 10 tis. (profil scannery...)
Rozmery : od 6 x 6 μm do 17 x 8 μm .

6.1. CCD prvky riadkový CCD senzor

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 μs (1/12000 [s])

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

Výhody: netreba mechanickú uzávierku - cena

Nevýhody: pomalé vysívanie - akumulujú svetlo aj počas vysívania (náchylnejšie na smearing, blooming)
rýchle vysívanie - 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 $100 \div 3200 \text{ ASA}$ (21 \div 36 DIN).

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

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

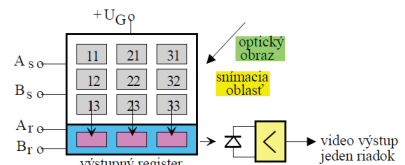
6.1. CCD prvky riadkový CCD senzor

Použitie riadkových CCD :

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

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

6.1. CCD prvky maticový CCD senzor: Full frame



Činnosť :

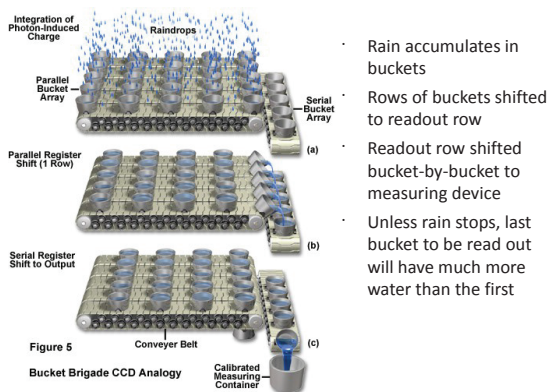
- obraz sa premietne na snímaciu časť \rightarrow pod elektródami náboj
- hodinové impulzy na A_s, A_r (1 fáza), a B_s, B_r (2 fáza) \rightarrow jeden riadok do výstupného registra.
- hodinové impulzy na A_r, B_r \rightarrow obsah registra po pixeloch do výstupu.

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

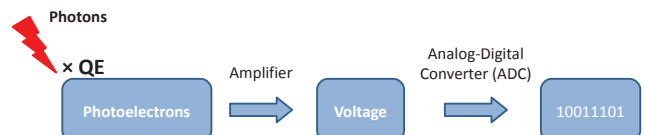
- pri vysívani by nemal reagovať na svetlo - zakrytie (mechanic. uzávierka)

- lacnejší

Bucket brigade analogy for read out



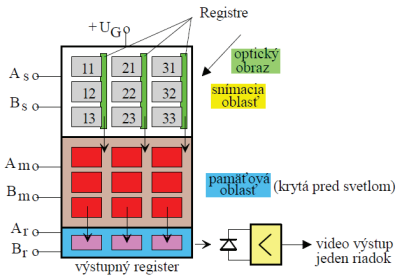
6.1. CCD prvky vyčítanie obsahu...



Bit Depth	Number of gray levels
8	28 = 256
10	210 = 1024
12	212 = 4096
14	214 = 16384
16	216 = 65536

6.1. CCD prvky maticový CCD senzor: frame transfer

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



Obr. 47.

6.1. CCD prvky snímanie farby

RGB systém

tri základné farby:

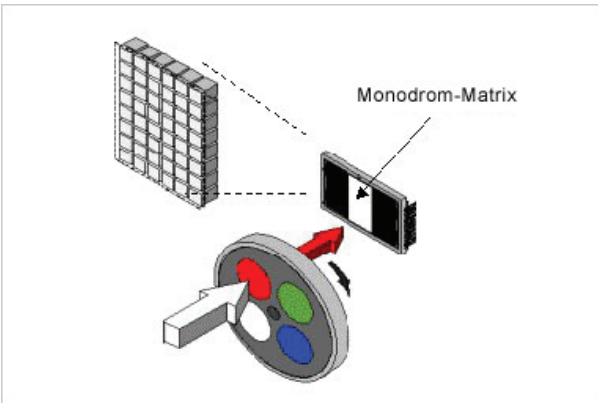
R (Red - červená), G (Green - zelená), B (Blue - modrá)

Poznámka: Jedna sa o aditívne miesanie farieb - svetiel.

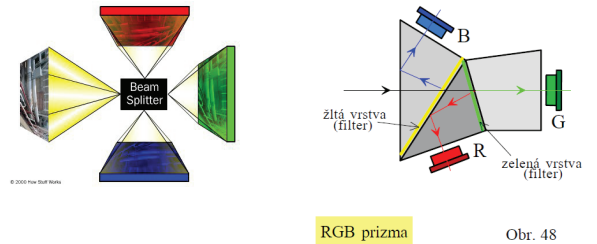
Možnosti:

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

6.1. CCD prvky snímanie farby – trojité snímanie



6.1. CCD prvky snímanie farby – tri CCD prvky

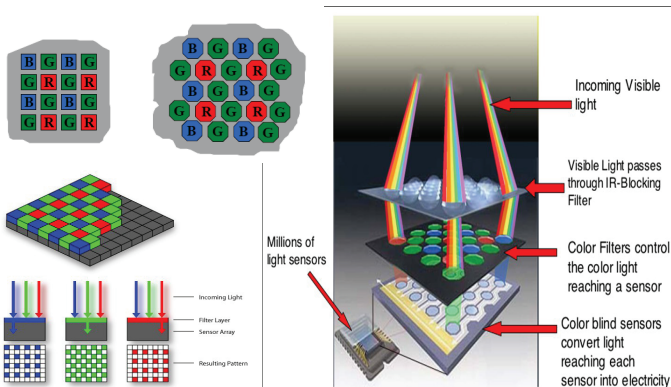


RGB prizma

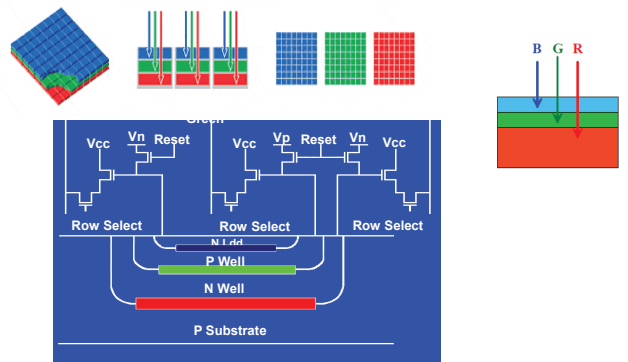
Obr. 48

- kvalitné zobrazenie
- náročné na presné nastavenie

6.1. CCD prvky snímanie farby – mozaikový filter

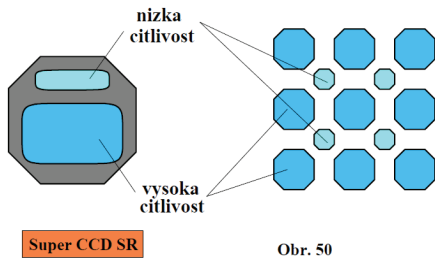


6.1. CCD prvky snímanie farby – trojvrstvový FOVEON



6.1. CCD prvky snímanie farby – dynamický rozsah

Zväčšenie dynamického rozsahu.



Obr. 50

CMOS Detectors

Anatomy of the Active Pixel Sensor Photodiode

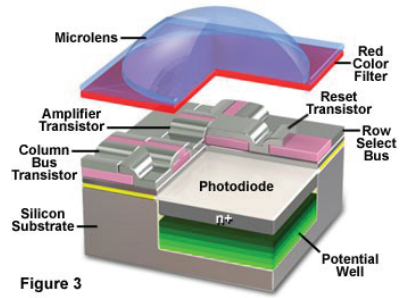


Figure 3

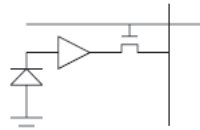
Complementary Metal Oxide Semiconductor

- Transistors in **each pixel** convert charge to voltage
- More can be done within a pixel meaning **frame read out can be faster**
- Fabricated much like microprocessors and RAM so are **cheaper to make**
- Used in webcams, phone cameras since they use **less power**

Image from <http://www.olympusmicro.com/primer/digitalimaging/cmosimagesensors.html>

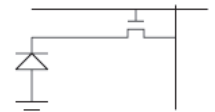
Active Pixel Image Sensor

- 3-4 transistors per pixel.
- Fast, higher SNR, but
- Larger pixel, lower fill factor.
- Lower voltage and lower power.



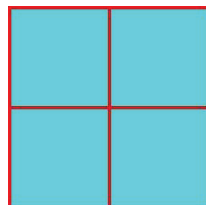
Passive Pixel Image Sensor

- 1 transistor per pixel.
- Small pixel, large fill factor, but
- Slow, low signal to noise ratio (SNR).



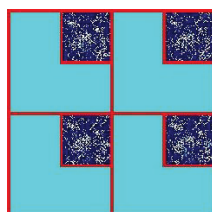
What is a Pixel?

- ◊ The smallest discrete component of an image or picture on a CRT screen is known as a pixel.
- ◊ Each pixel is a sample of an original image, where more samples typically provide more-accurate representations of the original.



What is Fill Factor?

- ◊ Fill factor refers to the percentage of a photo site that is sensitive to light.
- ◊ If circuits cover 25% of each photo site, the sensor is said to have a fill factor of 75%. The higher the fill factor, the more sensitive the sensor.



CMOS Detectors

Anatomy of the Active Pixel Sensor Photodiode

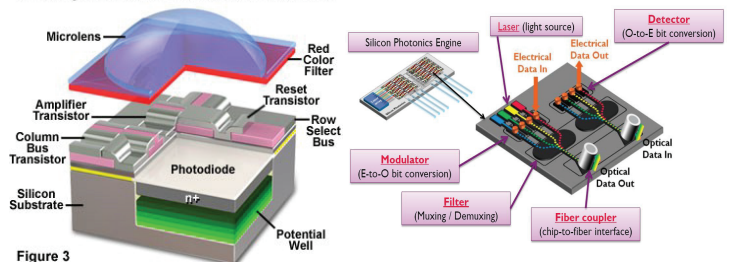
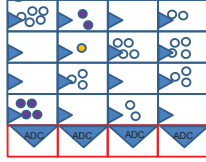


Figure 3

Image from <http://www.olympusmicro.com/primer/digitalimaging/cmosimagesensors.html>

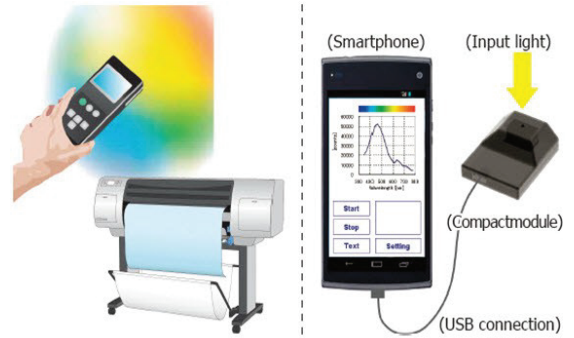
CMOS read out

- Each pixel has at least 3 transistors
 - For converting charge to voltage; resetting pixel; transferring voltage
- Voltage transferred along columns to amplifiers and ADCs

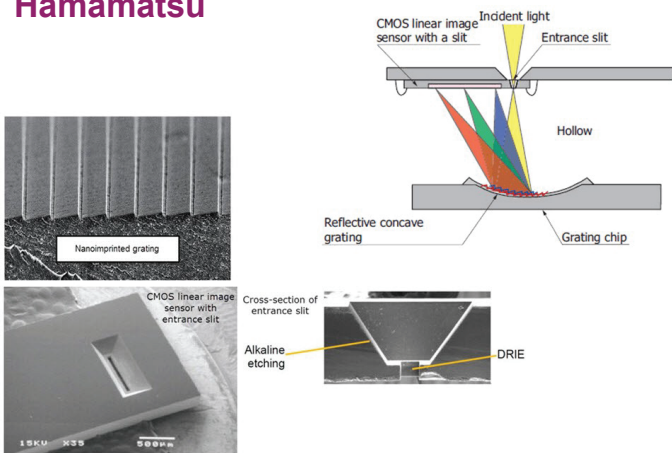


- Each row is then read out to memory

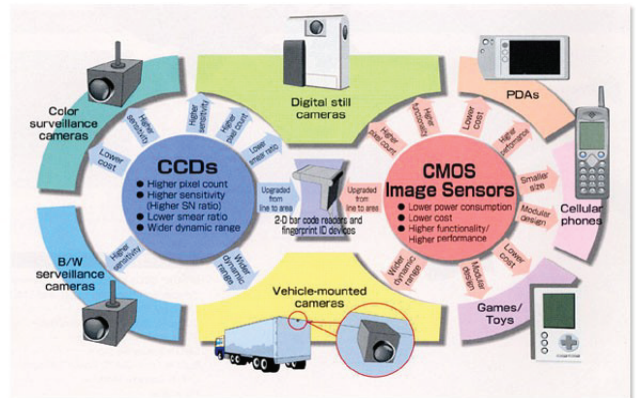
6.3. MEMS CMOS mikrospektrometer Hamamatsu



6.3. MEMS CMOS mikrospektrometer Hamamatsu



6.1. CCD vs. CMOS

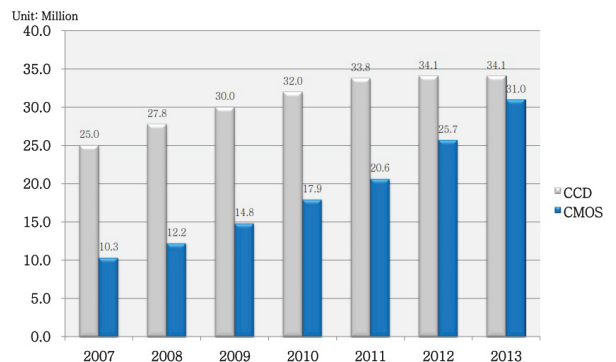


6.1. CCD vs. CMOS

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Create high-quality, low-noise images. • Greater sensitivity and fidelity • 100 times more power • Require specialized assembly lines • Older and more developed technology | <ul style="list-style-type: none"> • More susceptible to noise • Light sensitivity is lower • Consume little power • Easy to Manufacture • Cheaper |
|---|---|

Picture quality, sensitivity and cost vs. Cost and battery life.

6.1. CCD vs. CMOS



6.3. Čiarové kódy barcode



- lineárne
- dvojrozmerné
- moderné identifikačné prvky

6.3. Čiarové kódy Lineárne – linear barcode

Lineárne - sústava čiar a medzier

- menšia kapacita (tradičné len čísla, cca 20 znakov)
- jednoduchšia tvorba (tlač)
- jednoduchšie čítanie

Požiadavky:

- presná geometria
- šírka čiar a medzier

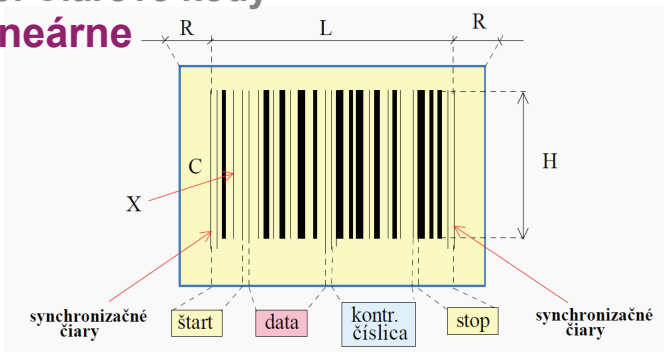
- dostatočný kontrast
- ideálny čierny na bielom podklade (**nelesklý !!**)

- farebná kombinácia
- ak nemá kód rušiť na obale

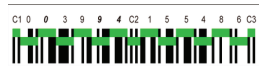
- utajené kódy
- okom neviditeľný, číta sa IR žiarením



6.3. Čiarové kódy Lineárne



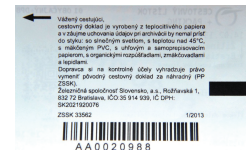
- X - šírka modulu (najtenšia čiara - medzera)
- R - svetlé pásmo (min 2,5 mm, resp. 10 X)
- H - výška kódu (min. 0,1 L ručné, 0,2L skener.....)
- L - dĺžka kódu (štart - stop)
- C - kontrast (jaspodadia - jasčiary) / jaspodadia
- synchronizačné čiary (okrajové) - určujú štart-stop



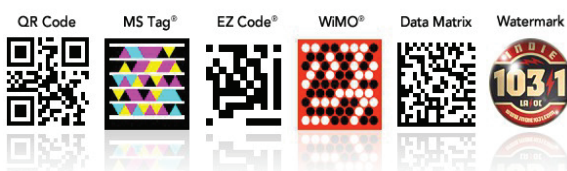
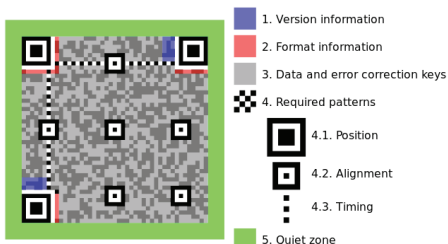
6.3. Čiarové kódy Plošné (2D)

plošné 2D - sústava plošných útvarov (DataMatrix, PDF417, MaxiCode...)

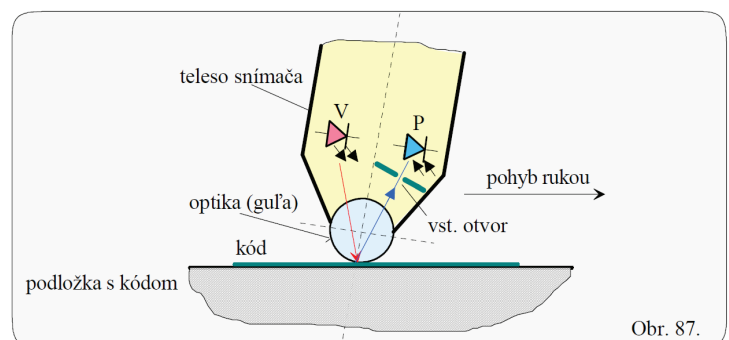
- vyššia kapacita (až 4 kB)
- zložitejšia tvorba a čítanie
- čítanie kamerou (image sensors)



6.3. Čiarové kódy Plošné (2D)

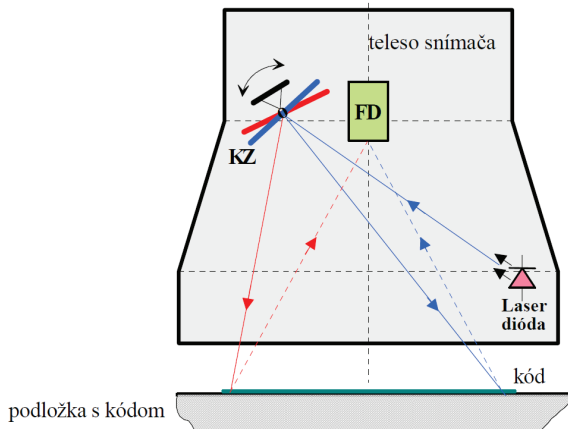


6.3. Čiarové kódy Lineárne – skenery

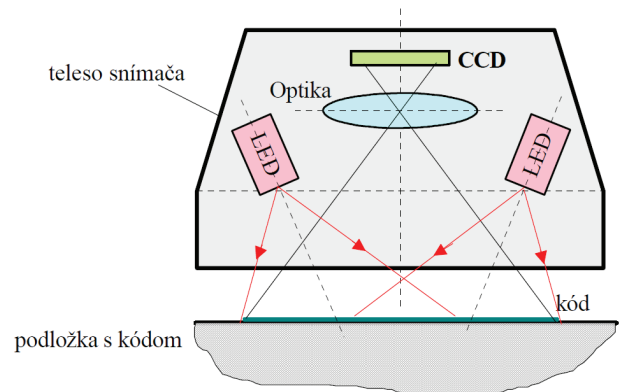


Obr. 87.

6.3. Čiarové kódy Lineárne – skenery



6.3. Čiarové kódy Lineárne aj plošné



6.3. Moderné kódy RFID – radio-frequency identification



6.3. Moderné kódy NFC – near field communication

