

Senzori slike

Miroslav Rožić
Mikroprojekt
[\(miroslav.rozic@mikroprojekt.hr\)](mailto:miroslav.rozic@mikroprojekt.hr)



THE VIDEO BRIDGING COMPANY



Ekspertiza



Ekrani, Displayi



Kamere



Obrada signala



Pregled

- **Svjetlo i kamera**
 - Kako stvaramo sliku
 - Što je svjetlo, kako ga mjerimo
- **Tehnologije senzora slike**
 - Povijest
 - Trenutne tehnologije: CCD i CMOS

Pregled

■ Senzori slike u praksi

- Podjela CCD i CMOS senzora po karakteristikama
- Značajke i posebnosti

■ Od senzora do slike

- Sučelje ka senzoru
- Senzorski cjevovod
- Ugađanje

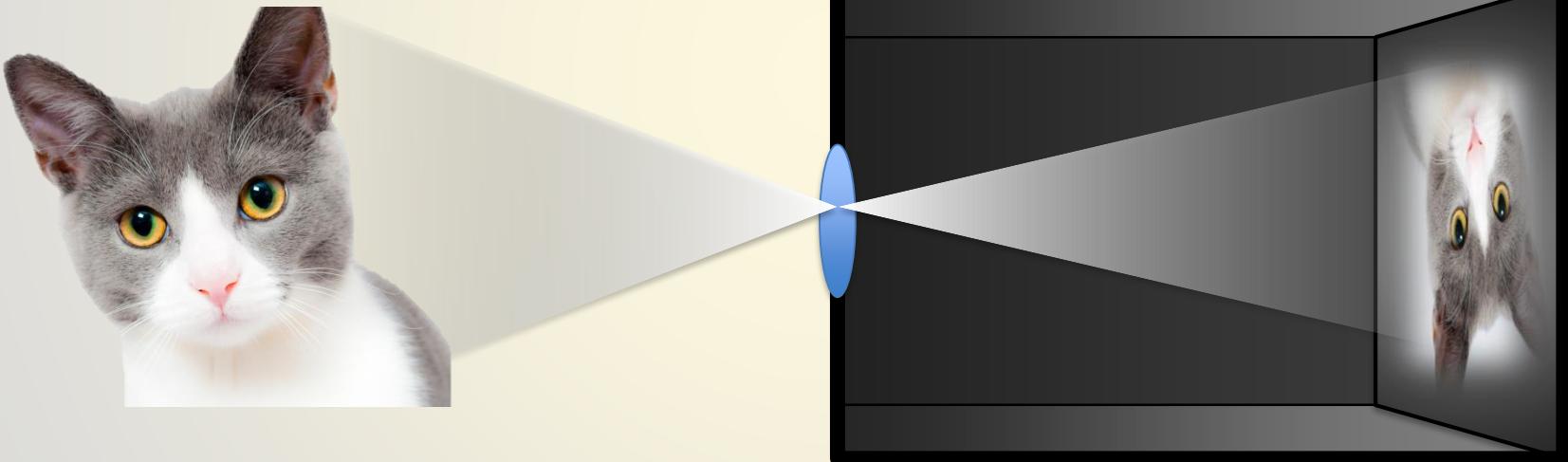


Svjetlo i kamera

Stvaranje slike

■ Kamera

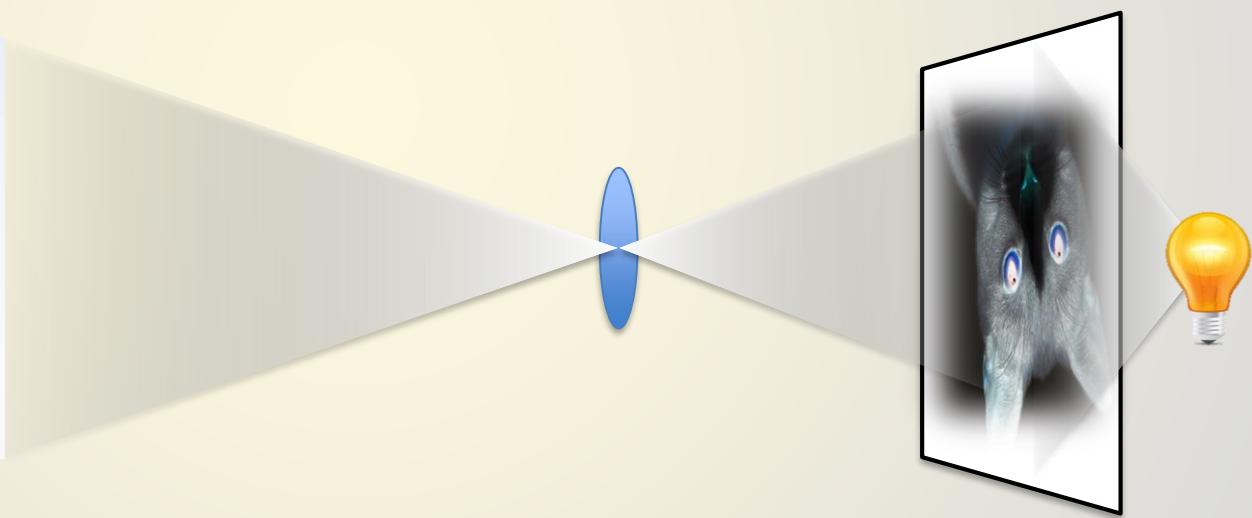
- Od lat. *Camera obscura* - tamna komora



Stvaranje slike

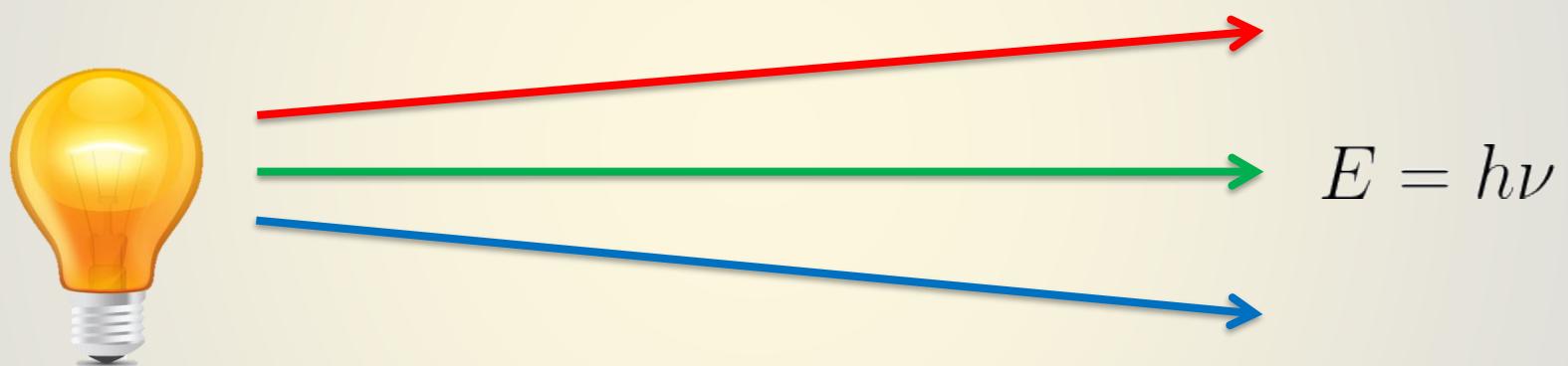
■ Fotografija

- Grč. *photos* – svjetlost, *graphein*- pisati
- svjetlopis – zapis slike

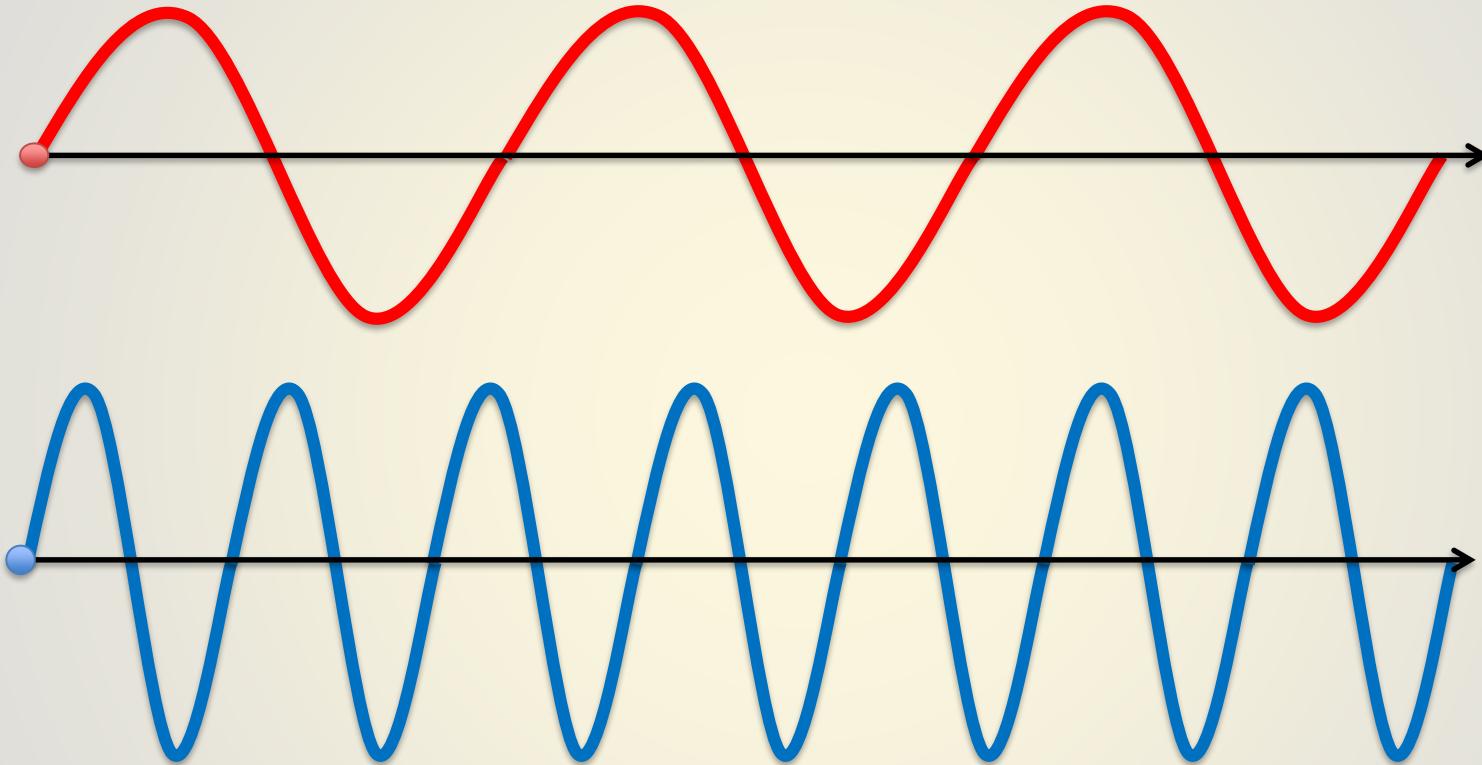


Svjetlo

- Elektromagnetsko zračenje



Elektromagnetsko zračenje

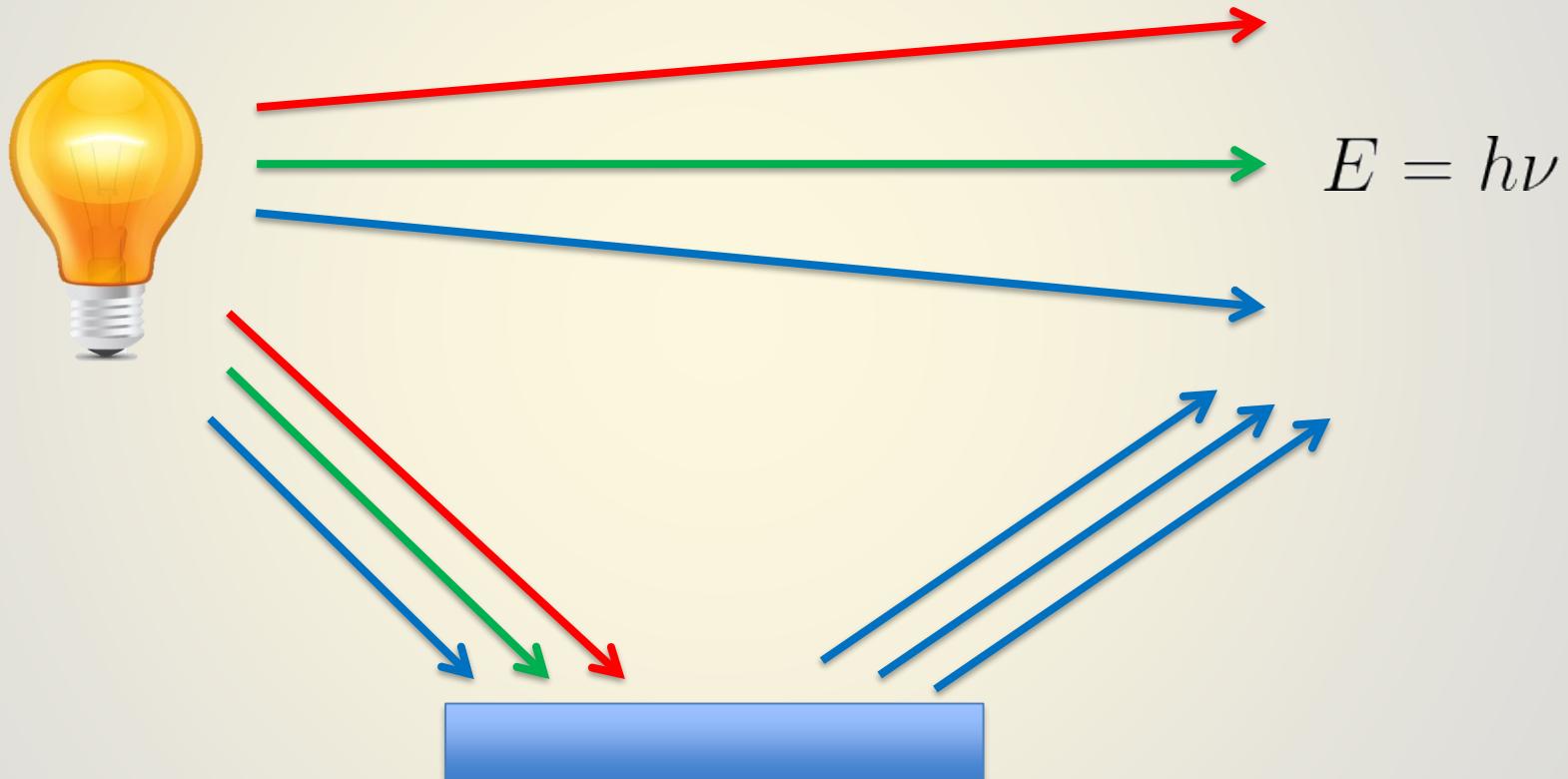


$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

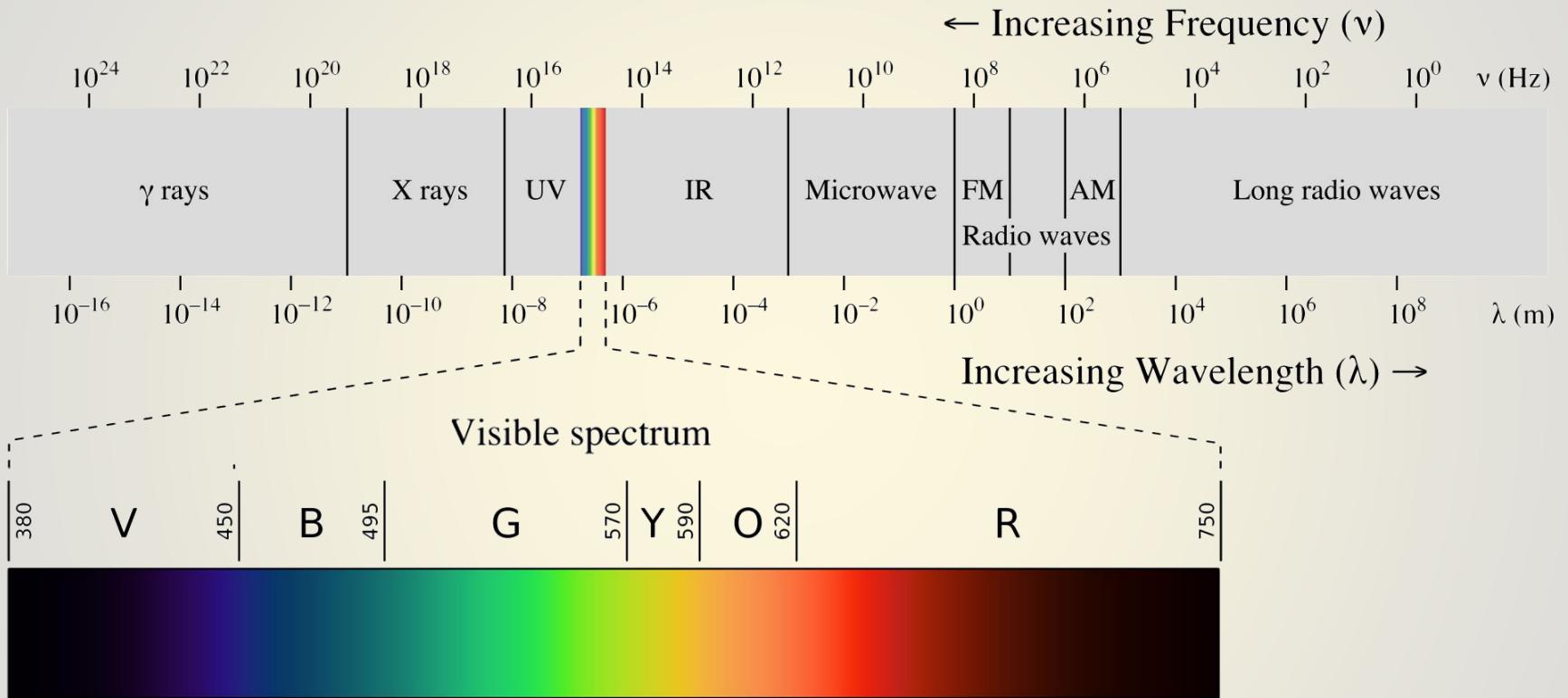
Valna duljina → boja

Izvori svjetla

■ Primarni i Sekundarni



Spektar



By Philip Ronan, Gringer - File:EM spectrum.svg and File:Linear visible spectrum.svg, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=24746679>

Intenzitet

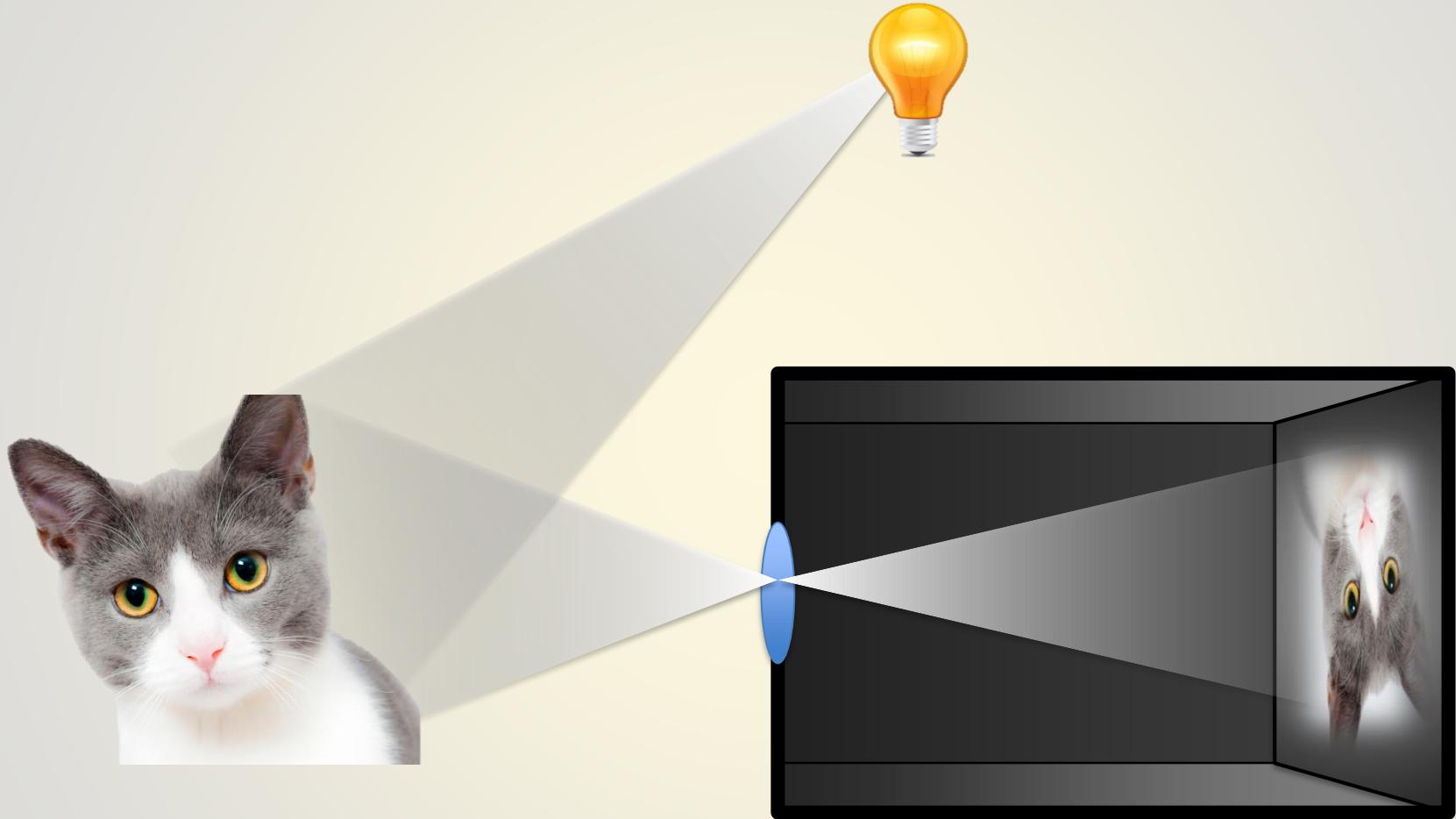
- Svjetlosna jakost - intenzitet svjetlosti
 - razmjeran energiji koju izvor daje (broju fotona u jedinici vremena)
- Fotometrija
 - znanost o mjerenuju **vidljivog** svjetla

Fotometrijske jedinice

Naziv	Simbol	Jedinica	Kratika	Komentar	Engleski naziv
Svjetlosna energija	Q_s	lumen sekunda	$lm \cdot s$	naziva se i količina svjetlosti	<i>Luminous energy</i>
Svjetlosni tok	Φ_s	lumen (cd·sr)	lm	naziva se i luminacijski fluks ili svjetlosna snaga	<i>Luminous flux / luminous power</i>
Svjetlosna jakost	I_s	kandela (lm/sr)	cd	naziva se i luminacijski intenzitet	<i>Luminous intensity</i>
Svjetljivost	L_s	kandela po četvornom metru	cd/m^2	naziva se i luminancija	<i>Luminance</i>
Osvjetljenje	E_s	luks (lm/m^2)	lx	naziva se i iluminacija	<i>Illuminance</i>
Osvijetljenost	H_s	luks sekunda	$lx \cdot s$	naziva se i svjetlosna izloženost ili ekspozicija	<i>Luminous exposure</i>
Svjetlosna učinkovitost	η	lumen po vatu	lm/W	naziva se i luminacijska efektnost	<i>Luminous efficacy</i>

- Za stvaranje slike, bitno je:
 - Intenzitet svjetlosti koju emitiraju površine u sceni
 - Energija predana fotoosjetljivom elementu/senzoru u vremenu izloženosti svjetlu

Illuminacija

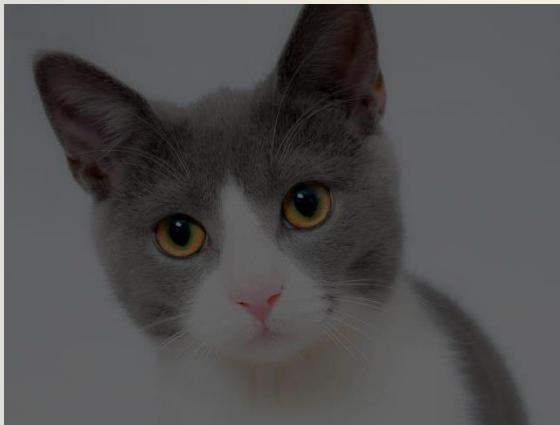


Illuminacija

Uvjeti	Illuminacija (lx)
Dnevno svjetlo	10000
Oblačan dan	1000
Vrlo oblačan dan	100
Sumrak	10
Duboki sumrak	1
Puni mjesec	0,1
Prva četvrt	0,01
Bez mjesecine/zvijezde	0,001

Ekspozicija

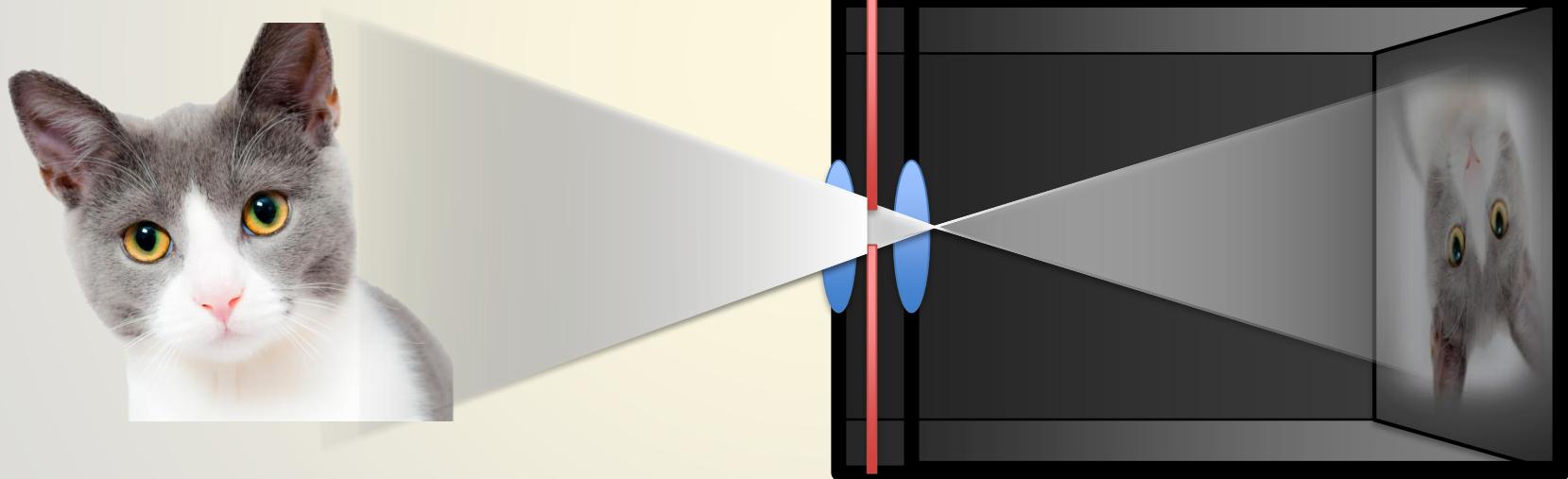
- Osjetljivost filma/senzora na svjetlo
 - NE POKRIVA cijeli raspon



- Sliku želimo dobiti u **svim uvjetima**
 - potrebno je varirati količinu energije koja osvjetljuje naš senzor

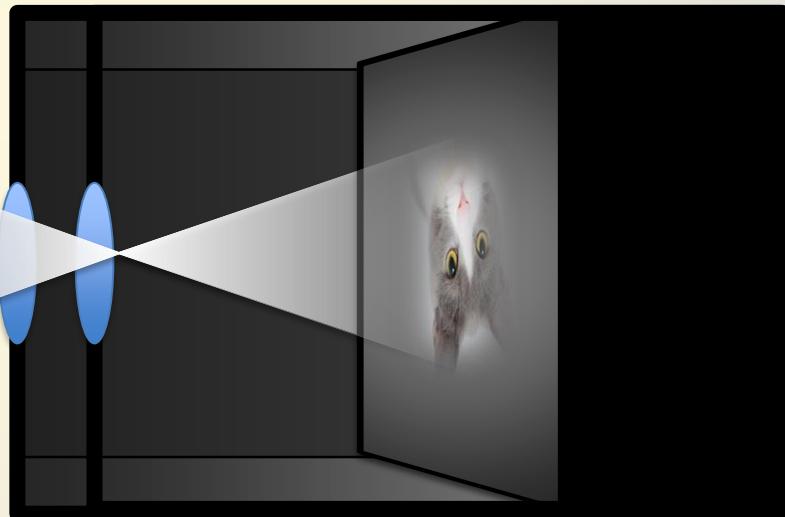
Ekspozicija

- Količinu svjetla koja dopire do senzora možemo regulirati na dva načina
 - Variranjem veličine otvora/leće (eng. *Aperture*)



Ekspozicija

- Količinu svjetla koja dopire do senzora možemo regulirati na dva načina
 - Variranjem vremena tokom kojeg je senzor izložen svjetlu - upotrebom zatvarača (eng. *Shutter*)



Ekspozicija

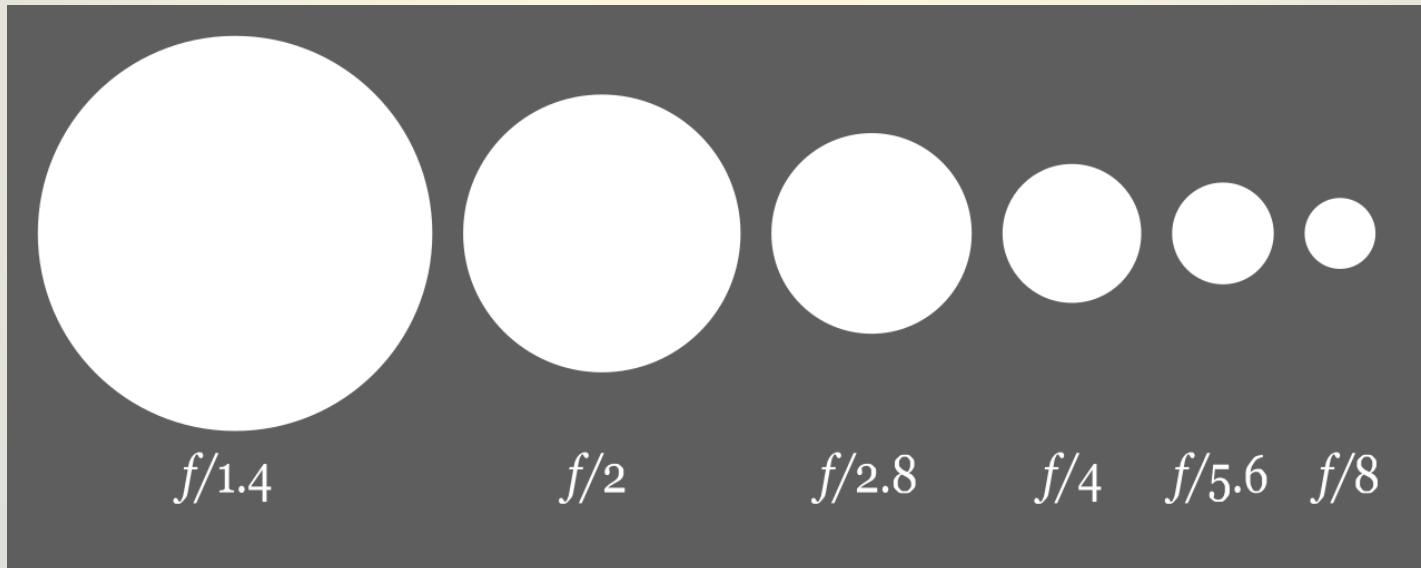
■ Zatvarač (*Shutter*)

- Omeđuje početak i kraj ekspozicije
- Zatvaračem ugađamo **trajanje ekspozicije** od više sekundi do frakcija sekunde (stotinki, tisućinki)
- Upravlja trenutkom u kojem snimamo sliku

Ekspozicija

■ Otvor blende (*Aperture*)

- Mjerilo propusnosti optike za svjetlo („brzine“)
- Izražava se kao omjer veličine otvora i žarišne udaljenosti leće - **F-broj**



By Cbuckley at the English language Wikipedia, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1911215>

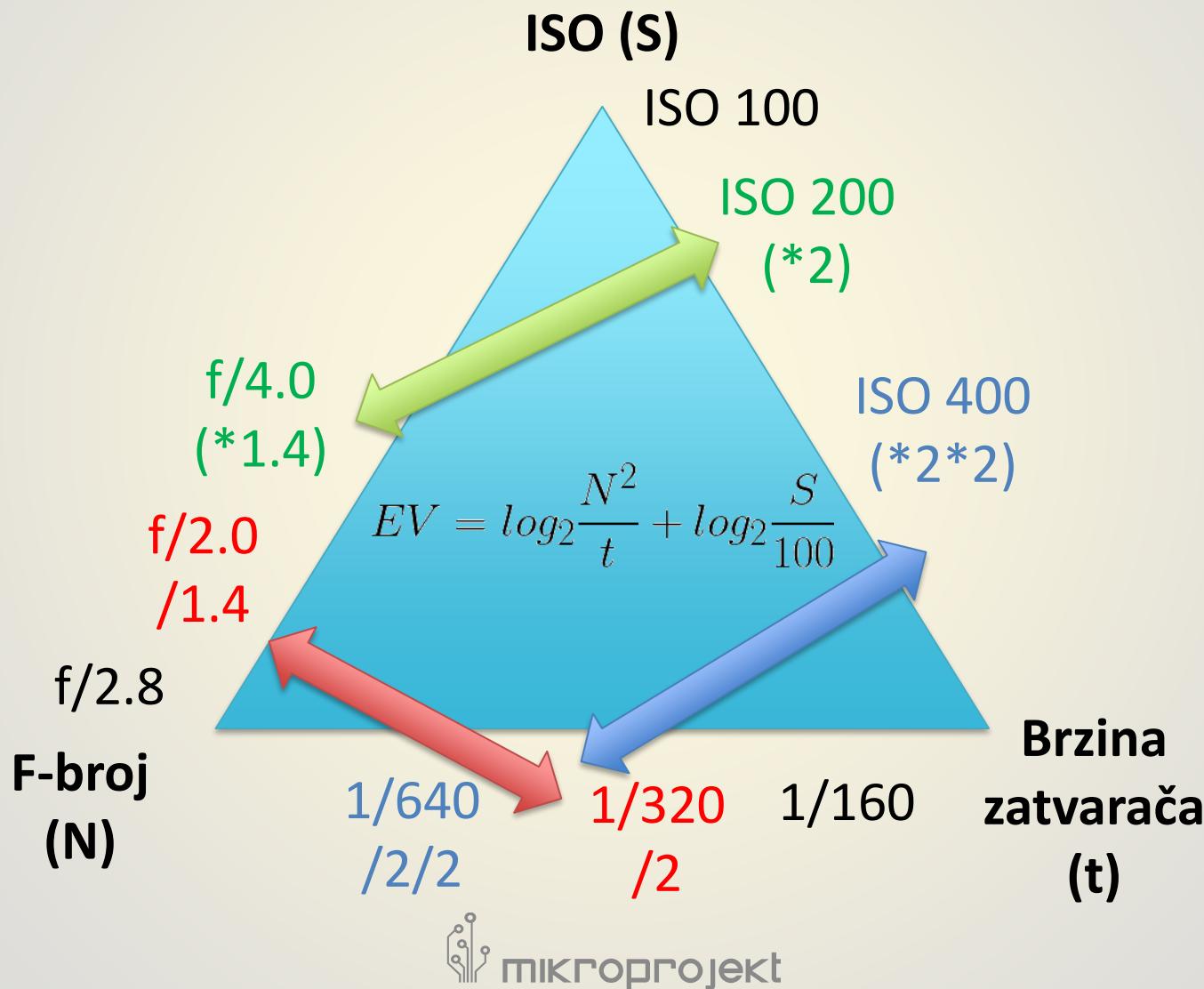
Ekspozicija

■ Osjetljivost medija (senzora)

- Određuje koliko duga ekspozicija je potrebna pri određenom osvjetljenju za određeni tonski rezultat
- Naziva se ISO vrijednost
 - (ISO 5800:2001)
- Za senzore je razmjerna pojačanju pojačala signala u senzoru
 - (ISO 12232:2006)

ISO	Pojačanje
100	0dB
200	6dB
400	12dB
800	18 dB
1600	24dB
3200	30dB

Ekspozicijski trokut



Ekspozicijski trokut

- „Trostruka klackalica”
 - Promijenimo li jedan od parametara, moramo uravnotežiti bilo koji od druga dva za ekvivalentan iznos kako bi ekspozicija ostala identična
- Zašto imamo različite postavke?
 - Sve utječu na konačni rezultat

Utjecaj ekspozicije na sliku

- Otvor/F-broj
 - Mijenja dubinsku oštrinu (*depth of field*)



By Alex1ruff - Own work, CC BY-SA 4.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=48367974>



By Alex1ruff - Own work, CC BY-SA 4.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=48367982>

Utjecaj ekspozicije na sliku

- Brzina zatvarača (trajanje ekspozicije)
 - Utječe na zapis objekata u pokretu



By Taken byfir0002 | flagstaffotos.com.au
Canon 20D + Tamron 28-75mm f/2.8 -
Own work, GFDL 1.2, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=350978>

By Taken byfir0002 | flagstaffotos.com.au
Canon 20D + Tamron 28-75mm f/2.8 -
Own work, GFDL 1.2, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=350982>

Gdje je u svemu ovome senzor?

- Poluvodički senzori slike su na evolucijski način zamijenili prethodna rješenja za hvatanje slika i videa
- Poluvodički senzori nasljeđuju koncepte i karakteristike prethodnih rješenja



Tehnologije senzora slike

Pretvaranje svjetlosnog u električki signal

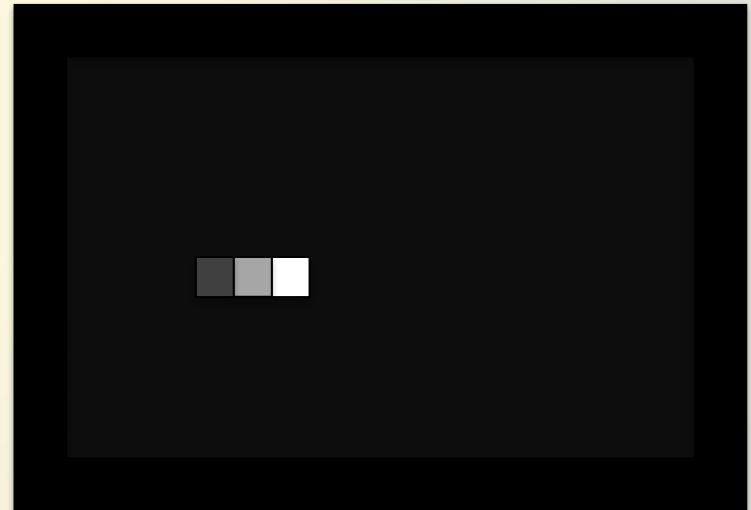
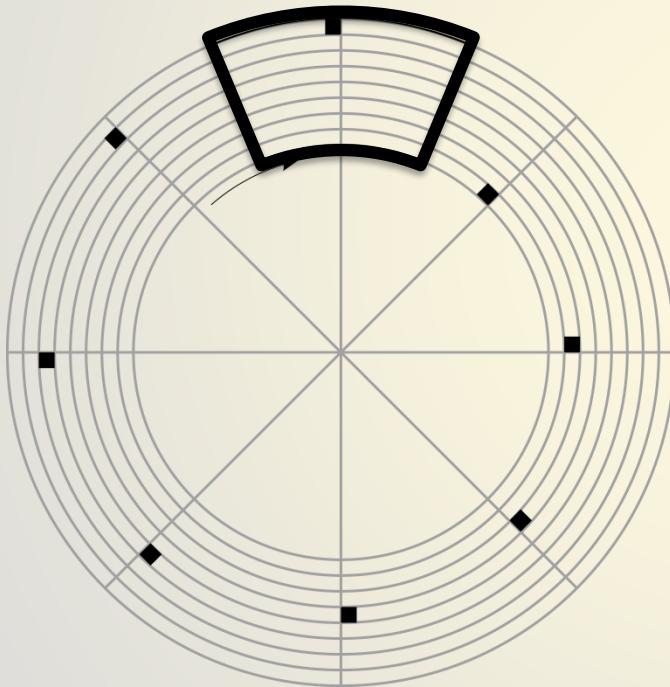
Povijest

- Pretvaranje svjetlosnog signala/slike u električki signal
 - Motivacija: slanje slika na daljinu putem radio signala → Televizija



Mehanička televizija

- Elektromehanički(!) senzor slike
 - Nipkowljev disk + selenijska fotoćelija



By Hzeller, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3583147>

Mehanička televizija

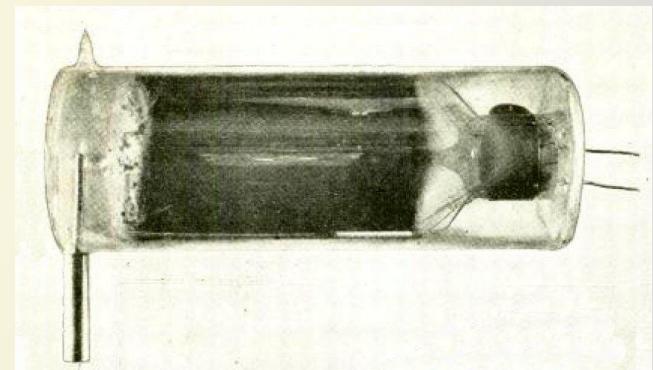
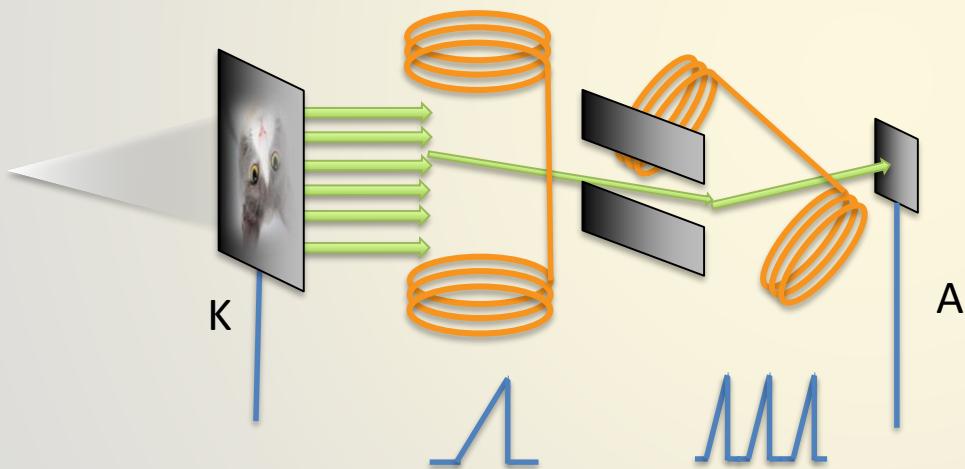
- Demonstracija prvog praktičnog televizijskog sustava
 - John Logie Baird, 1926.



Elektronička televizija

■ Elektronske cijevi

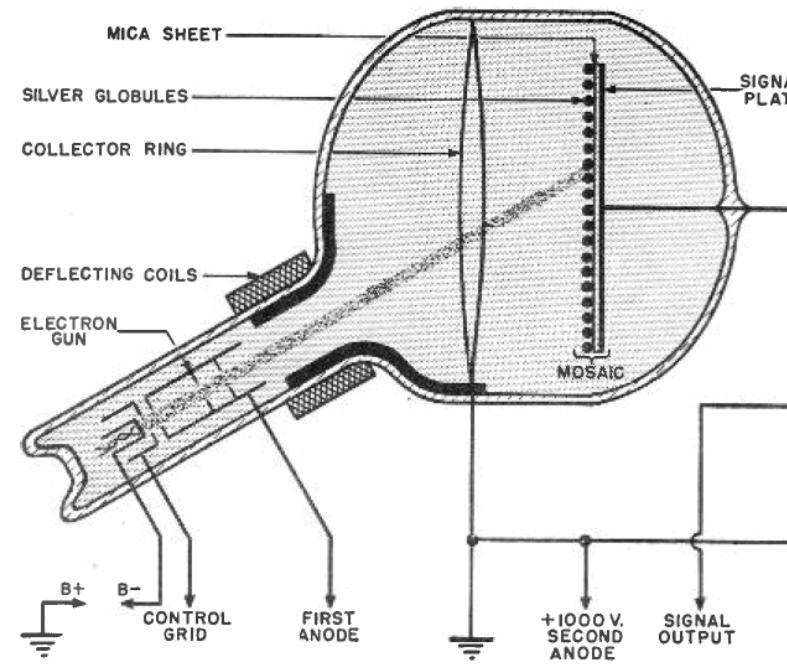
- Prvi posve elektronički senzori slike
 - Disektor slike (*image dissector*) (P. Farnsworth)



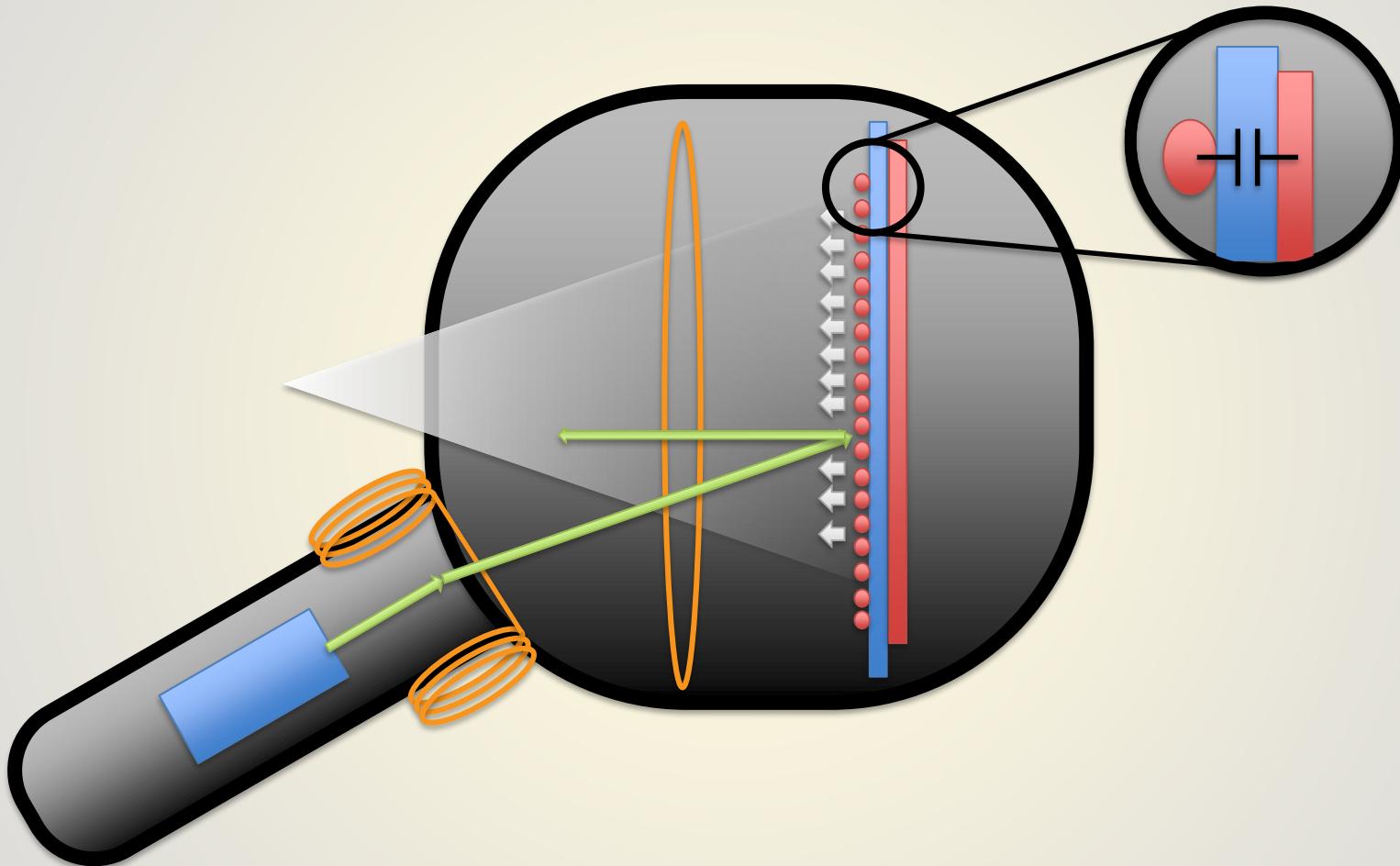
- Nedovoljno osjetljiv

Električka televizija

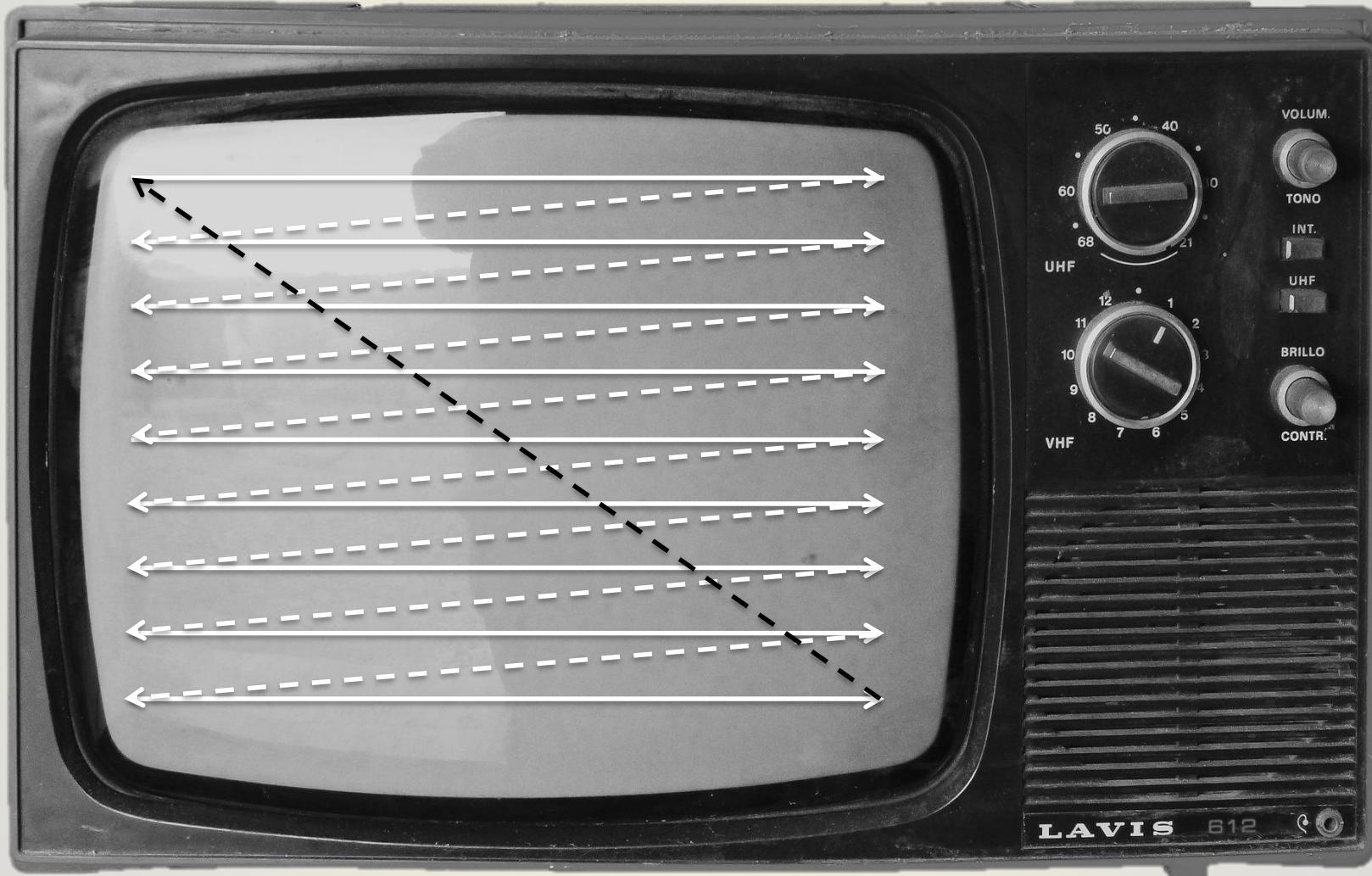
- Ikonoskop (V. Zworykin)
 - Prvi široko primjenjivi električki senzor



Ikonoskop

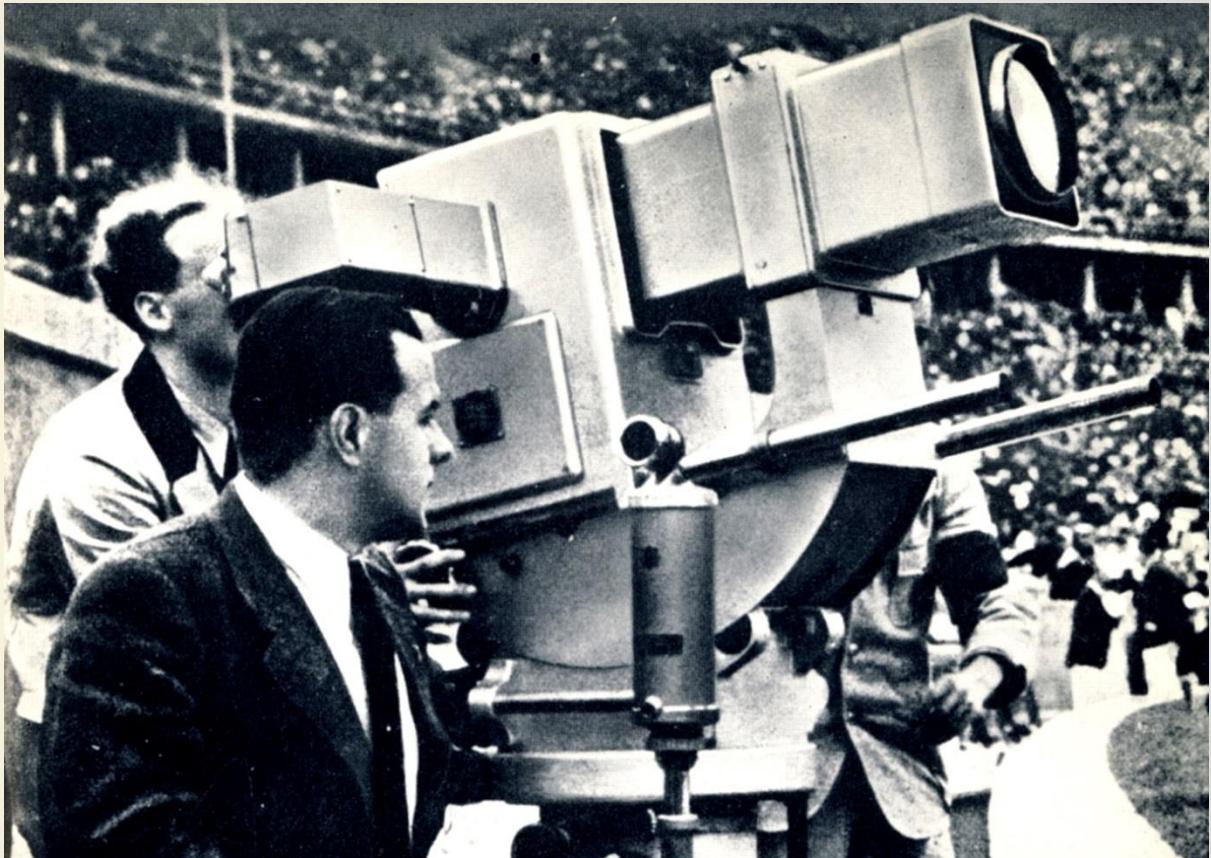


Video timing



Ikonoskop

- Olimpijske igre u Berlinu 1936.
 - Prvi prijenos uživo



By Telefunken-Bild, Berlin - Telefunken-Bild, Berlin, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=8525433>

Daljnji razvoj

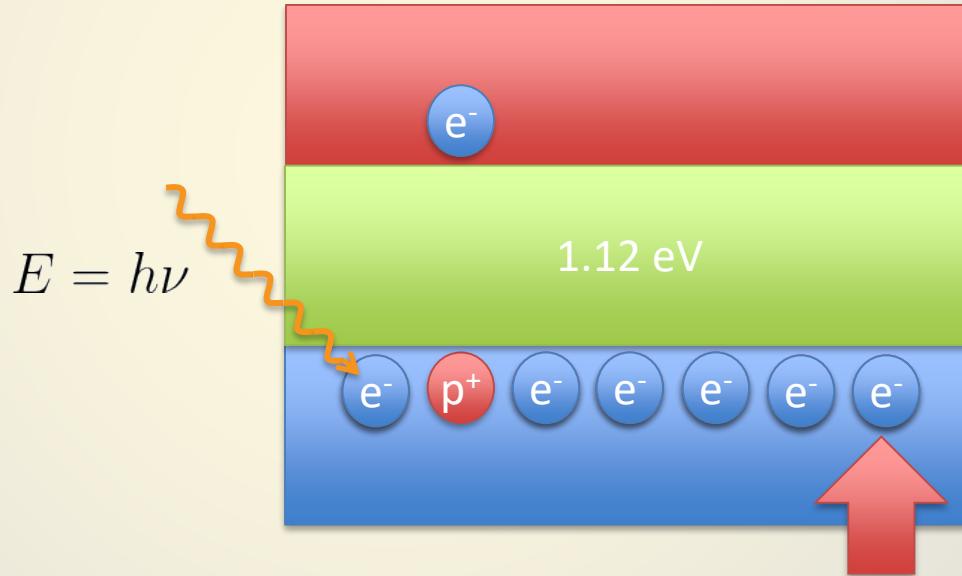
- Orthicon
- Vidicon
- Varijante
 - Plumbicon
 - Saticon
 - Pasecon
 - Newvicon
 - Trinicon
 - Itd..



By Sphl - Own work, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=809979>

Fotoelektrični efekt

- Fotoelektrični efekt je temelj svih senzora slike



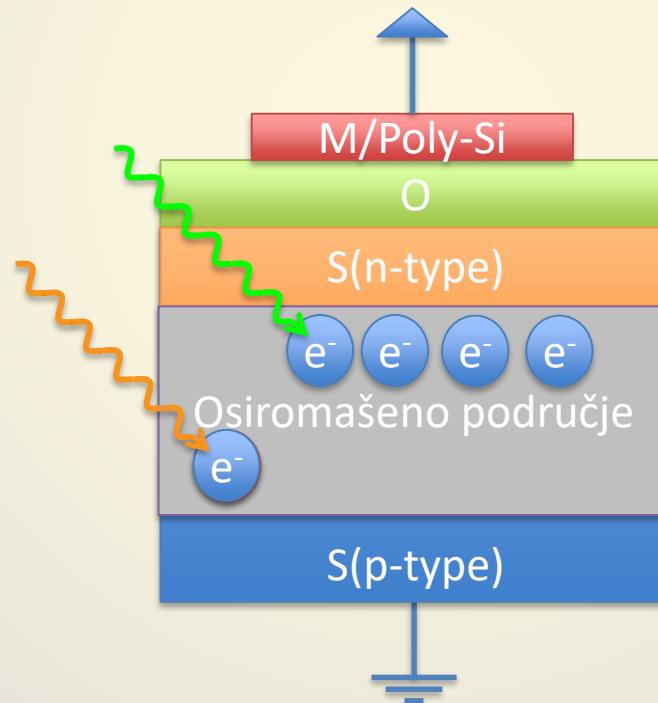
- Vidljivo svjetlo: 1.65 - 3.26eV

Poluvodički senzori

- CCD Senzor (Charge-coupled device)
 - Willard Boyle & George E. Smith, AT&T Bell Labs, 1969.
 - Michael Tompsett, AT&T Bell Labs, 1970. – prva primjena kao senzor slike
- CCD je prvi praktičan solid-state senzor slike

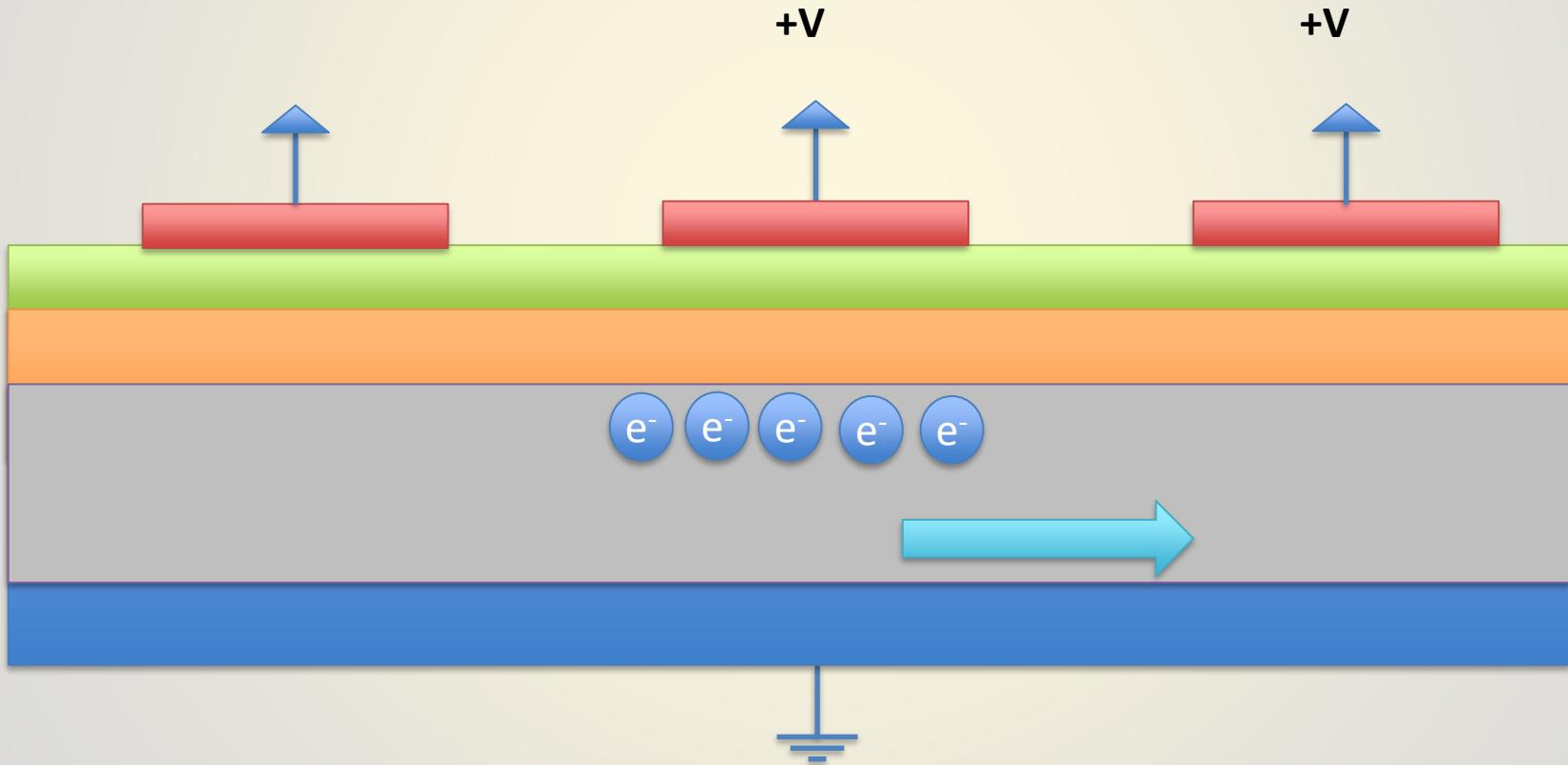
CCD Senzor

■ Osnova: MOS Kondenzator

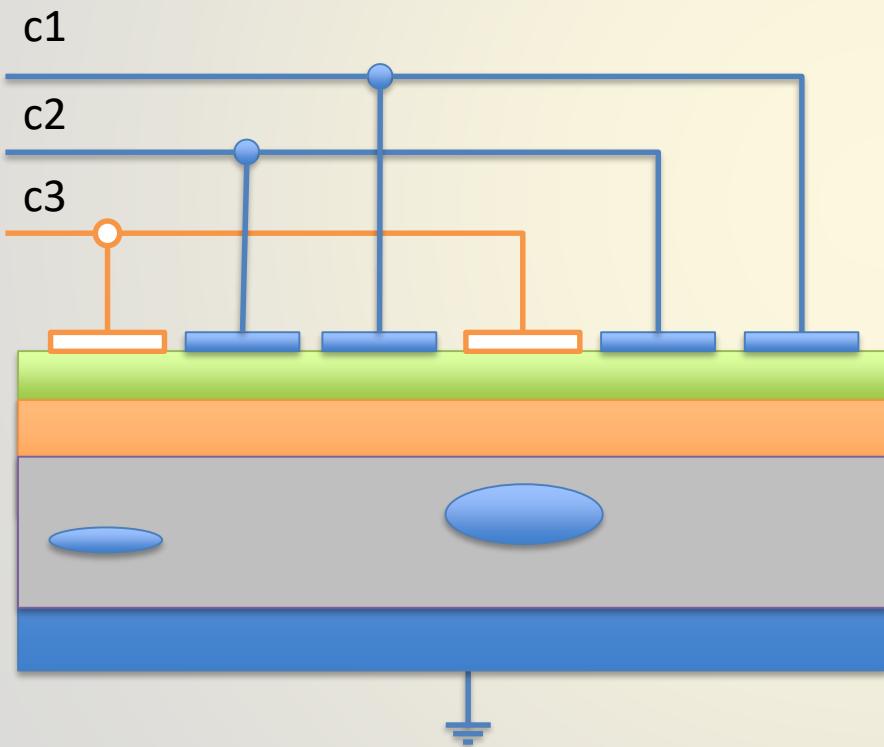


CCD Senzor

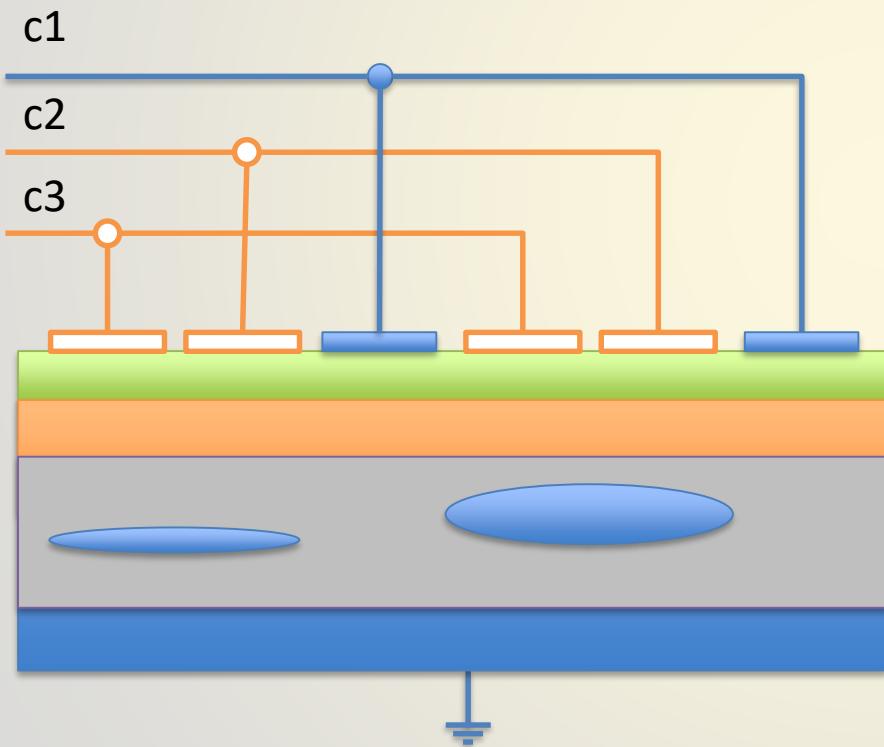
- Migracija naboja



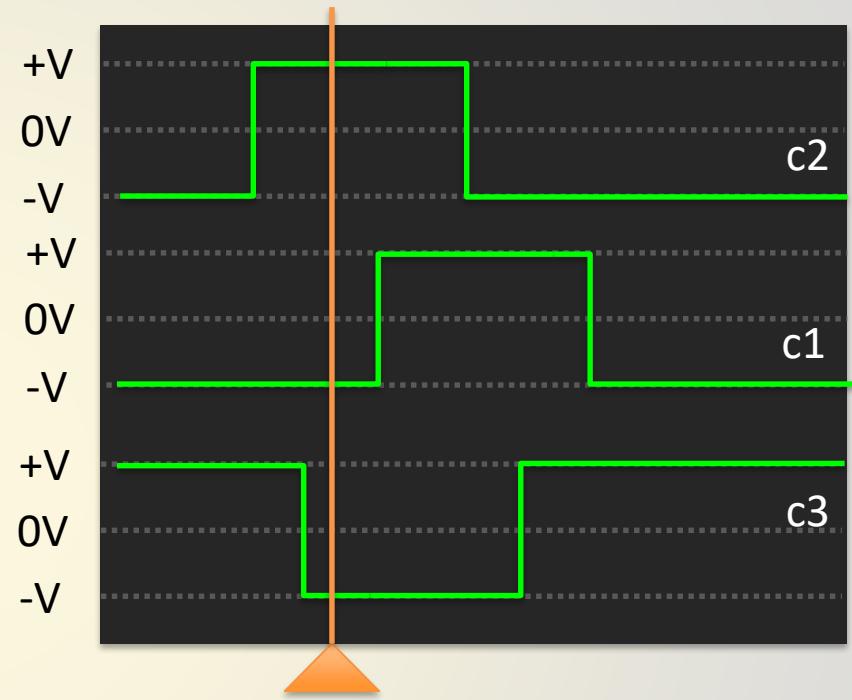
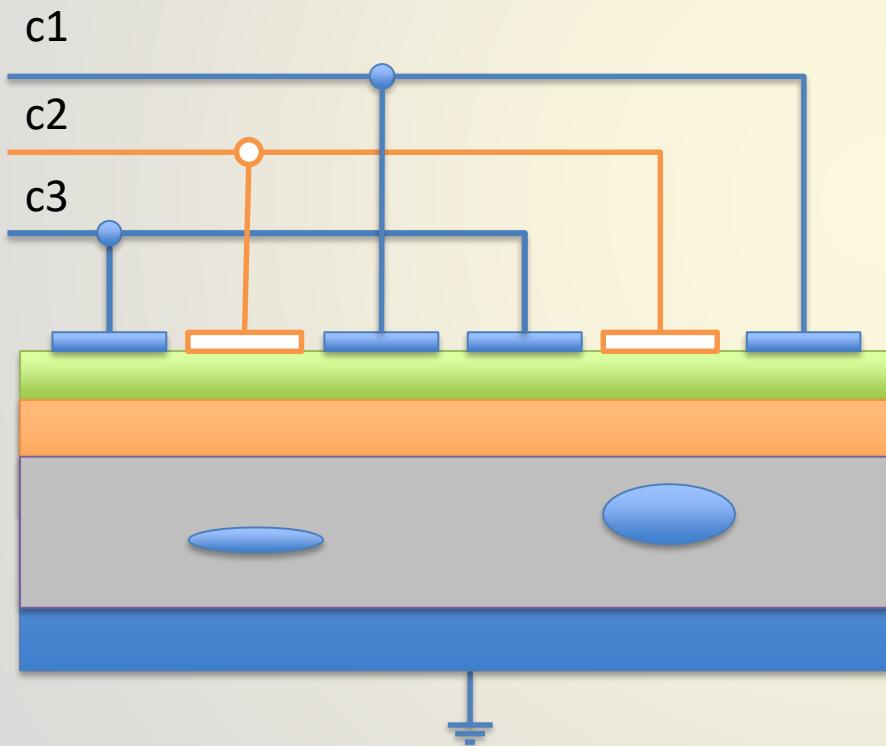
CCD Senzor



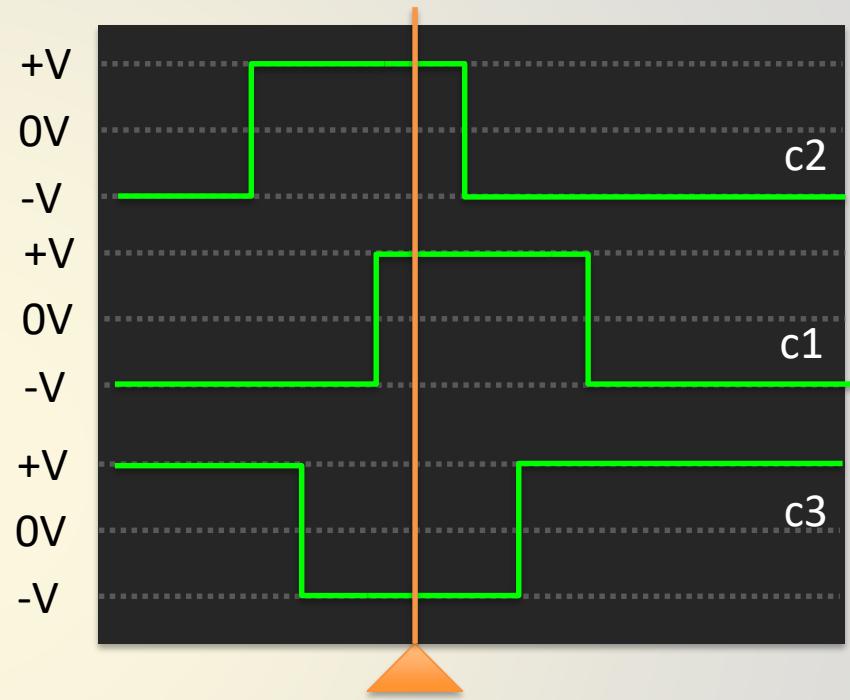
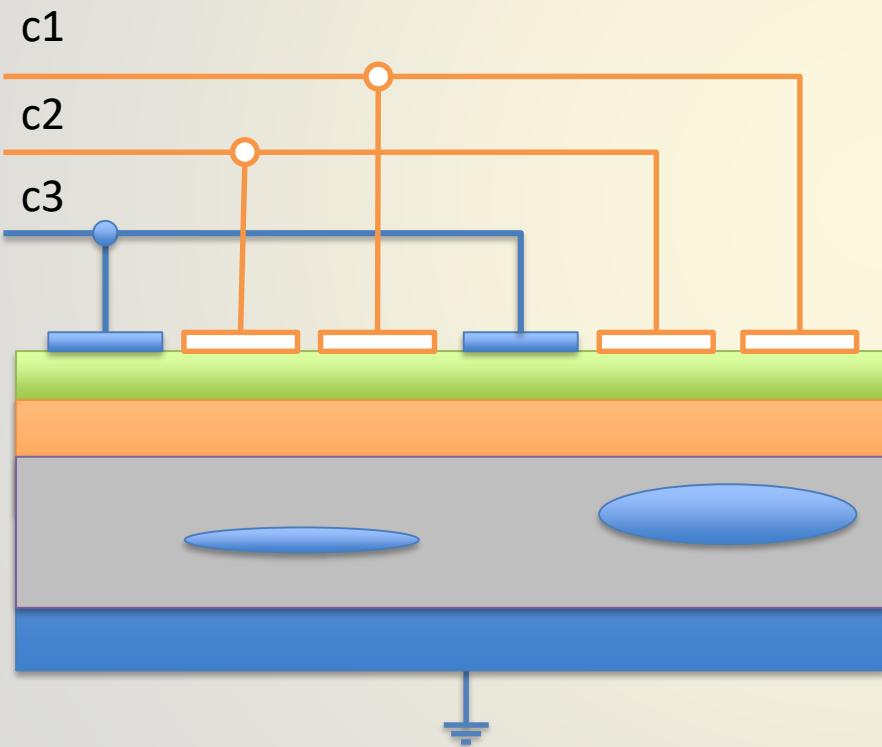
CCD Senzor



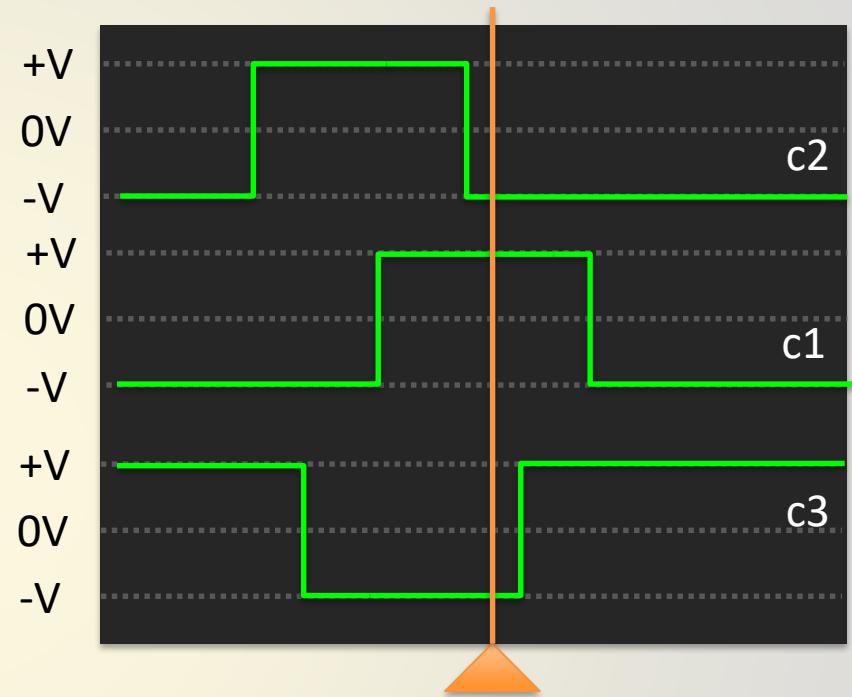
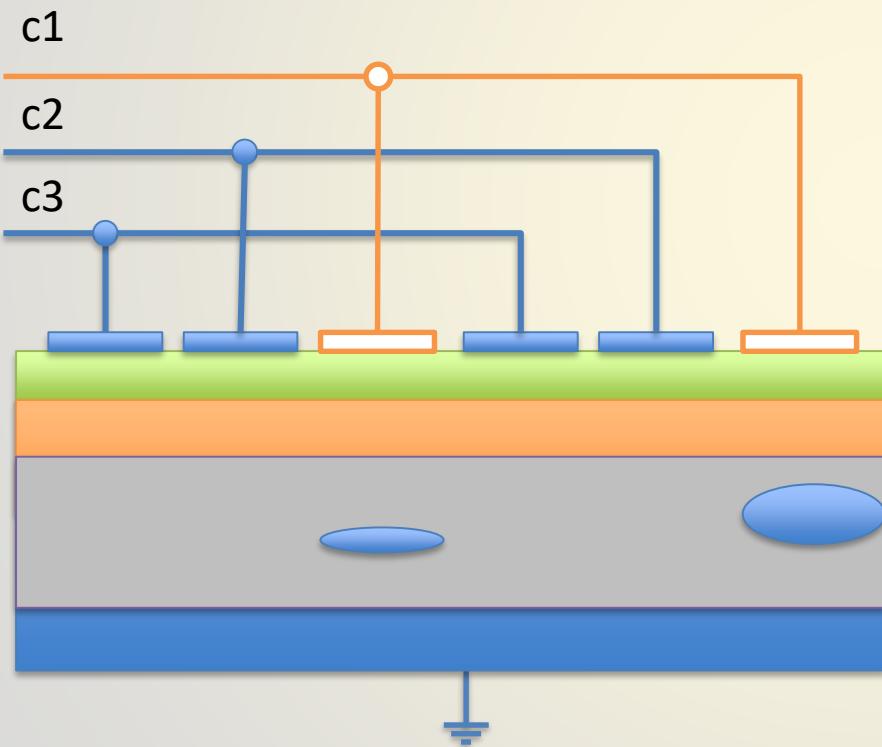
CCD Senzor



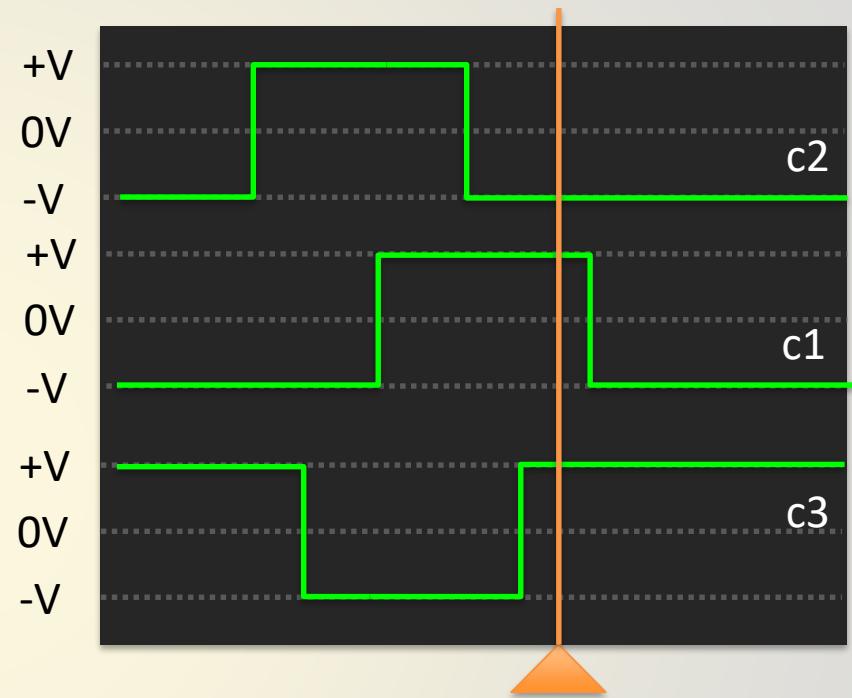
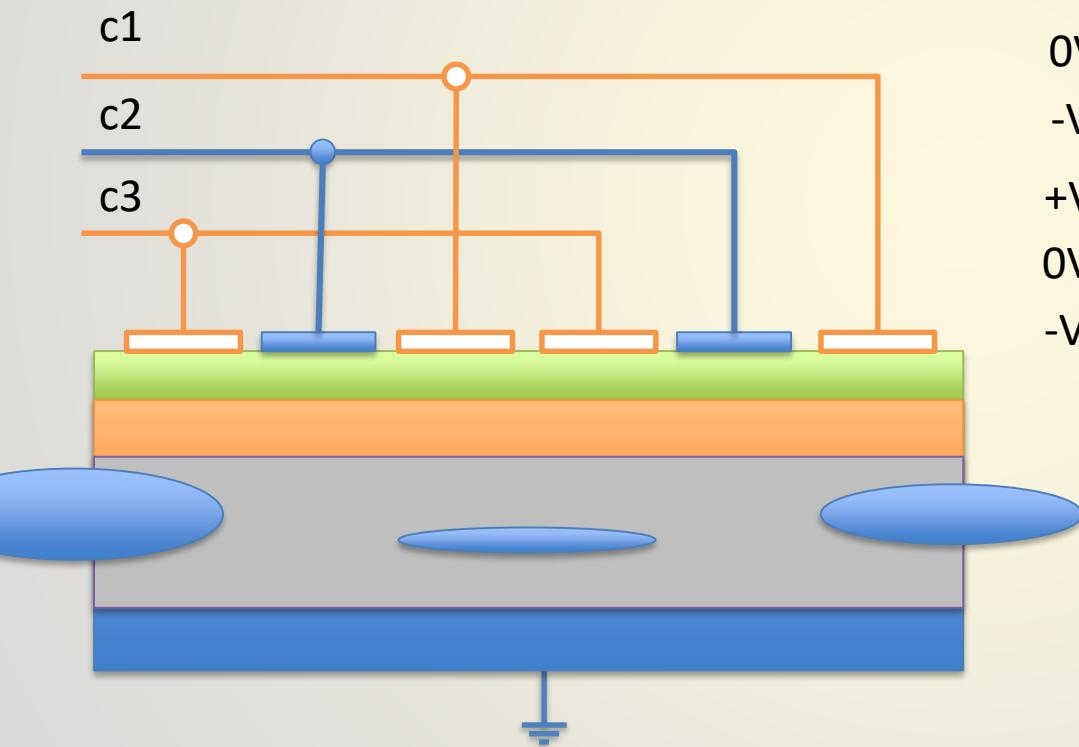
CCD Senzor



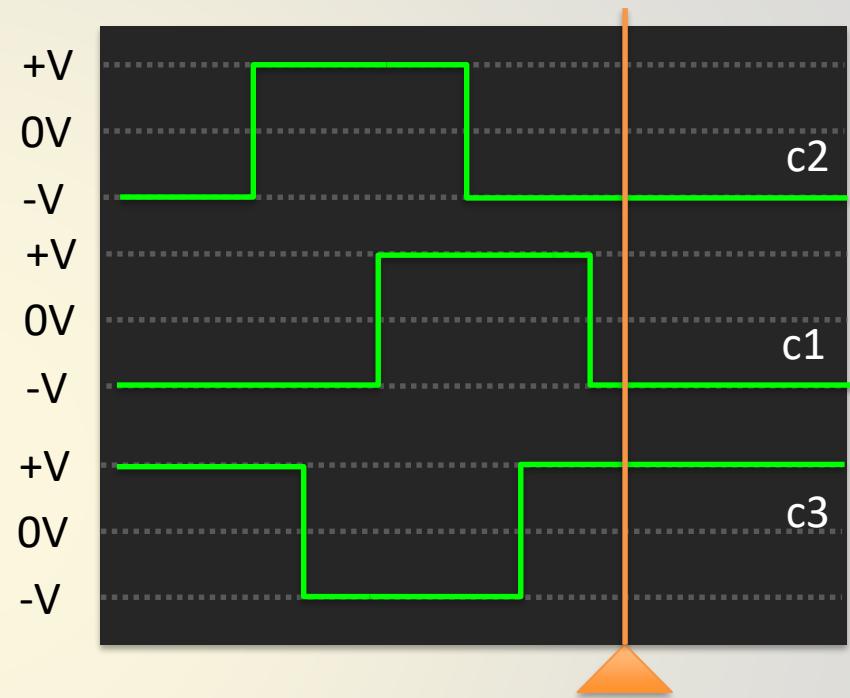
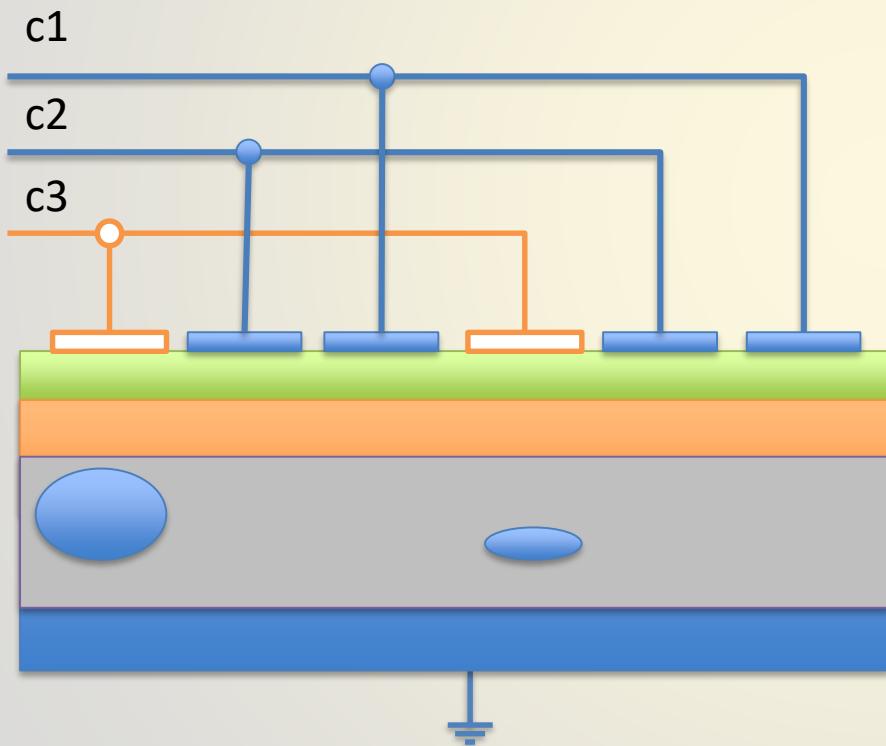
CCD Senzor



CCD Senzor

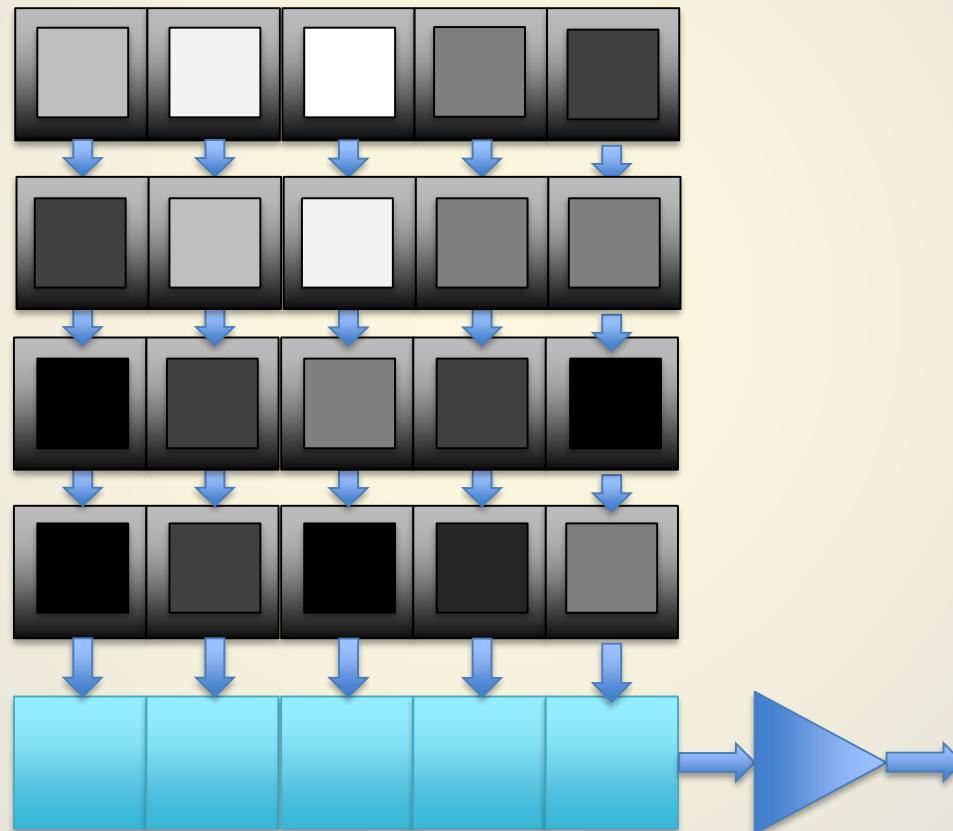


CCD Senzor



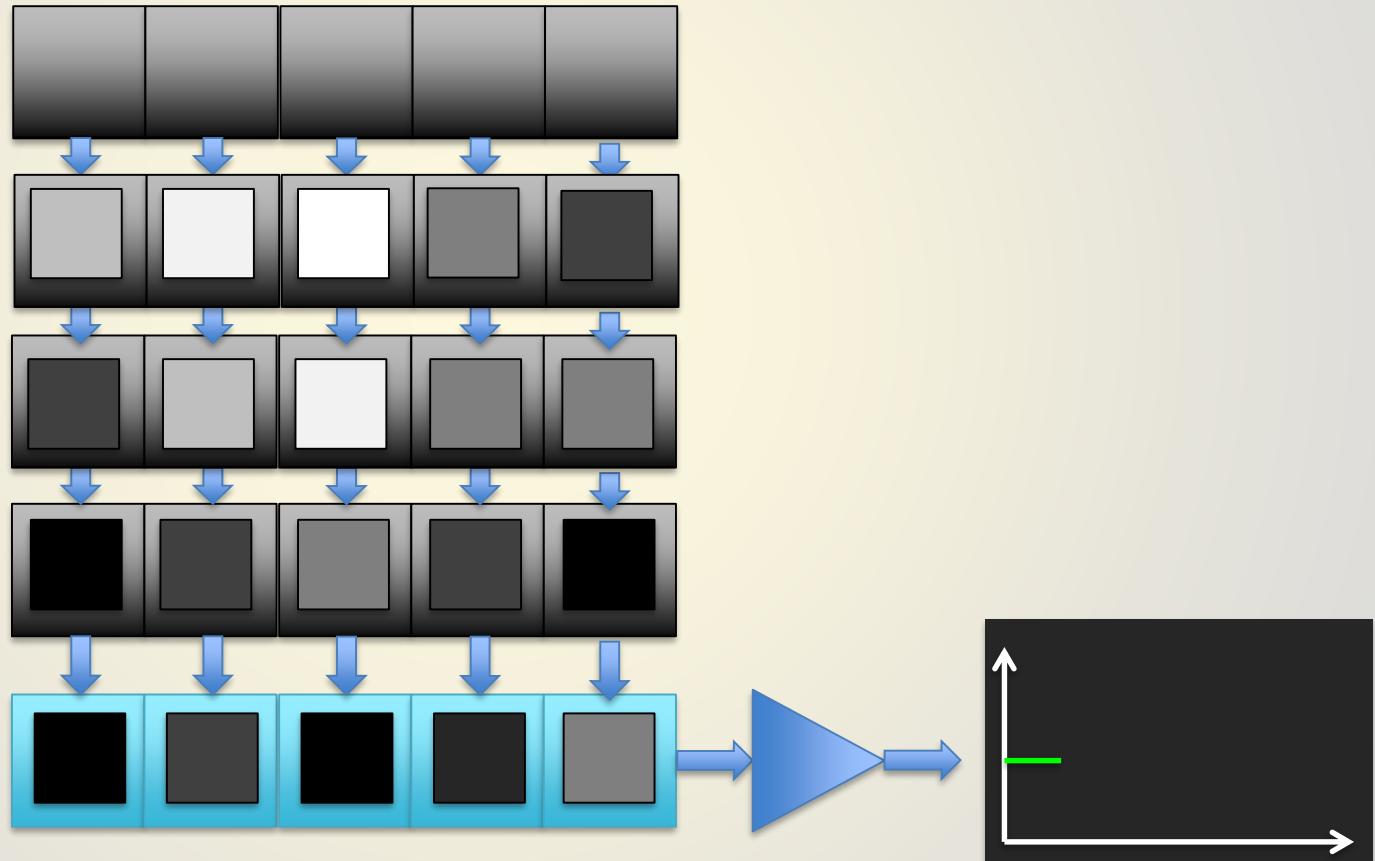
CCD Senzor

- Iščitavanje (readout)



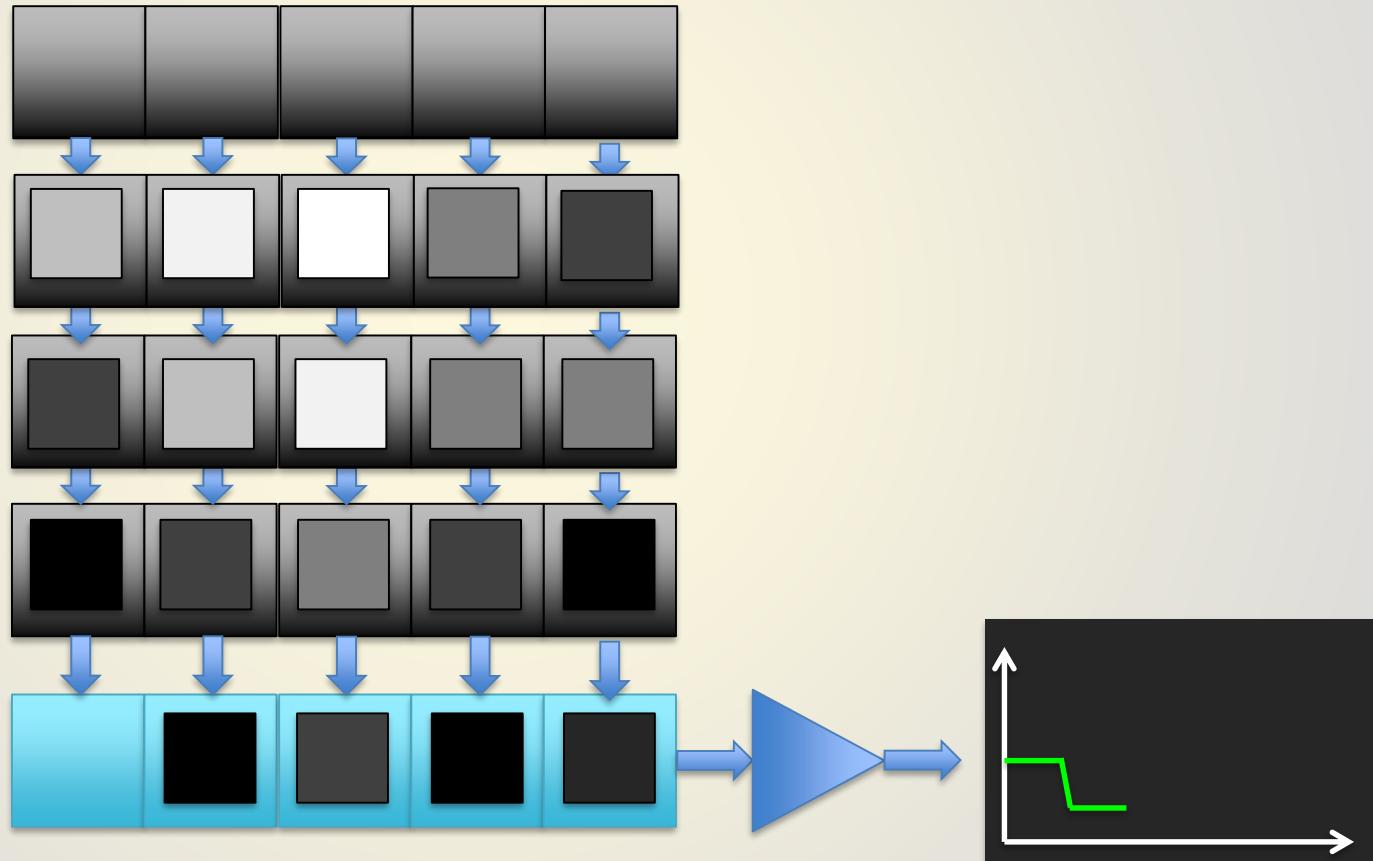
CCD Senzor

- Iščitavanje (readout)



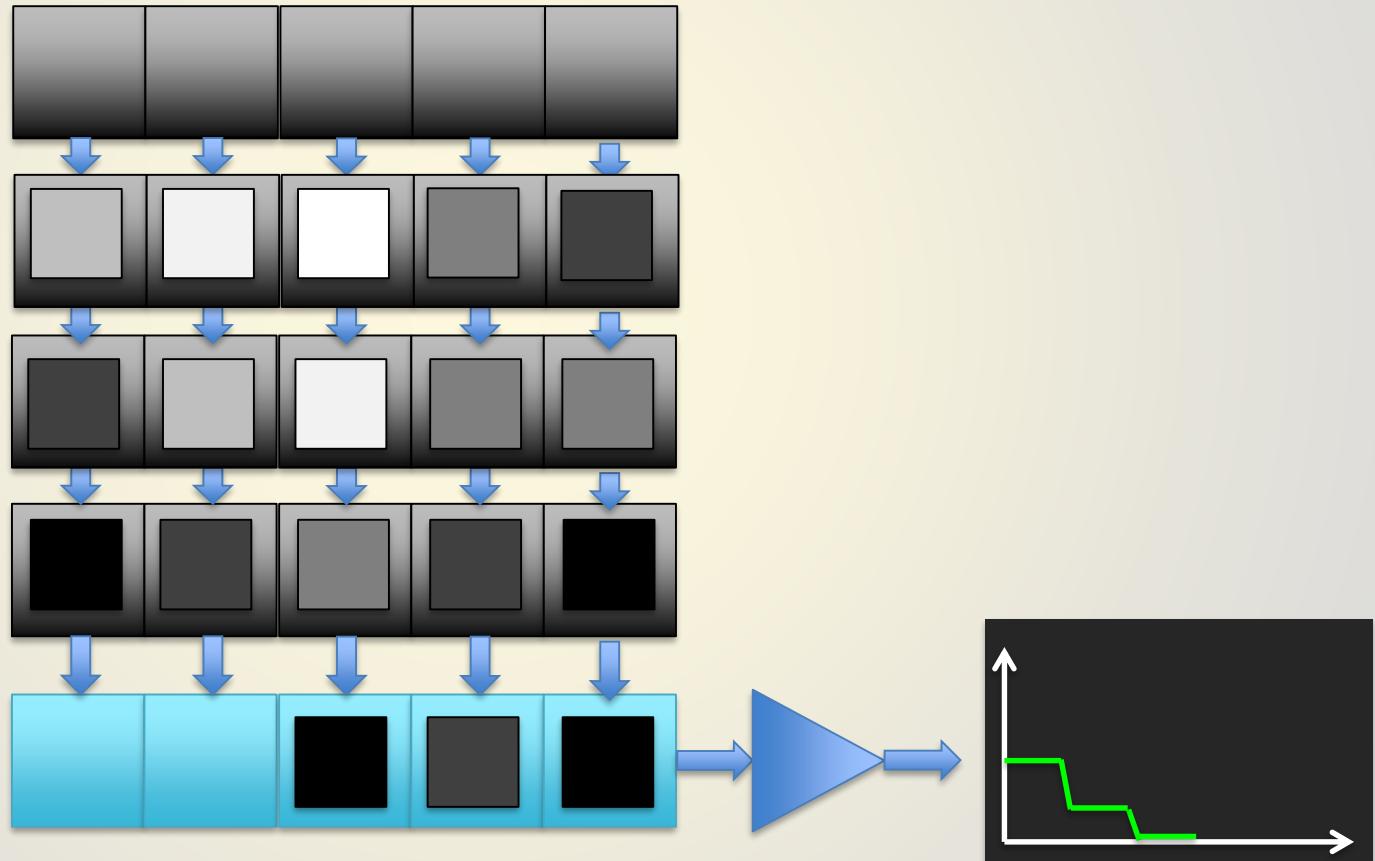
CCD Senzor

- Iščitavanje (readout)



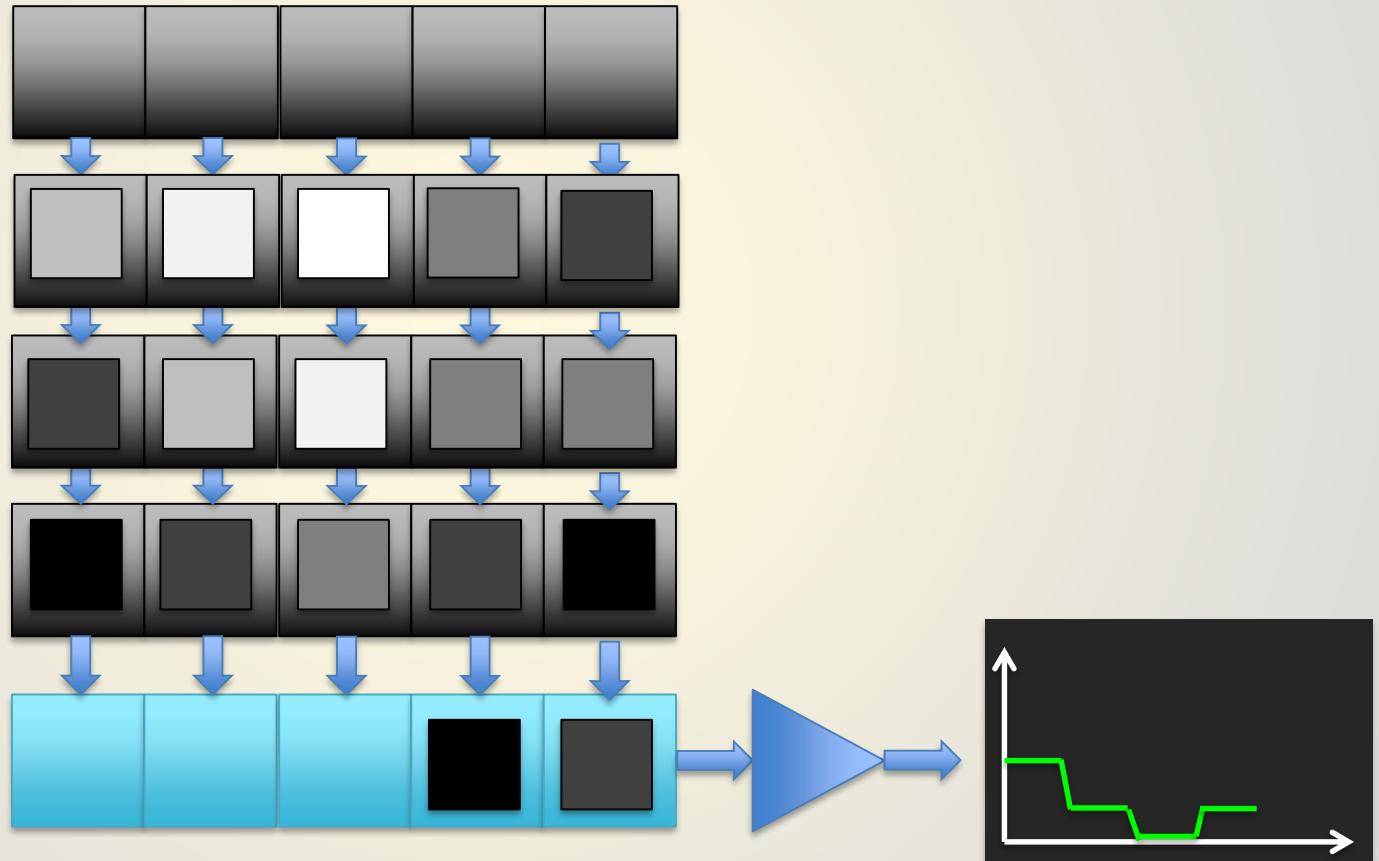
CCD Senzor

- Iščitavanje (readout)



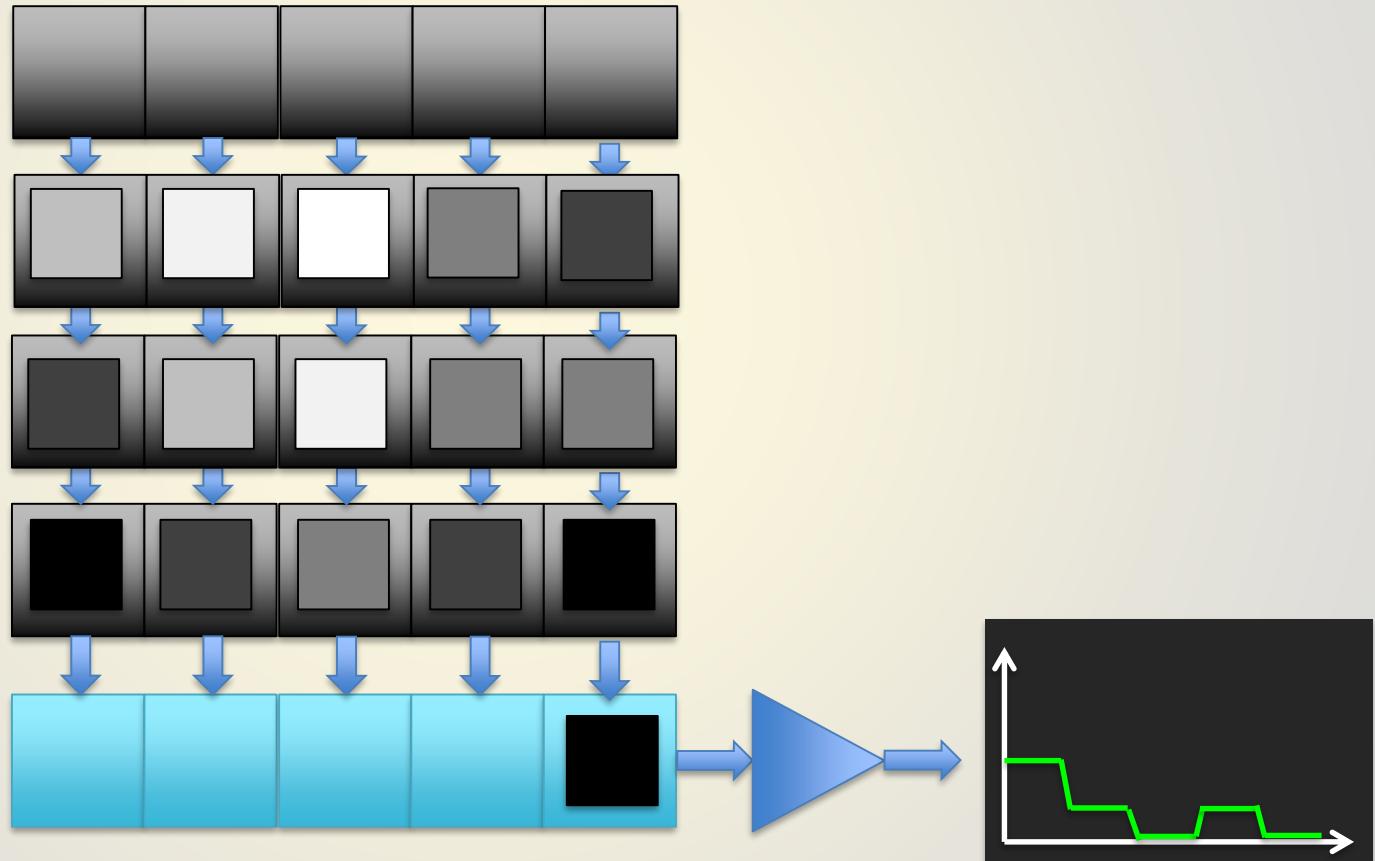
CCD Senzor

- Iščitavanje (readout)



CCD Senzor

- Iščitavanje (readout)



CCD Senzor

- CCD je riješio problem prijenosa naboja do izlaznog pojačala koje pretvara naboj u napon
 - Zahtjeva relativno kompleksnu elektroniku za korištenje (bipolarni naponi, više signala takta, sinkronizaciju...)
 - Zašto ne bismo mogli jednostavno spojiti žice i iščitati naboj piksel po piksel?
 - Parazitni kapacitet!
- Da bismo izbjegli rasipanje naboja potrebno je naboj pretvoriti u napon praktički u samom pikselu

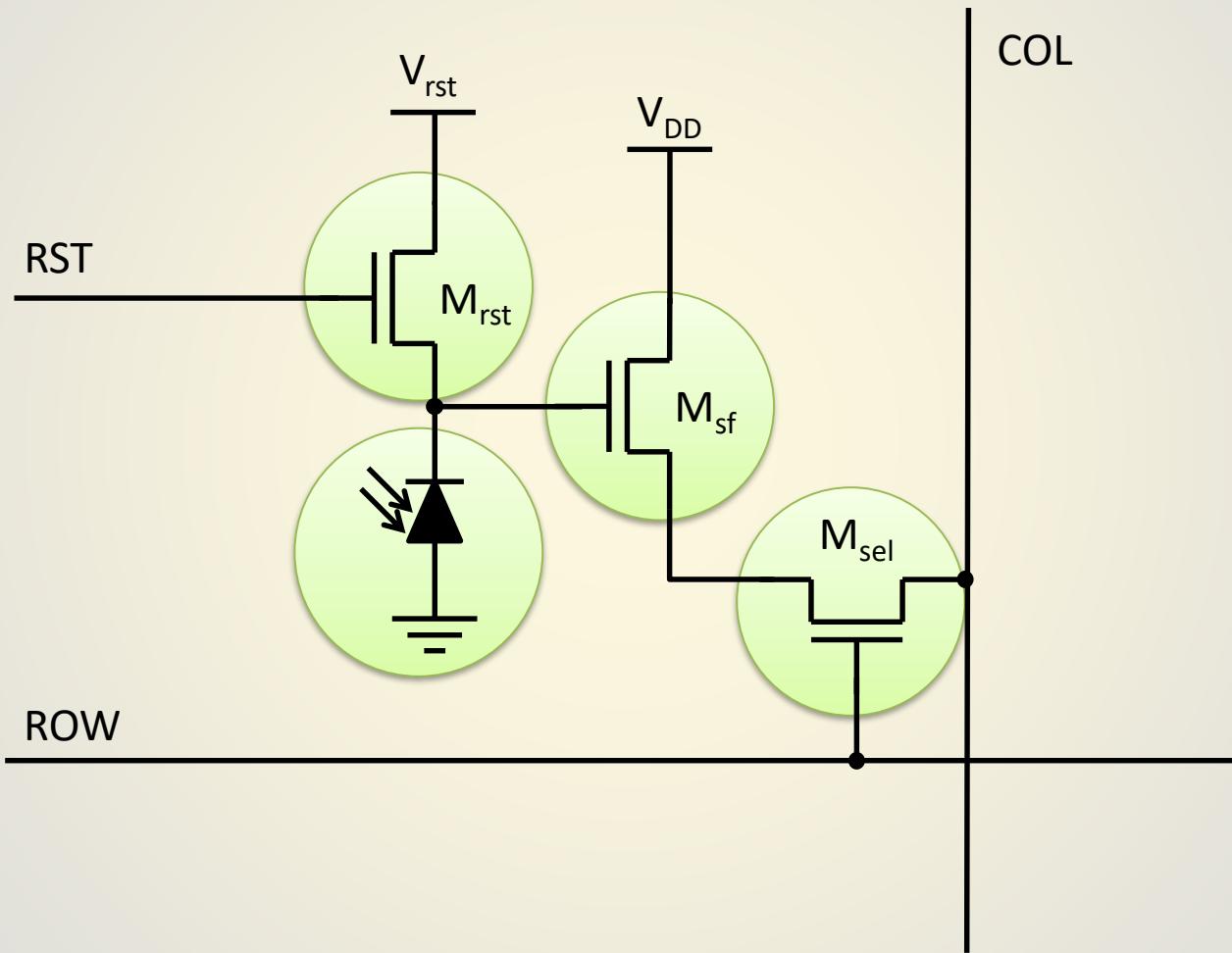
CMOS Senzor

- Prvi pokušaji u kasnim 60-im godinama 20. st.
(paralelno s razvojem CCD-a)
 - MOS Tehnologija - Peter J.W. Noble – izumio 3-tranzistorsku strukturu aktivnog piksela (3T APS)
 - Problem: nepouzdanost ranih MOS procesa proizvodnje
- 10 godina kasnije, CMOS tehnologija se etablirala kao glavni proces za proizvodnju logičkih sklopova
 - Senzor slike baziran na CMOS-u postao je atraktivna meta zbog potencijala iskorištenja proizvodnih procesa i mogućnosti integracije dodatnih sklopova na isti čip sa senzorom

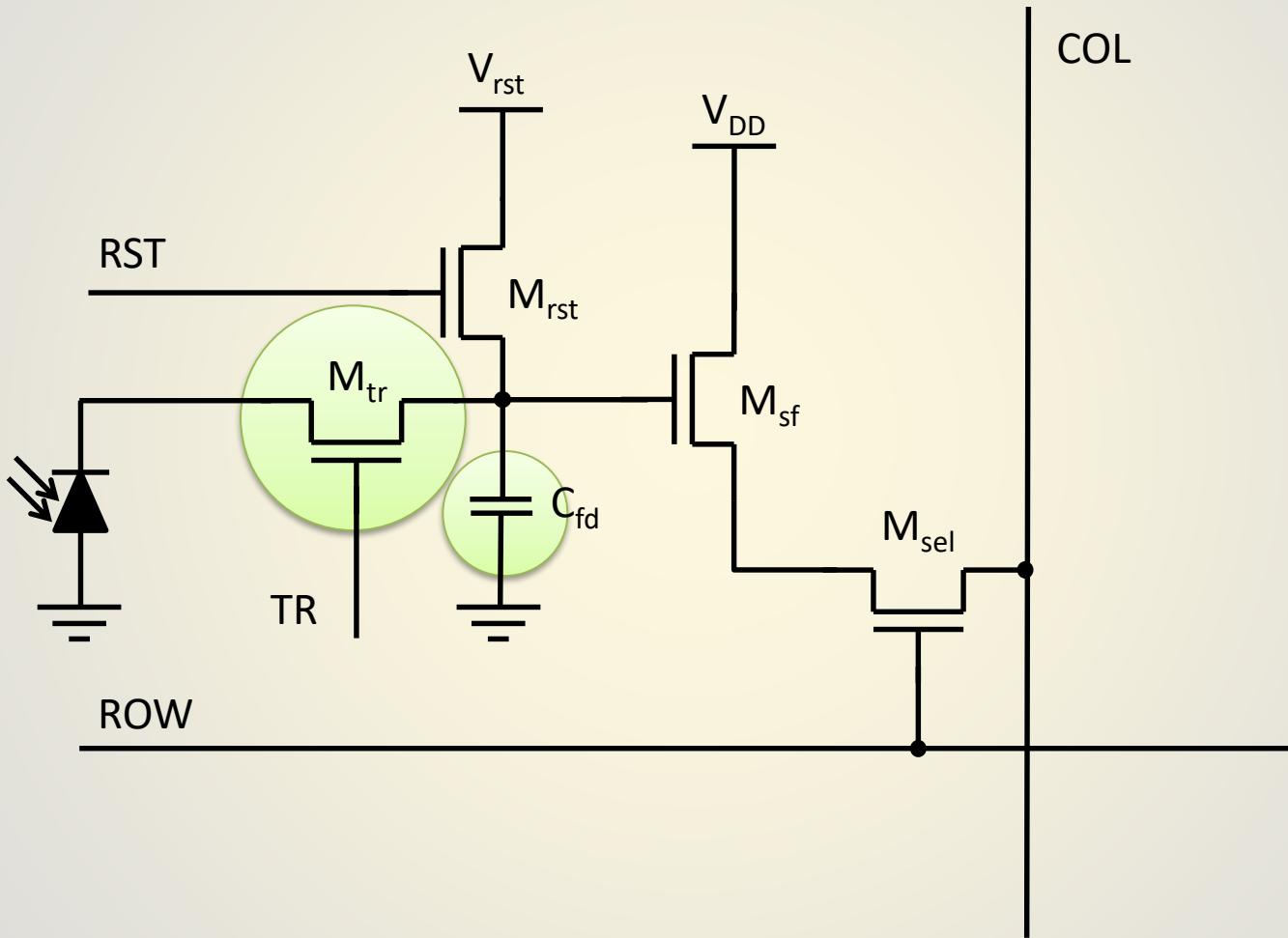
CMOS Senzor

- Nasa Jet Propulsion Laboratory
 - Eric Fossum et al., 1995.
- Kombinacija APS tehnologije i prijenosa naboja unutar piksela
 - Posve integrirani digitalni uređaj za dohvata slike sa sklopoljcem za iščitavanje i analogno digitalnu konverziju na jednom CMOS čipu

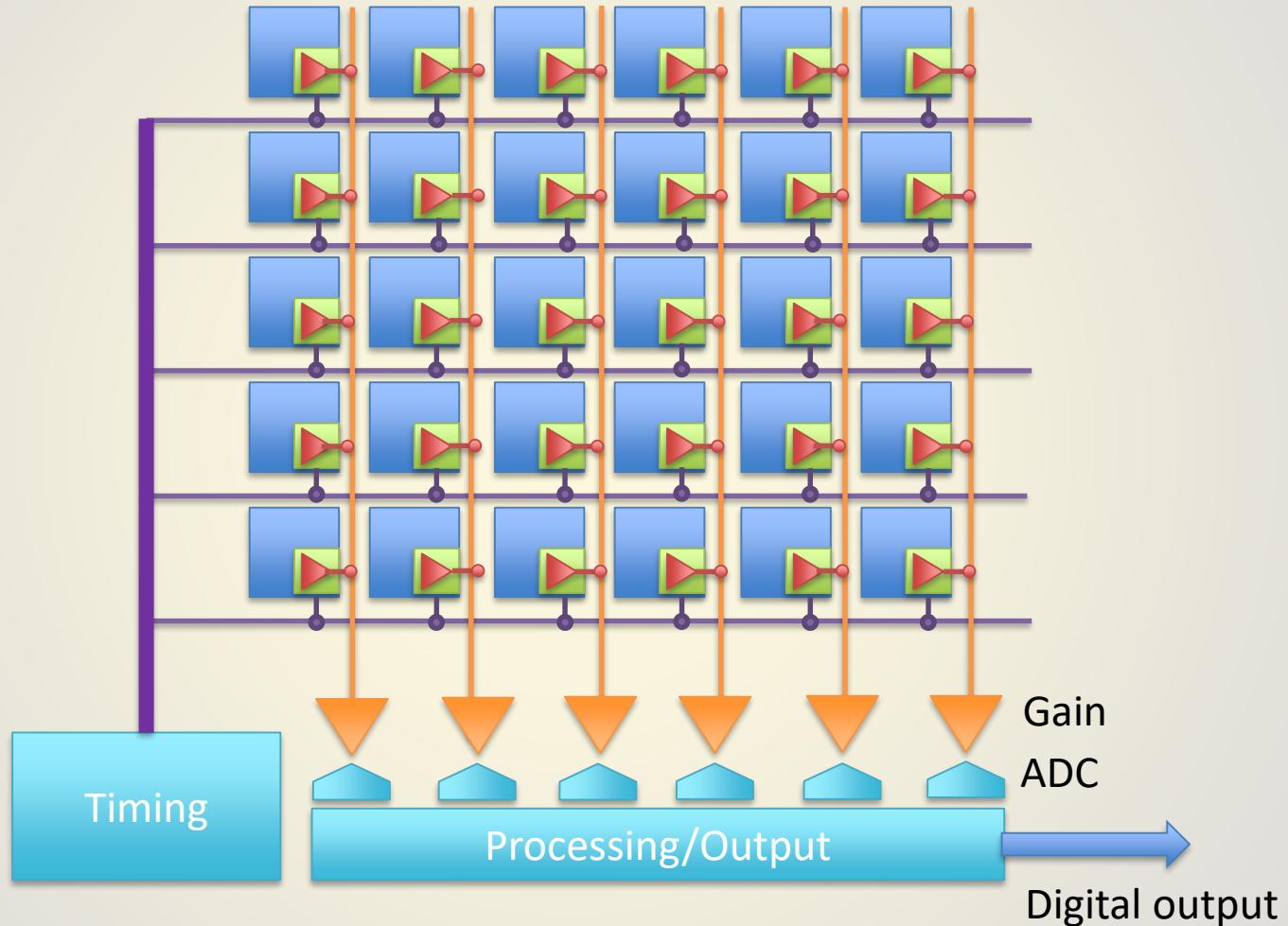
3-T CMOS APS



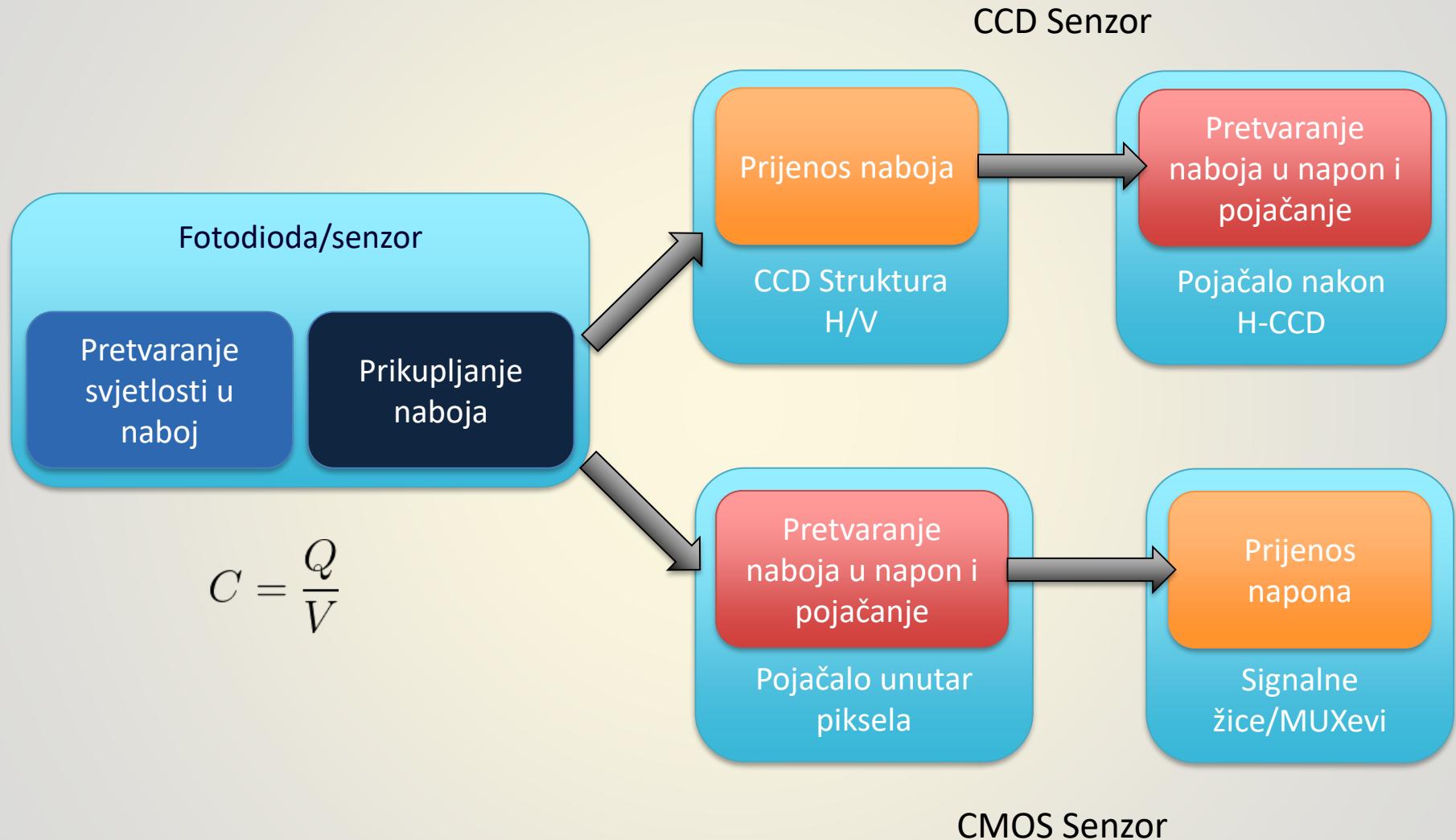
4-T CMOS APS



CMOS Senzor



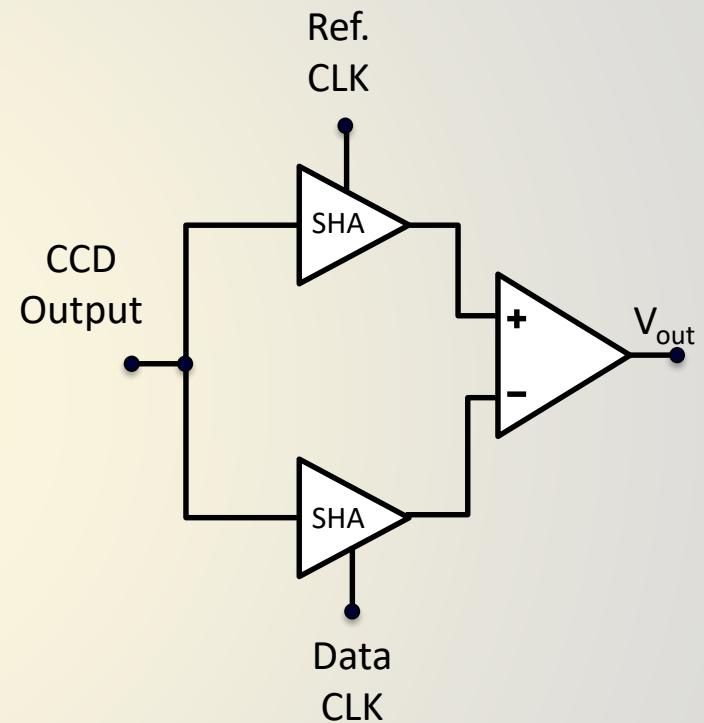
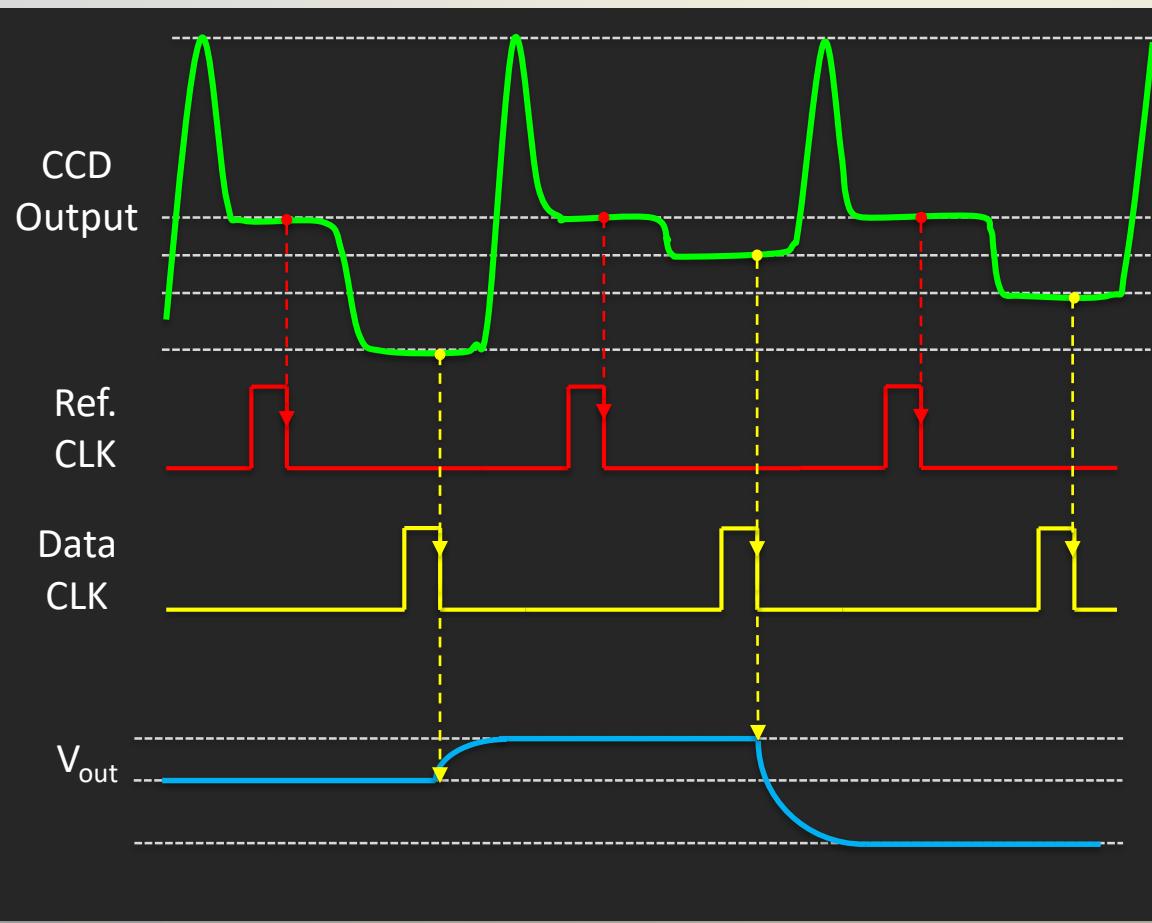
CCD vs. CMOS



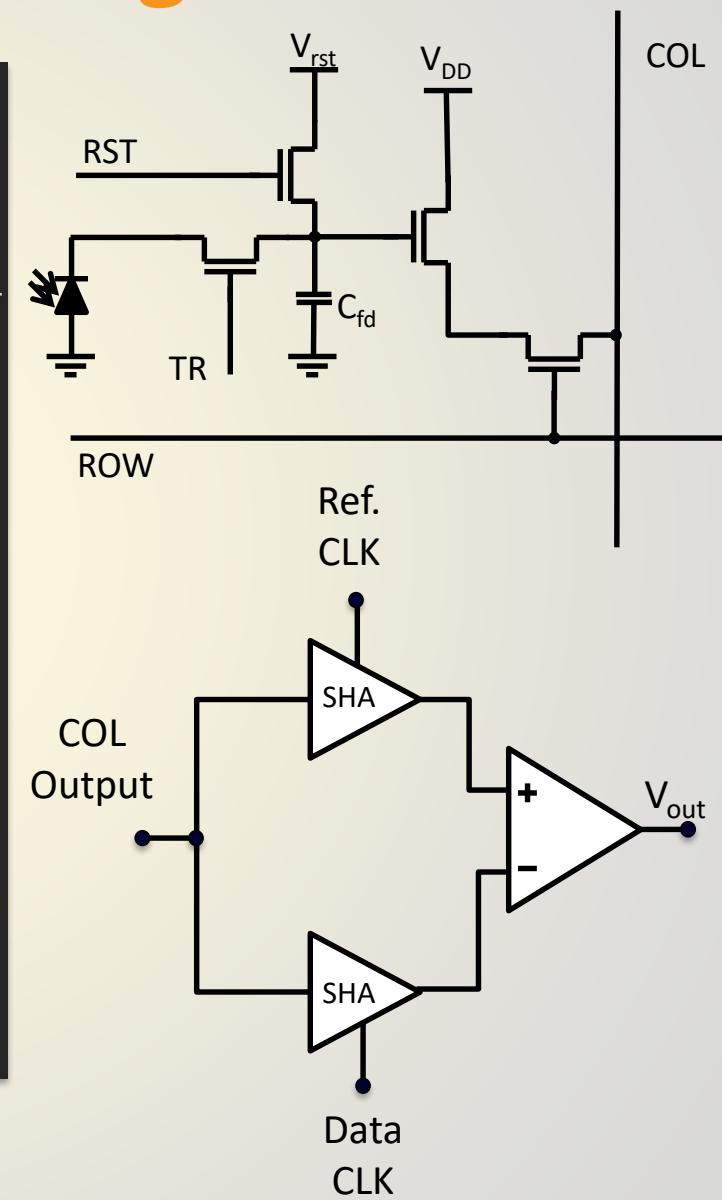
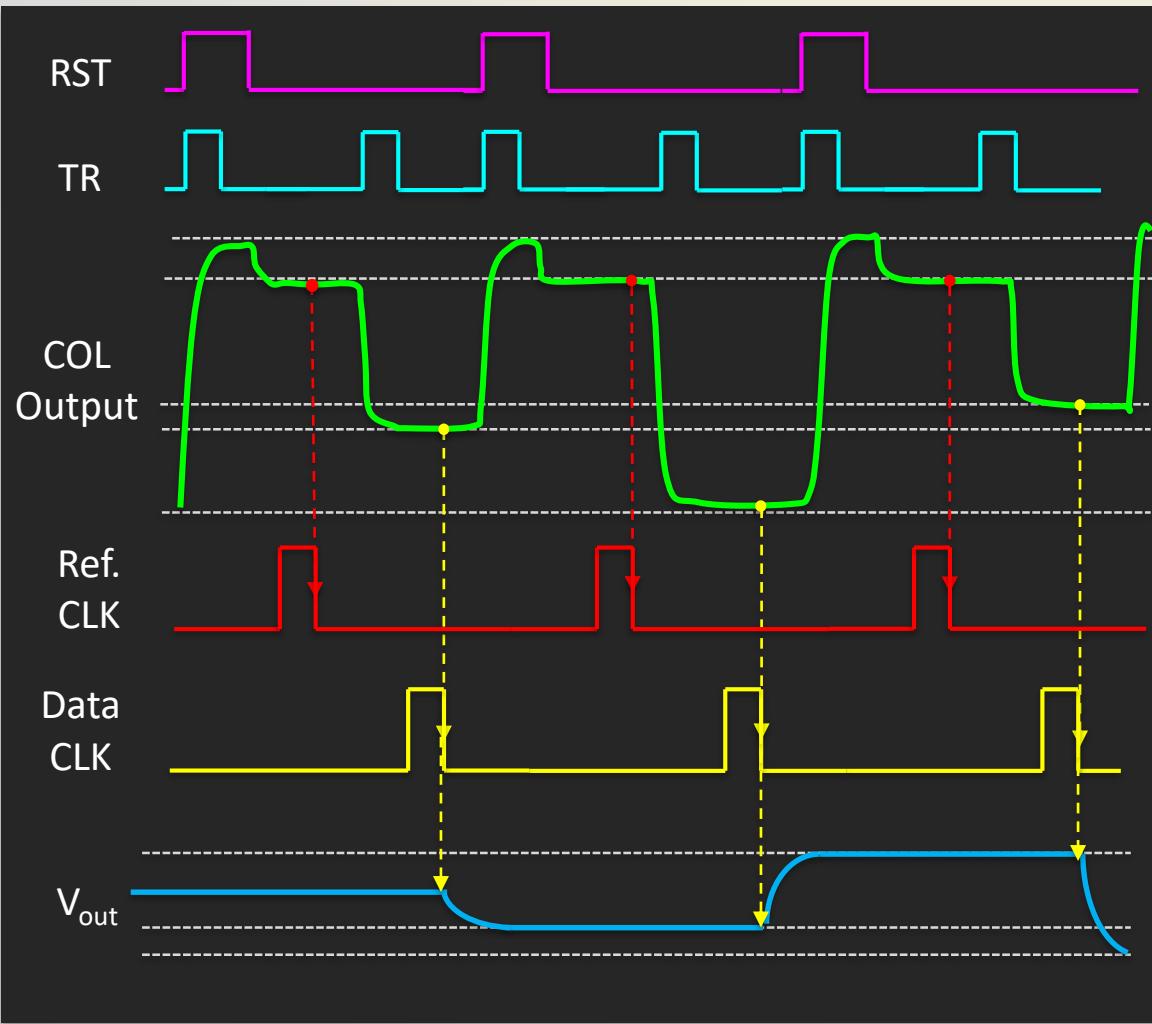
Što nakon što smo dobili napon?

- Izdvajanje korisnog signala od referentnog nivoa napona
 - Želimo prebrojati samo one elektrone koji su nastali izlaganjem svjetlosti
 - Želimo potisnuti šum koji nastaje fluktuacijom signala nakon reseta fotodiode
- Korelirano dvostruko uzorkovanje
 - (correlated double sampling)

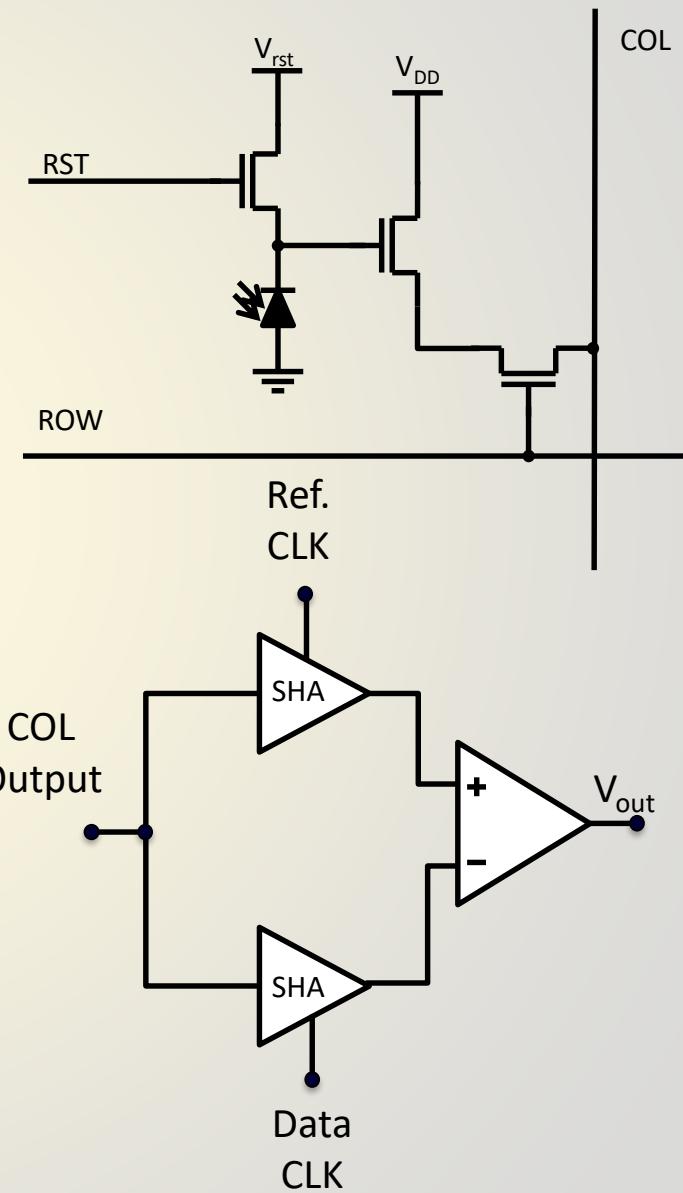
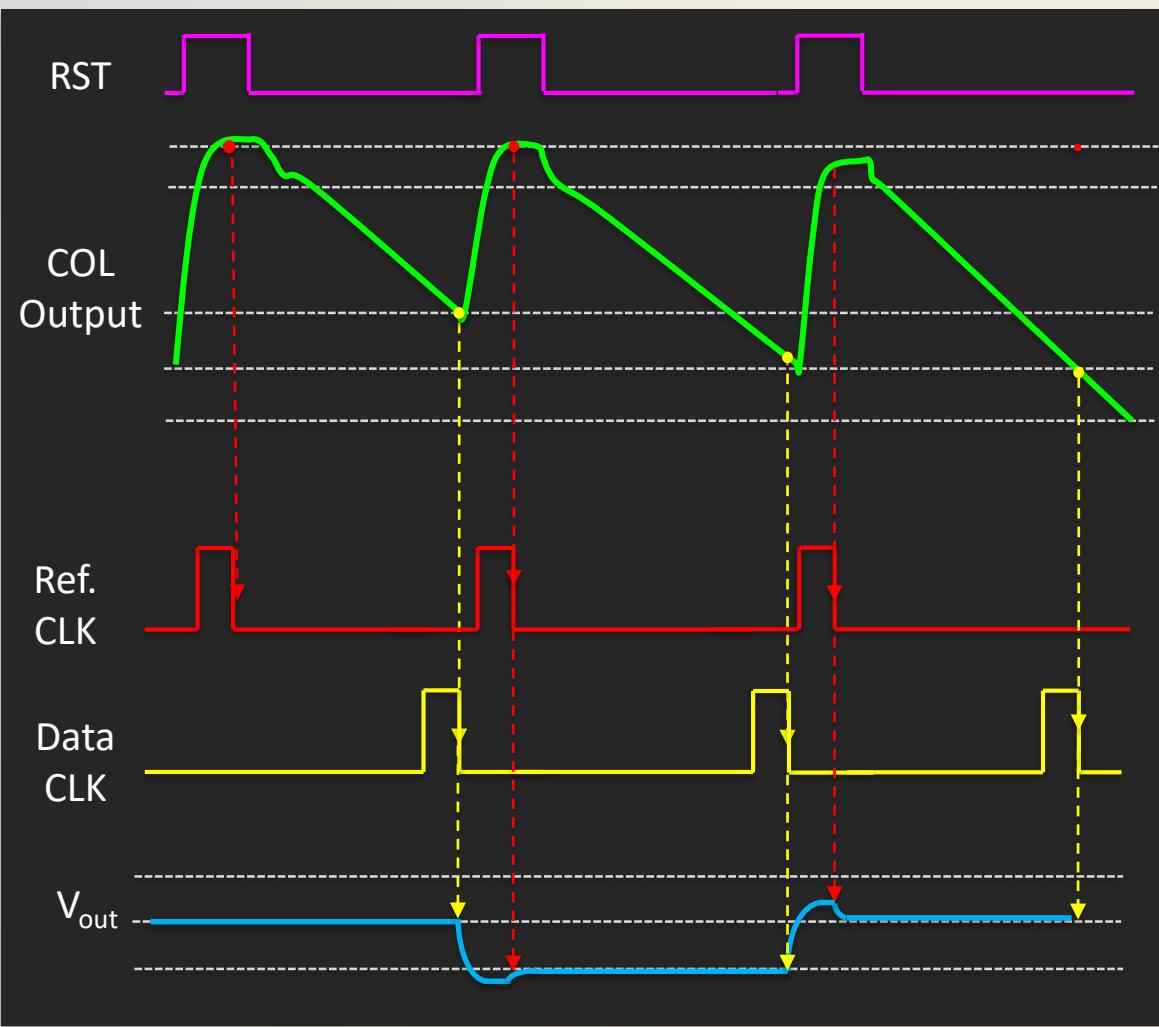
Correlated Double Sampling -CCD



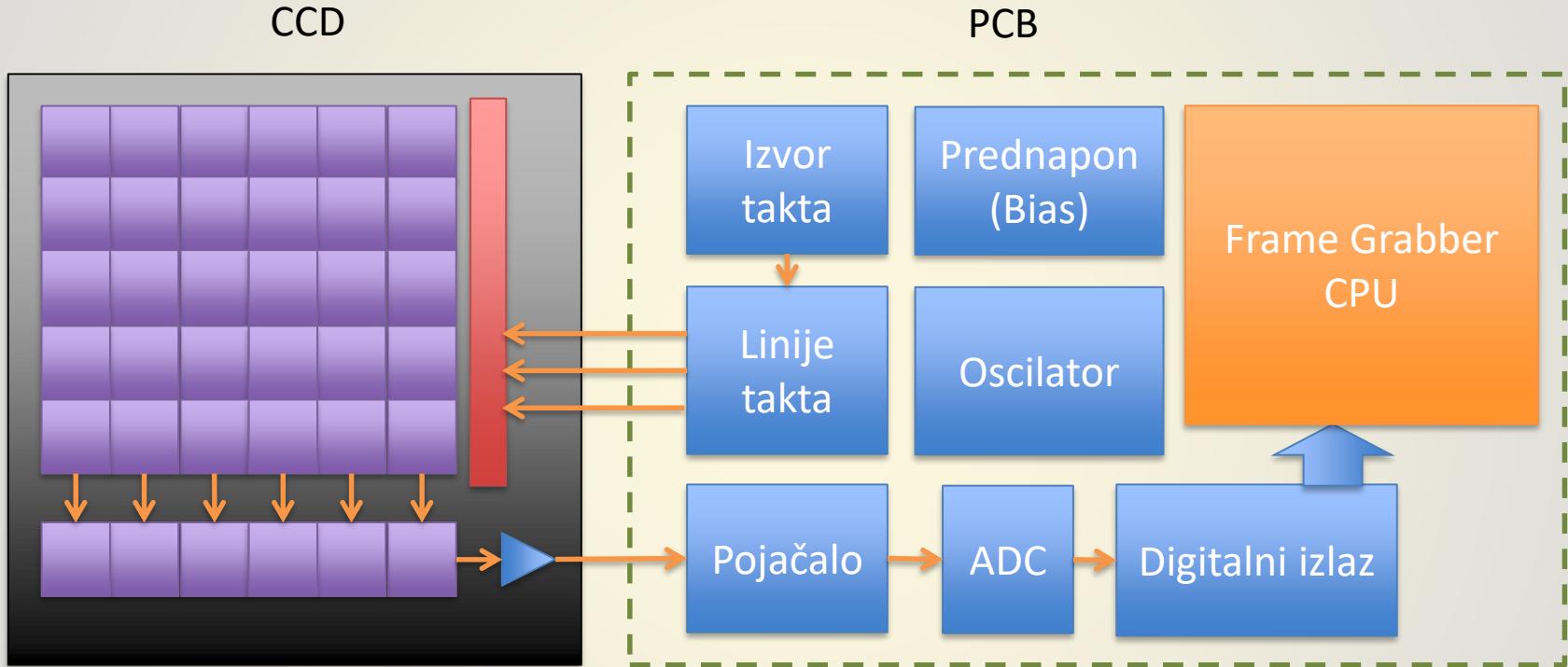
Correlated Double Sampling -4T CMOS



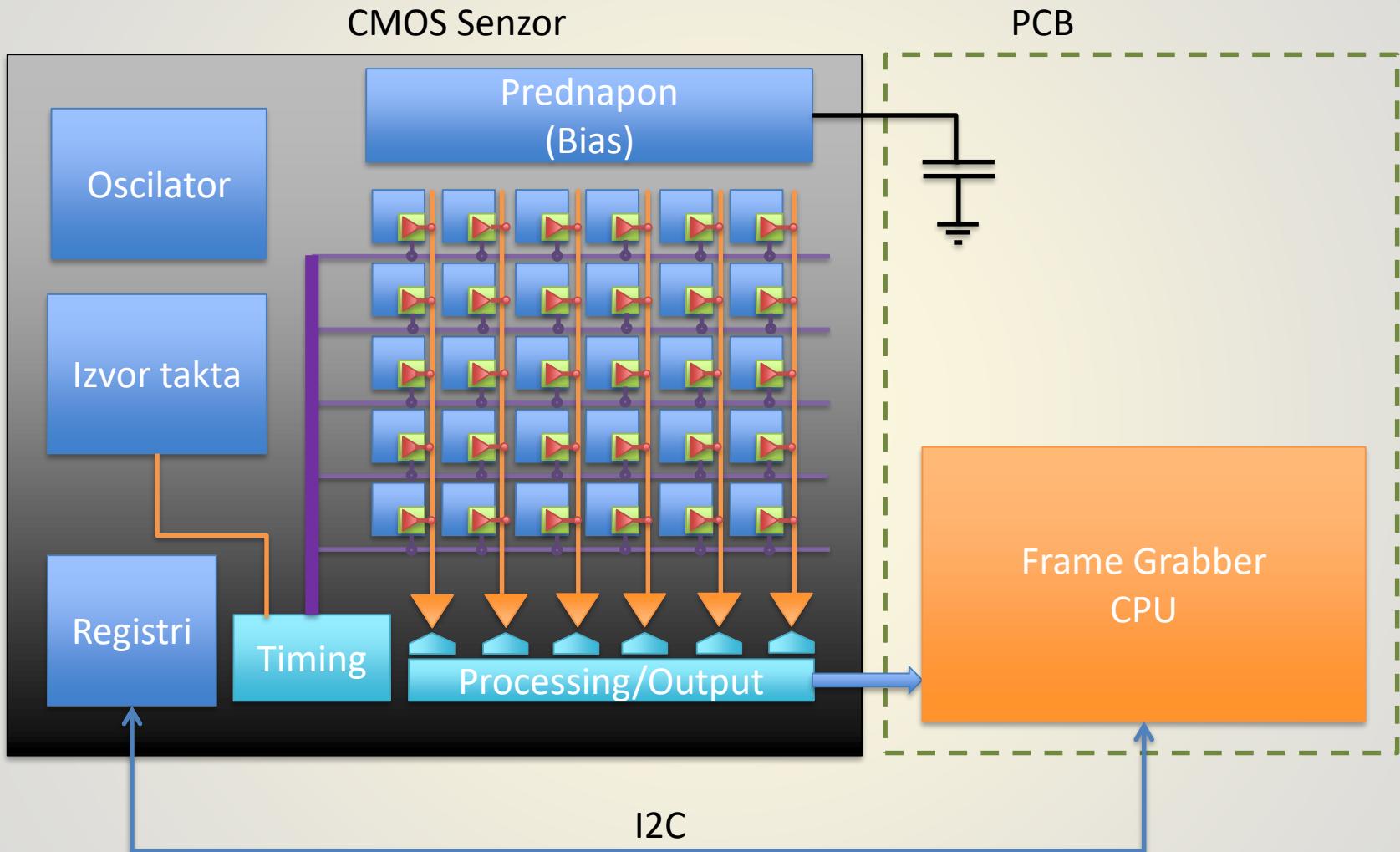
Delta Double Sampling - 3T CMOS



Sučelje senzora - CCD



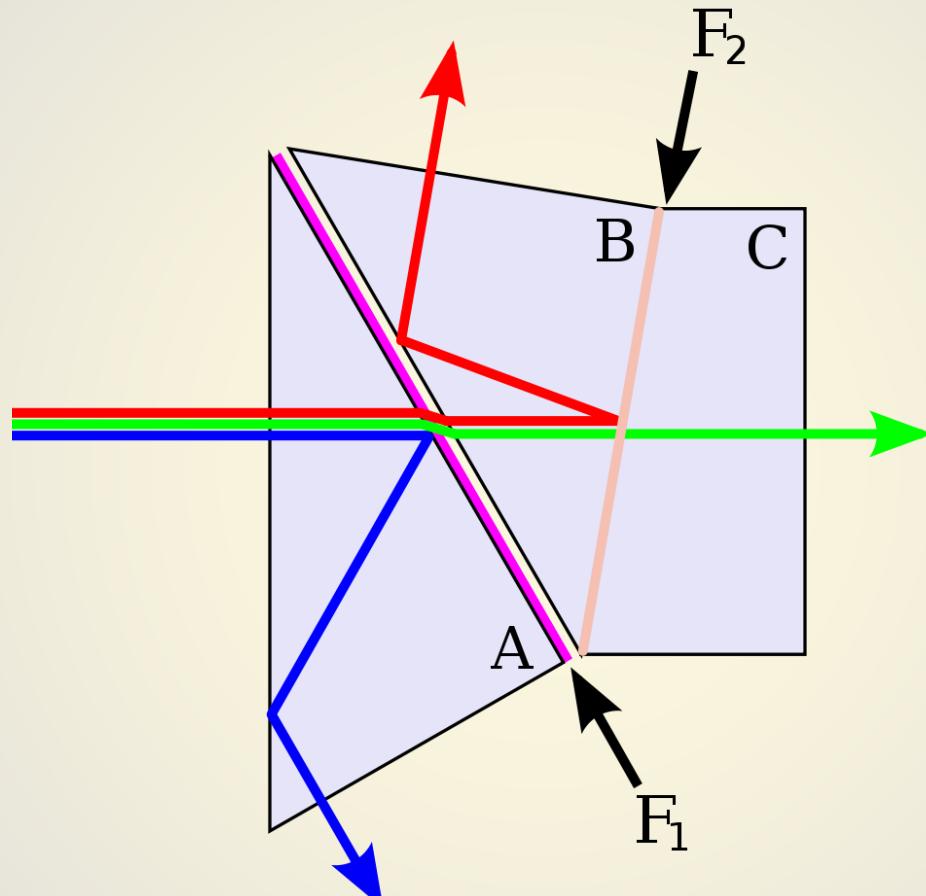
Sučelje senzora - CMOS



Boja

- U senzorima slike se boja dobija rastavljanjem spektra na 3 komponente – **crvenu**, **zelenu**, i **plavu**
- Problem kod senzora
 - Piksel načelno nije kromatski osjetljiv, a uz uporabu filtra može biti samo na jednu boju

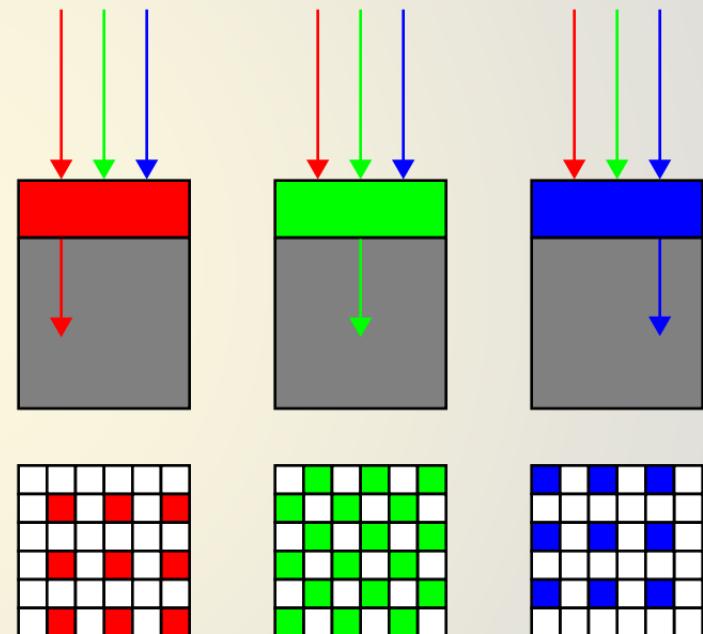
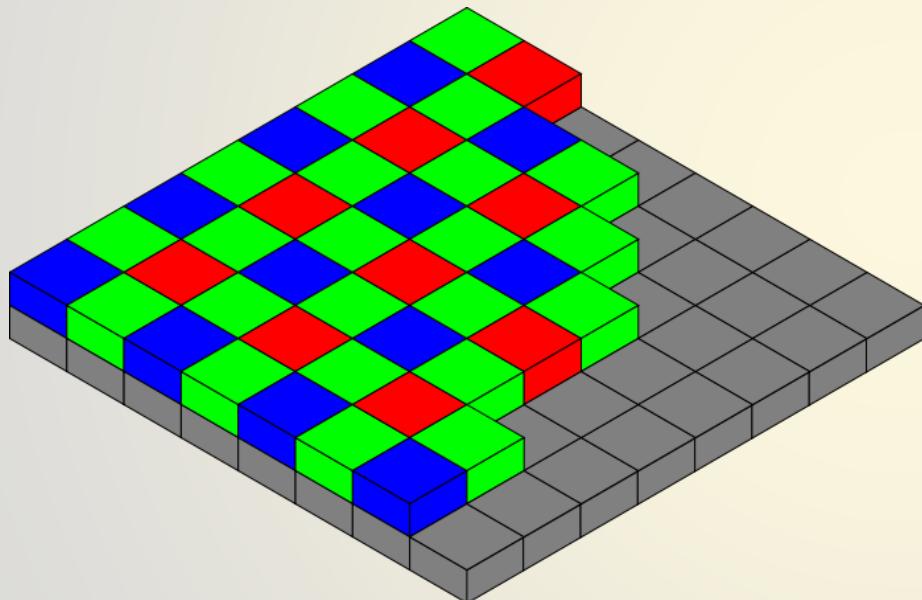
Rješenje sa tri senzora (3CCD)



By en:User:Cburnett - Own work with Inkscape based on en:Image:Dichroic-prism.png, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1588832>

Bayer Matrica

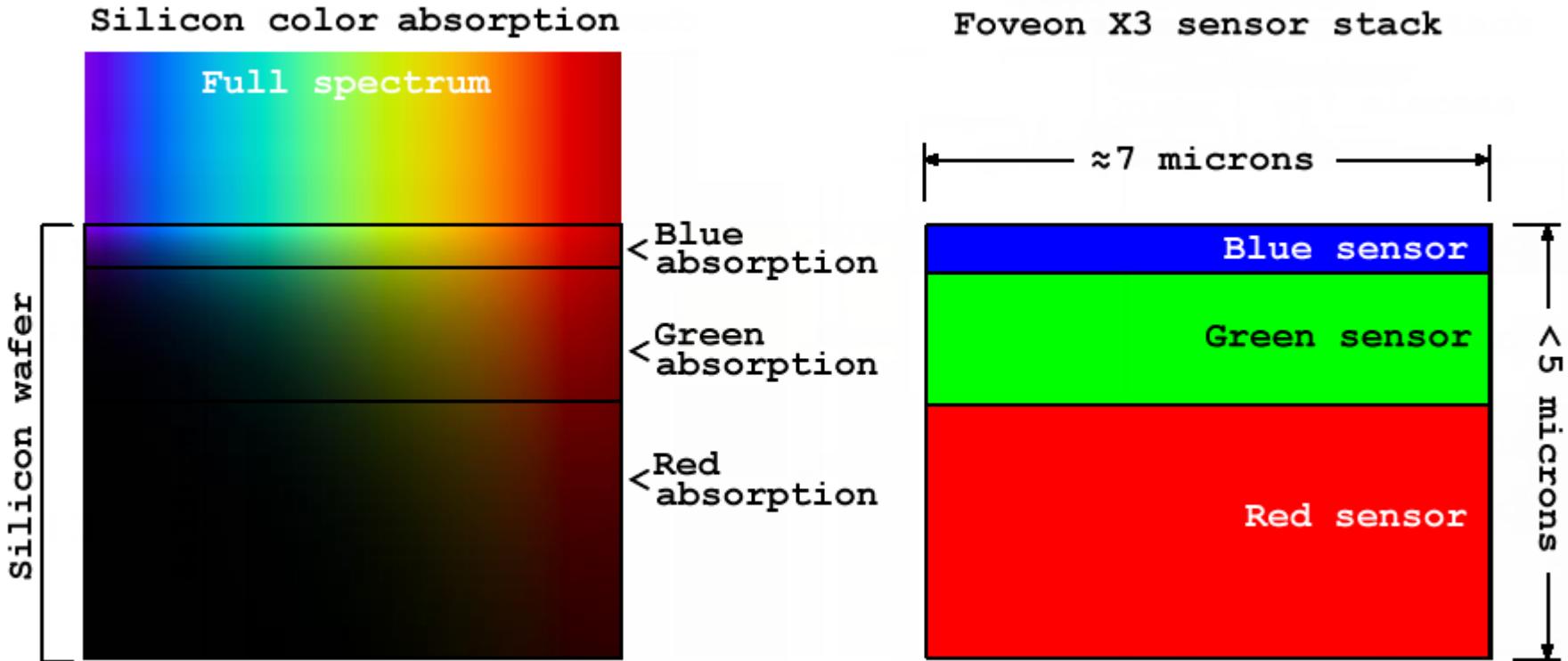
- Bryce Bayer, Eastman Kodak, 1974.



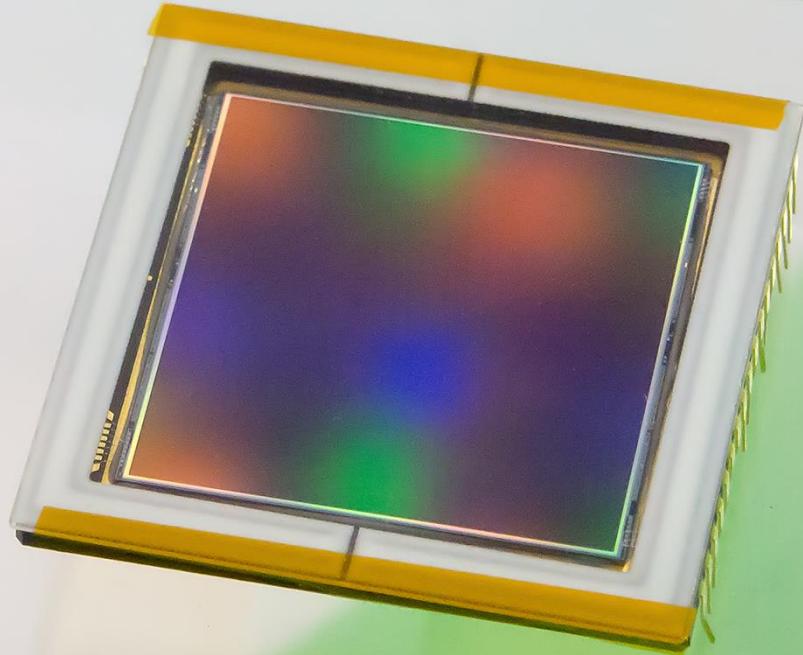
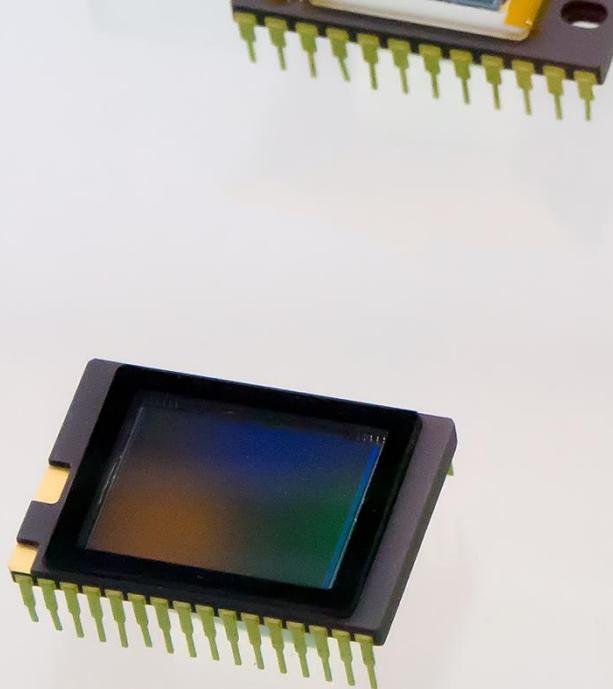
By en:User:Cburnett - Own work
This vector image was created with Inkscape., CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1496858>

By en:User:Cburnett - Own work
This vector image was created with Inkscape., CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1496872>

Foveon senzor



By Anoneditor at the English language Wikipedia, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=18376345>



Senzori slike u praksi

CCD / CMOS

CCD vs CMOS

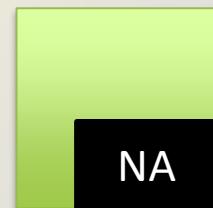
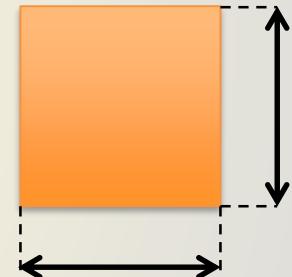
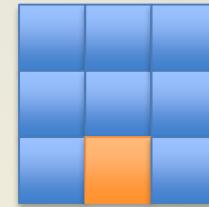
Karakteristika	CCD	CMOS
Signal iz piksela	Paket elektrona	Napon
Signal sa čipa	Analogni napon	Digitalne vrijednosti
Šum pri čitanju	Nizak	Niži pri ekvivalentnom frame rateu
Faktor ispune	Visok	Srednji-nizak
Responzivnost	Srednja-visoka	Srednja-visoka
Osjetljivost	Visoka	Viša
Dinamički raspon	Visok	Srednje visok
Uniformnost	Visoka	Nešto niža
Potrošnja	Visoka-Srednja	Niska-umjerena
Zatvaranje	Brzo-efikasno	Brzo-efikasno

CCD vs CMOS

Karakteristika	CCD	CMOS
Brzina	Srednja-Visoka	Izrazito visoka
Zone interesa	Ograničene	Višestruke
Sprečavanje preljeva	Od visokog do nepostojećeg	Visoko, uvijek
Responzivnost	Srednja-visoka	Srednja-visoka
Artefakti/smetnje	Razmazivanje, Neefikasnost prijenosa naboja	Šum stalnog uzorka Kretanje (ERS) Parazitno svjetlo
Prednapon, Takt	Višestruki, Visoki napon	Jedan, Niski napon
Kompleksnost sustava	Visoka	Niska
Kompleksnost senzora	Niska	Visoka
Cijena razvoja	Razmjerno niska	Ovisno o senzoru

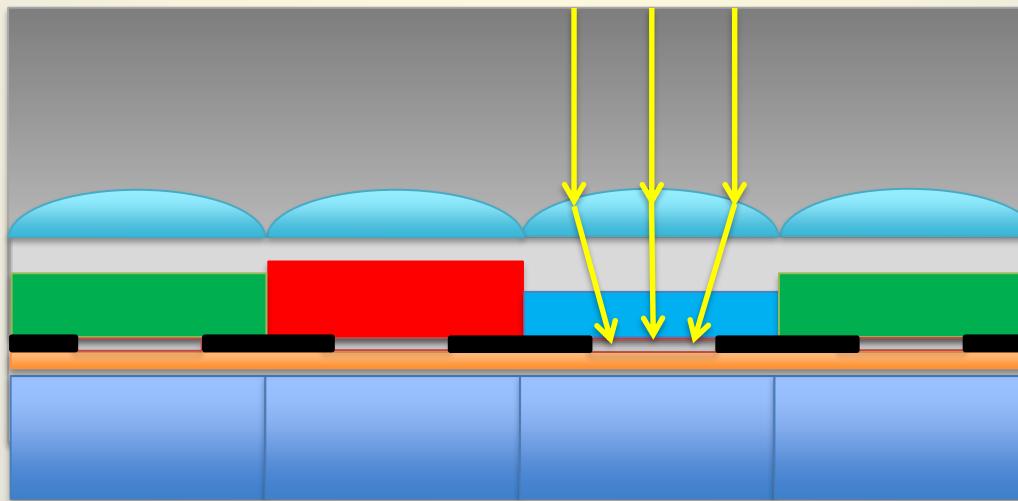
Konstrukcija i parametri senzora

- CCD i CMOS Senzori se grade od sensela/piksela
- Osnovna karakteristika je dimenzija piksela (*Pixel Size/Pixel Pitch*)
 - obično izražena u μm
- Postotak površine pojedinog piksela osjetljiv na svjetlo naziva se *faktorom ispune* (eng. *Fill factor*)
 - Idealno 100%, u praksi varira
 - Utjecaj arhitekture/ožičenja



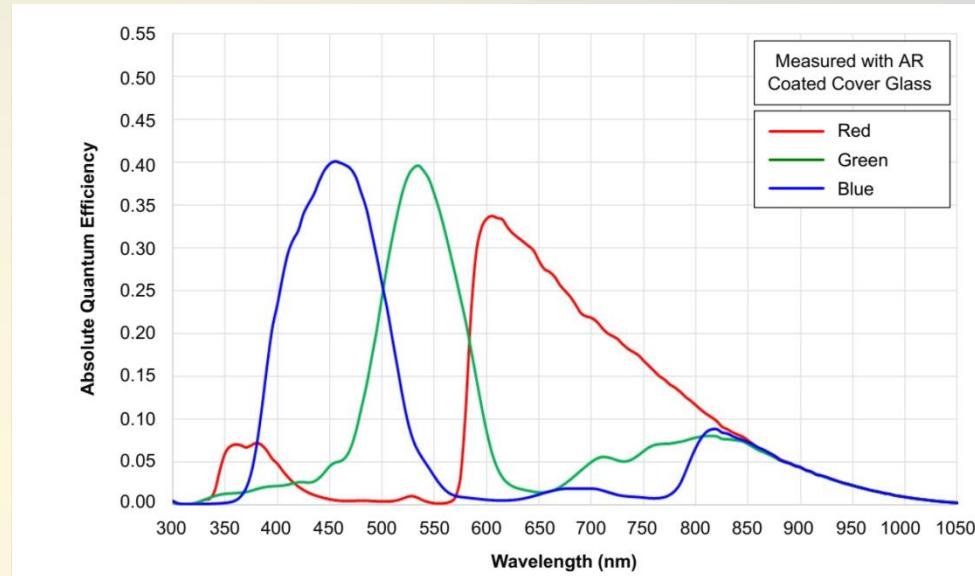
Faktor ispune

- Nizak faktor ispune nadomješta se mikrolećama (*microlenses*)
 - Mikroleća koja pokriva piksel fokusira svjetlo na aktivnu površinu i time podiže faktor ispune



Kvantna efikasnost

- CCD i CMOS senzori koriste fotelektrični efekt unutar fotodiode kako bi svjetlo (fotone) pretvorili u elektrone (naboj) a posljedično i napon



- Kvantna efikasnost (*Quantum efficiency*) je mjerilo kvalitete pretvaranja fotona u elektrone
 - Npr. $Qe = 60\%$ - na 100 uhvaćenih fotona biti će generirano 60 elektrona
- Ovisi o valnoj duljini

Šum

■ Vremenski (temporal) šum

- Fotonski šum
(*Photon shot noise*)
 - Tok fotona koji udara u senzor nije jednolik već se ravna po poissonovoj distribuciji
 - Susjedni pikseli ne dobijaju isti broj fotona
 - Vidljiv pri niskim razinama osvjetljenja uz veliko pojačanje



Šum

■ Vremenski (temporal) šum

- Mračna struja
(Dark current)
 - Termalno generirani elektroni koji se nakupljaju tokom perioda integracije ovisno o temperaturi
- Hlađenje senzora!



Von H. Raab (User:Vesta), Johannes-Kepler-Observatory, Linz, Austria (<http://www.sternwarte.at>) - Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=584046>

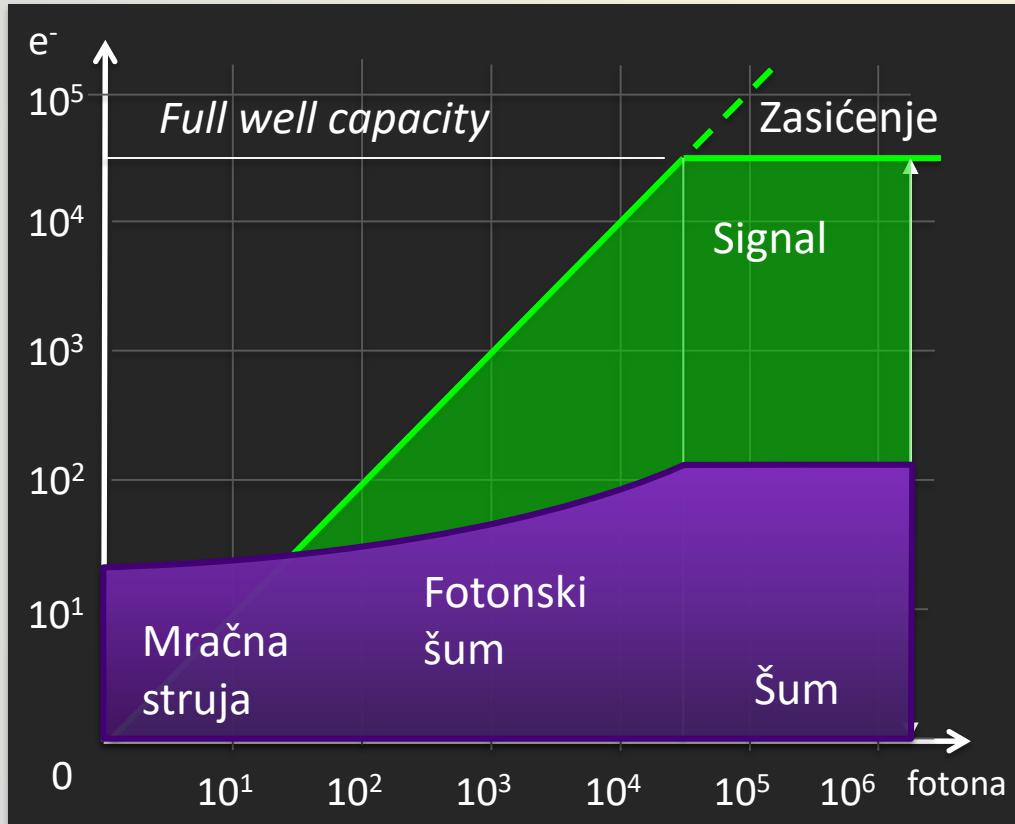
Šum

- **Vremenski (temporal) šum**
 - Šum pri čitanju (*Readout noise*)
 - Pojavljuje se pri konverziji naboja u napon
 - Neefikasnost u prijenosu naboja kroz CCD
 - Raste sa porastom signala takta
 - Kvantizacijski šum ADC-a
- **Vremenske pojave šuma su dominantni izvori šuma u CCD-u (koji koriste 1 ADC)**
 - „Sweet spot“ brzine čitanja CCD-a je 40 MHz
 - Za današnji CCD → Max. Readout = 160 Mpix/sec.

Šum

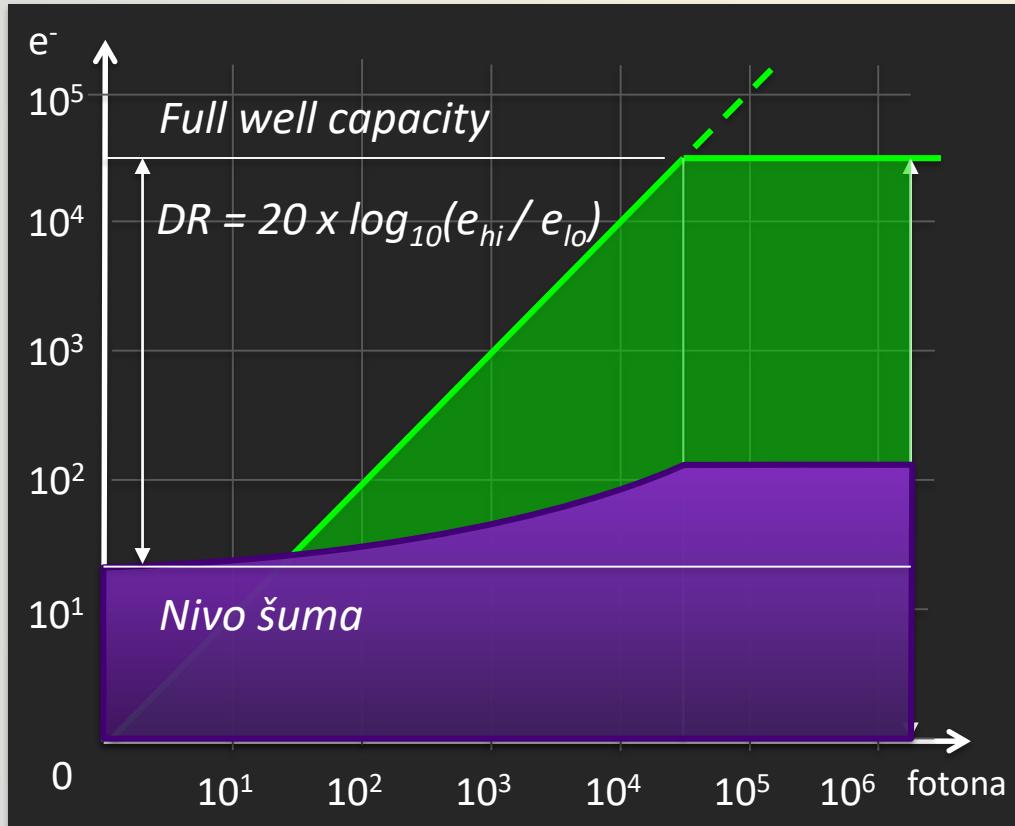
- Prostorni (spatial) šum
 - Šum stalnog uzorka (Fixed pattern noise – FPN)
 - Razlika Pk-Pk između min-max svih piksela u senzoru
 - „Vrući“ pikseli u tamnoj struji
 - Mjeri se na senzoru u mraku – zvan još i *Dark signal non-uniformity* (DSNU)
 - Neuniformnost odziva piksela (pixel response non-uniformity – PRNU)
 - Šum pojačanja (gain noise)
 - Individualni pikseli imaju različite krivulje osjetljivosti
 - Banding Noise
 - „trake“ u slici prouzročene nesavršenostima elektronike za čitanje
- Prisutniji u CMOS senzorima

Dinamički raspon



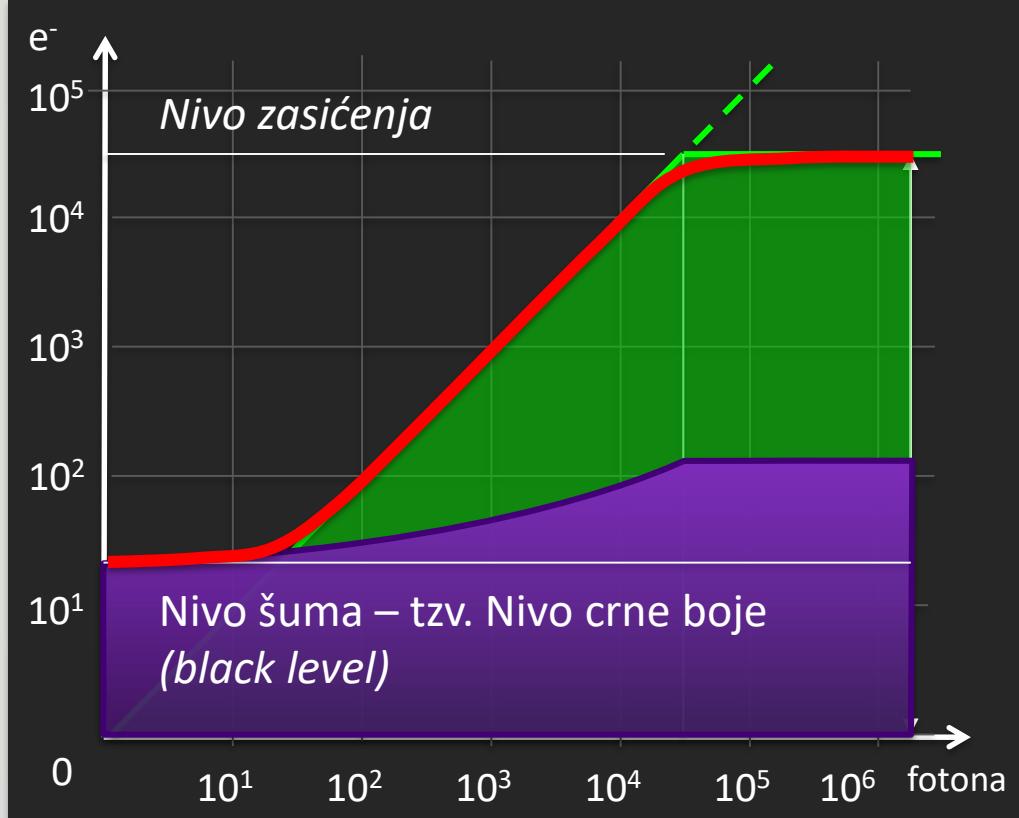
- **Maksimalni nivo**
 - Određen kapacitetom piksela (*full well capacity*)
 - Zasićenje
- **Minimalni nivo**
 - Određen šumom

Dinamički raspon



- Dinamički raspon (*dynamic range*)
 - Omjer najvišeg i najnižeg mjerljivog signala (izražen u dB)

Dinamički raspon

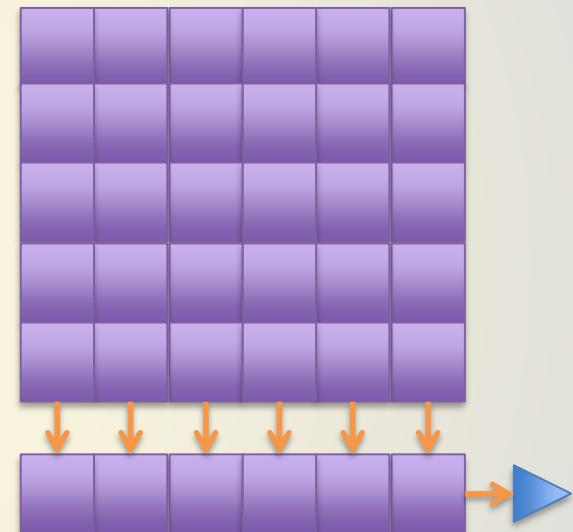


Zatvaranje

- Okidanje i upravljanje ekspozicijom
 - Povezano sa načinom iščitavanja senzora
- 4 osnovna načina zatvaranja
 - Mehanički (Vanjska zavjesica/lističi)
 - Stroboskopski
 - bez zatvaranja – kontrolirano osvjetljenje poznatog intenziteta i trajanja
 - Elektronički – „kotrljajući“
 - *ERS – Electronic Rolling Shutter*
 - Elektronički – Globalni
 - *Global Shutter*

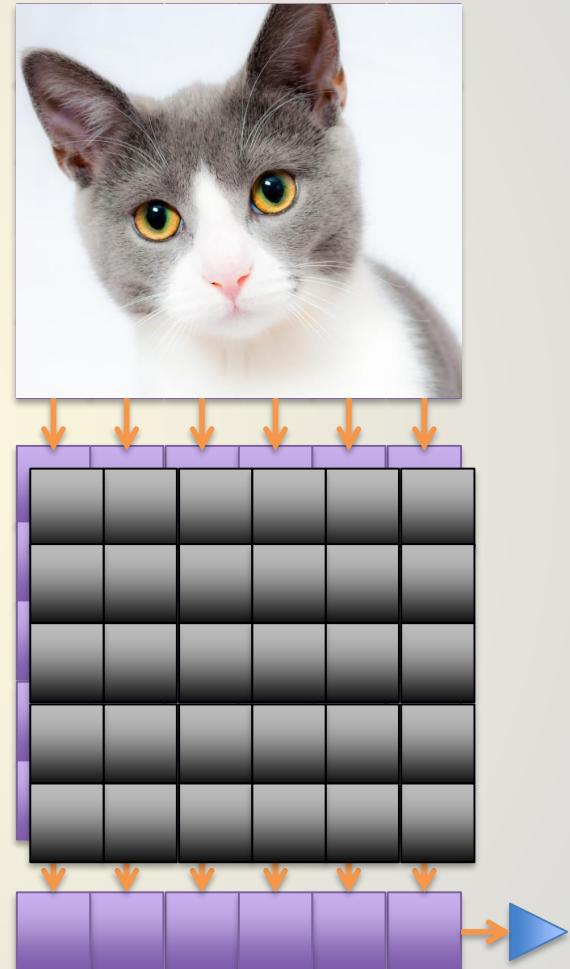
Arhitektura iščitavanja CCD

- CCD sa izravnim iščitavanjem (*Frame readout CCD*)
 - naboj se pomică kroz fotosenzitivne elemente
 - Prednosti
 - Visoki faktor ispune
 - Mane
 - Opasnost od razmazivanja
 - Sporo čitanje
 - Nužan vanjski zatvarač (zavjesica/stroboskop)



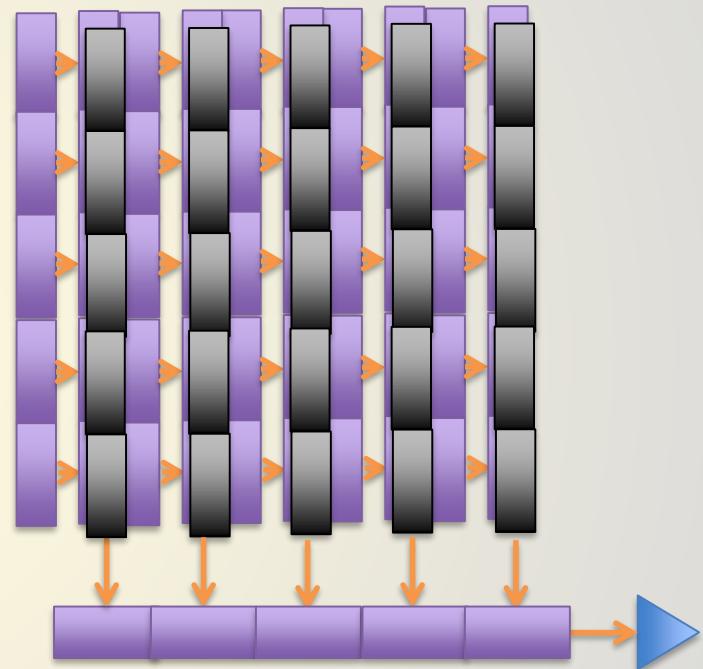
Arhitektura iščitavanja CCD

- CCD sa prijenosom slike (*Frame transfer CCD*)
 - Dvostruka CCD struktura – 1 maskirana
 - Slika se nakon ekspozicije prenosi u pohranu zaštićenu od svjetla
 - Prednosti
 - Velik faktor ispune
 - Globalno zatvaranje
 - Kontinuirani rad bez vanjskog zatvarača
 - Mane
 - Sporije iščitavanje/brzina zatvarača
 - Skup senzor (2x površine)

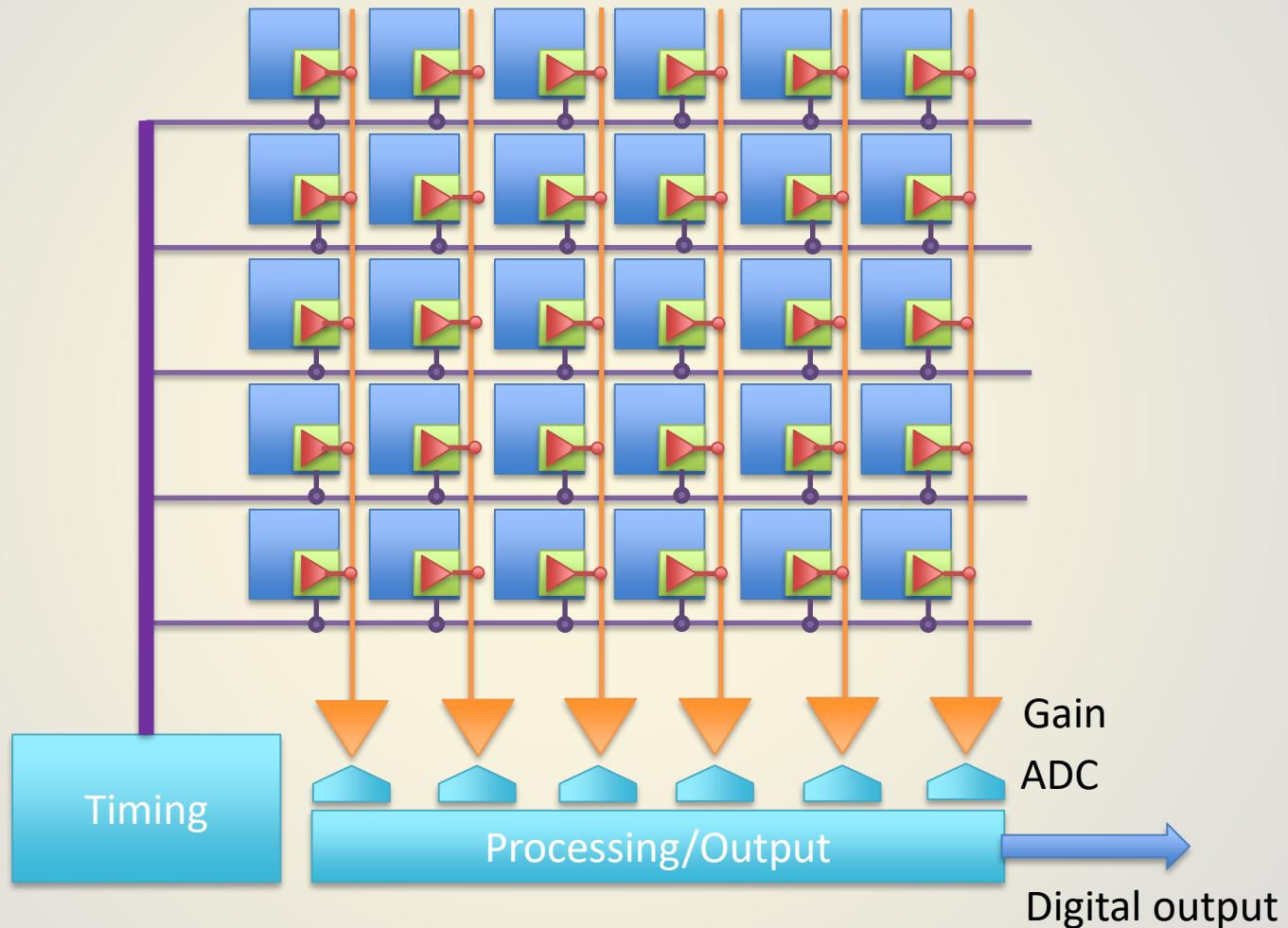


Arhitektura iščitavanja CCD

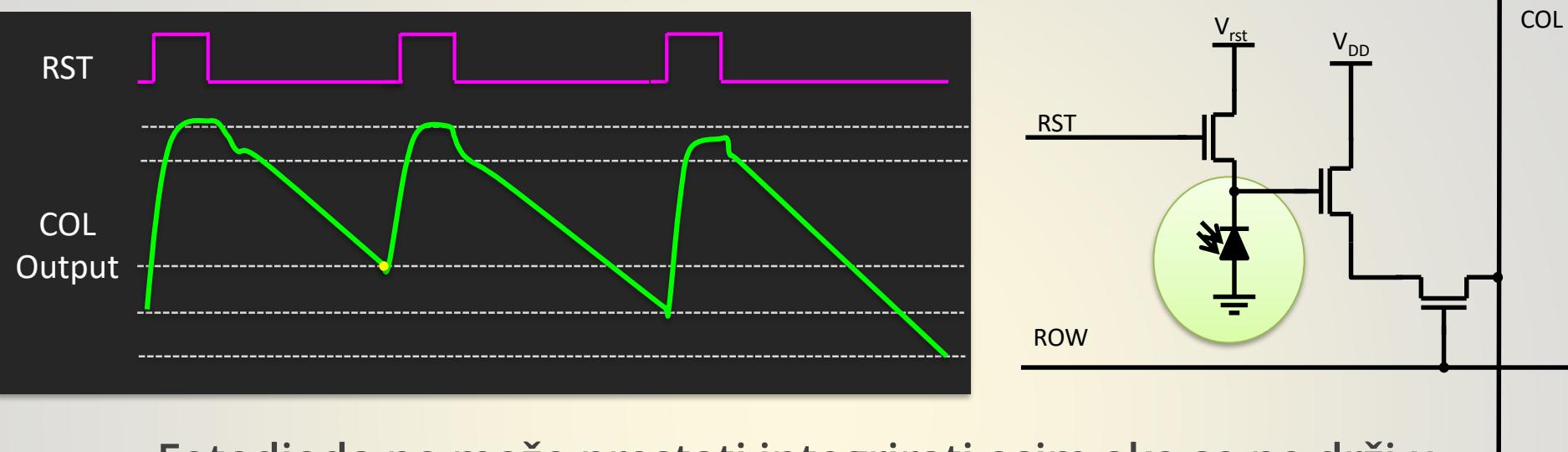
- CCD sa međulinjskim prijenosom (*Interline transfer CCD*)
 - Maskirani retci između fotoosjetljivih
 - Iznimno brzi prijenos u maskirani redak
 - Prednosti
 - brzo iščitavanje/brzina zatvarača
 - Globalno zatvaranje
 - Mane
 - smanjen faktor ispune
 - Korekcija preko mikroleća



Arhitektura iščitavanja CMOS

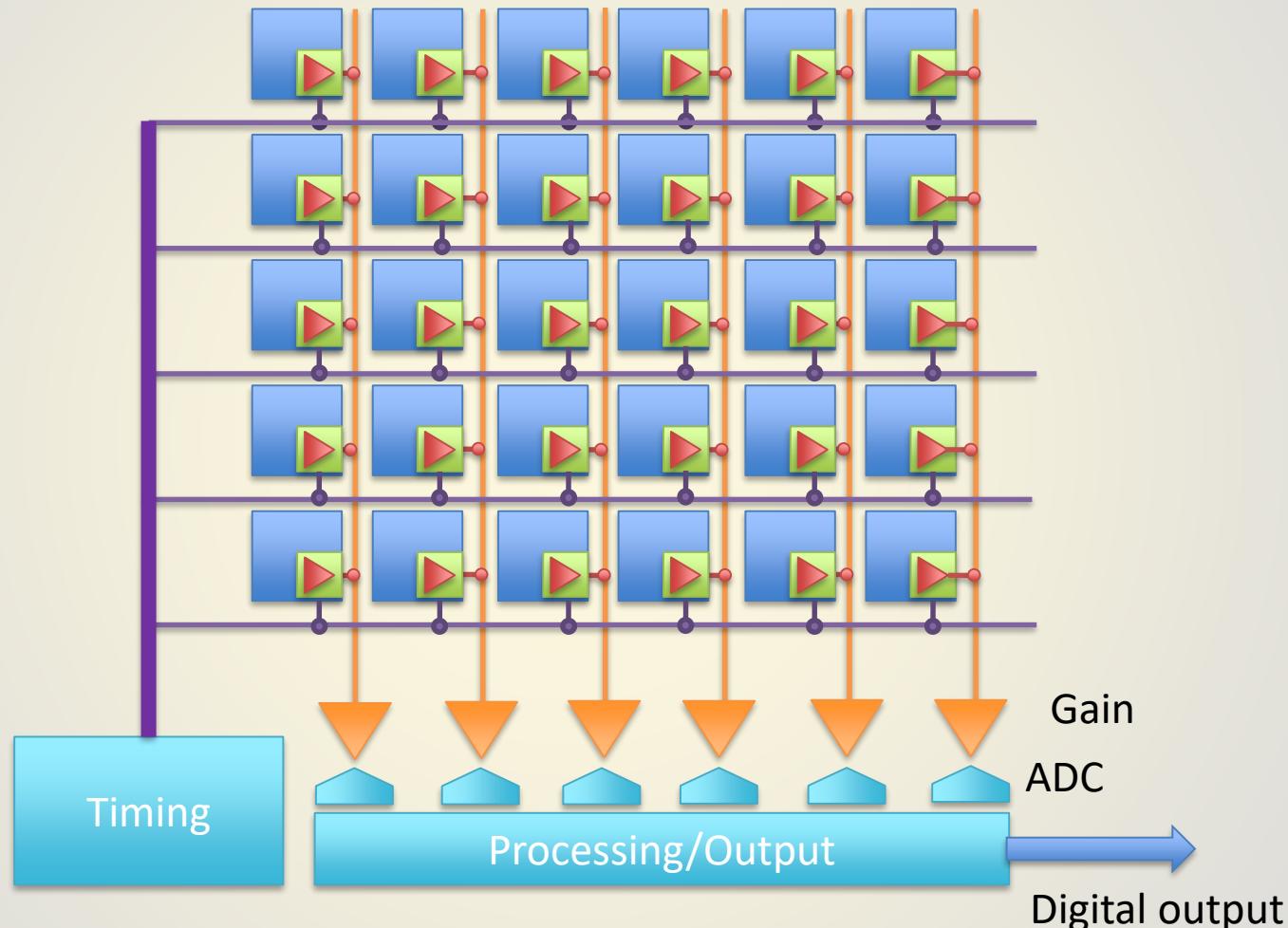


Arhitektura iščitavanja CMOS



- Fotodioda ne može prestati integrirati osim ako se ne drži u resetu
 - Signal retka se mora iščitati upravo kada je vrijeme integracije završilo
- Prijenos redaka digitalnim sučeljem – troši vrijeme
 - Vrijeme se akumulira od početka do kraja senzora
 - Akumulacija vremena integracije → preeksponiranost
- Rješenje – eksponirati redak po redak u koordinaciji sa čitanjem
- Electronic Rolling Shutter (ERS)

Arhitektura iščitavanja CMOS



Efekat kotrljajućeg zatvarača

- *Rolling shutter effect*



Von Richmilliron - Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=16092937>



Von Axel1963 - Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=10985163>

Efekat kotrljajućeg zatvarača



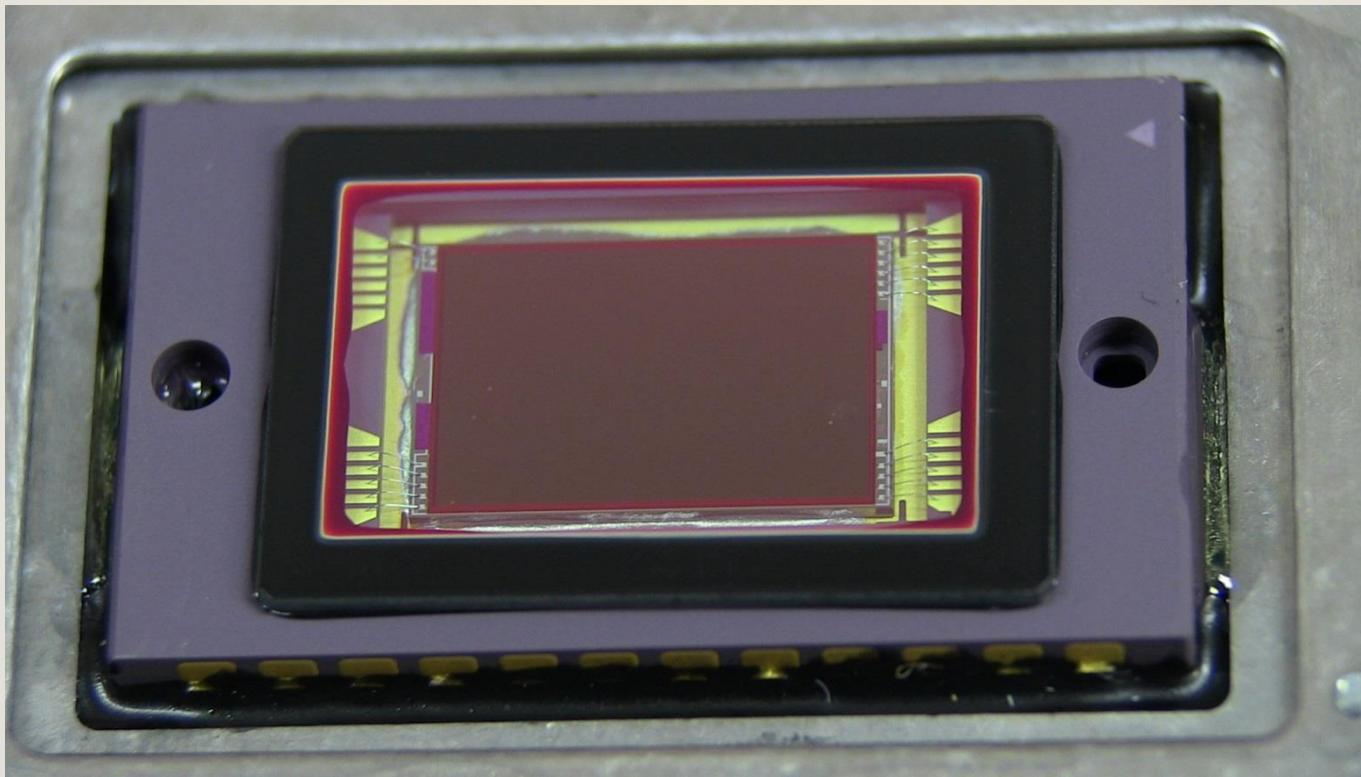
- Izbjegava ga CMOS senzor sa globalnim zatvaračem
 - Skuplji za proizvodnju (8T)
 - Niži faktor ispune/rezolucija

Tipovi senzora

- Area scan (skeniranje površine)
- Line scan (skeniranje linije)
- Time delay and integration (integracija s vremenskim pomakom)

Senzori sa skeniranjem površine

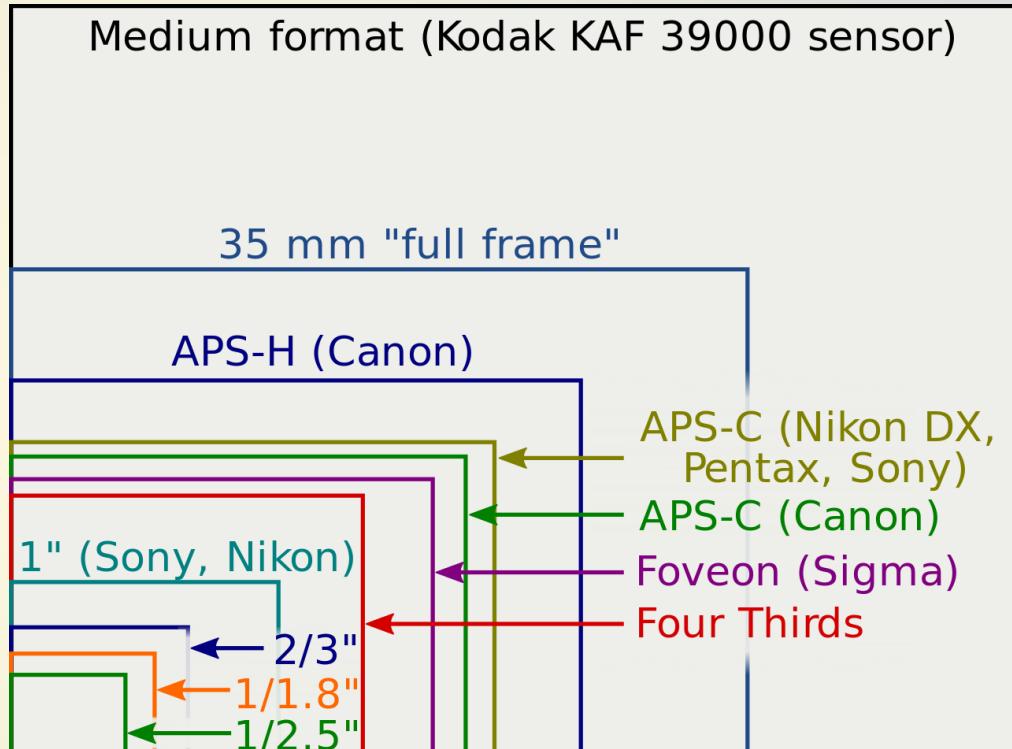
- *Area scan* senzori – u najčešćoj uporabi



By Binarysequence - Own work, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=27287247>

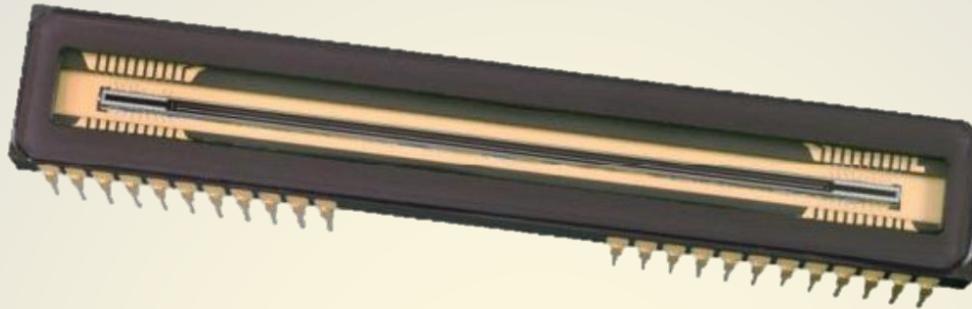
Tipovi senzora

- Format senzora
 - *Optical format*
 - Definira omjer stranica i površinu
- Definicija
 - Veći
 - Prema formatu fotografskog filma
 - Manji
 - Prema dimenzijsama ekvivalentne vidicon cijevi



By Sensor_sizes_overlaid.svg: Moxyrederivative work: Autopilot (talk) - Sensor_sizes_overlaid.svg, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=6897985>

Senzori sa skeniranjem linije



(C) ON Semiconductor

■ 1(ili više linija)

- Daje kontinuiranu sliku pokretnog predmeta
- Industrijske primjene (trake)

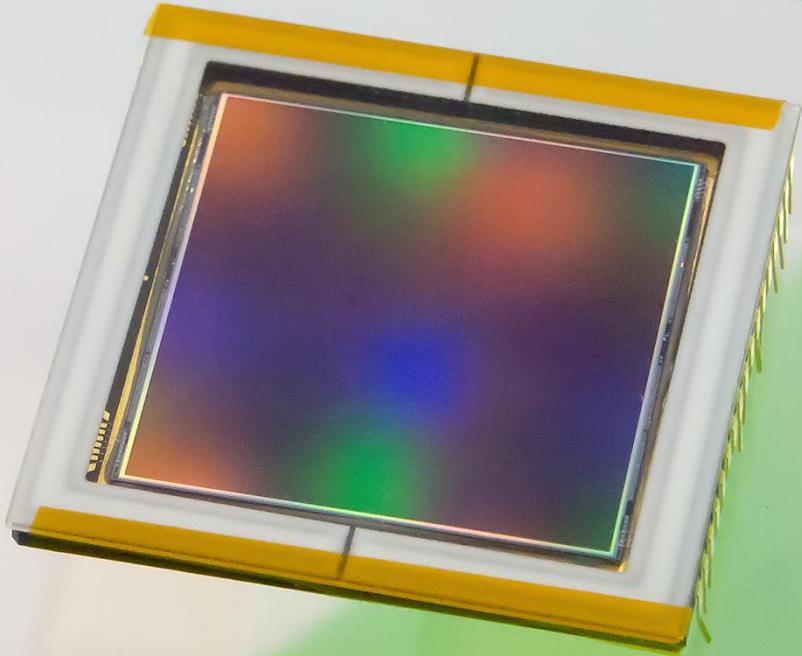
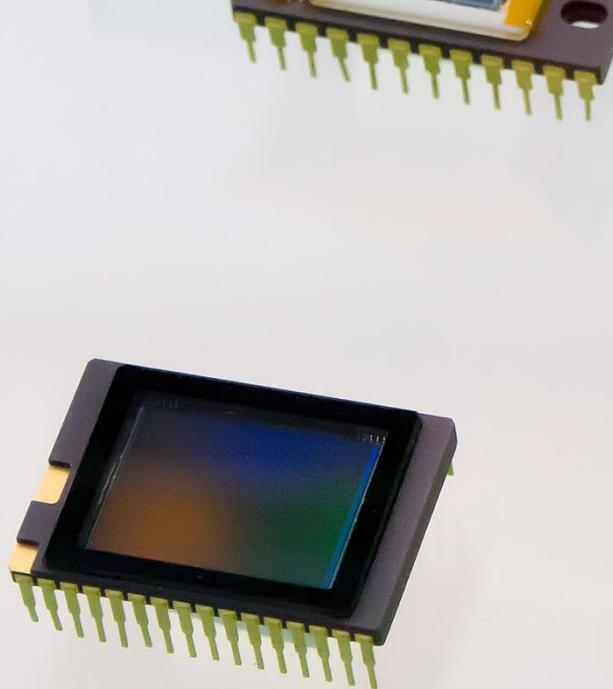


Integracija s vremenskim pomakom

■ Time delay and integration

- Line scan
- Zbraja više uzastopnih ekspozicija



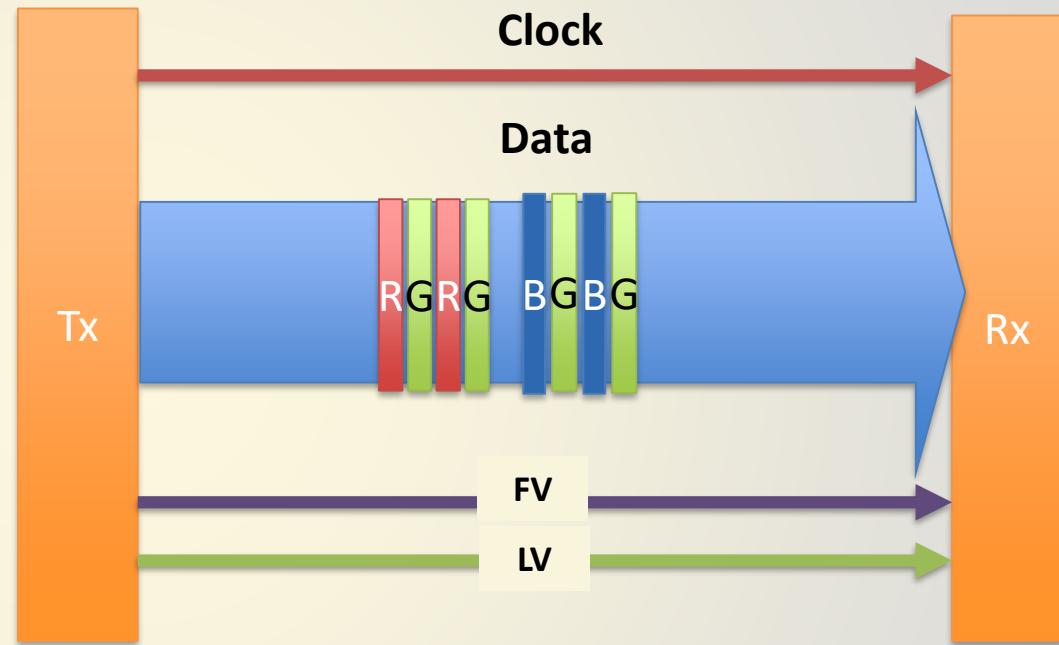


Od senzora do slike

Senzorski cjevovod

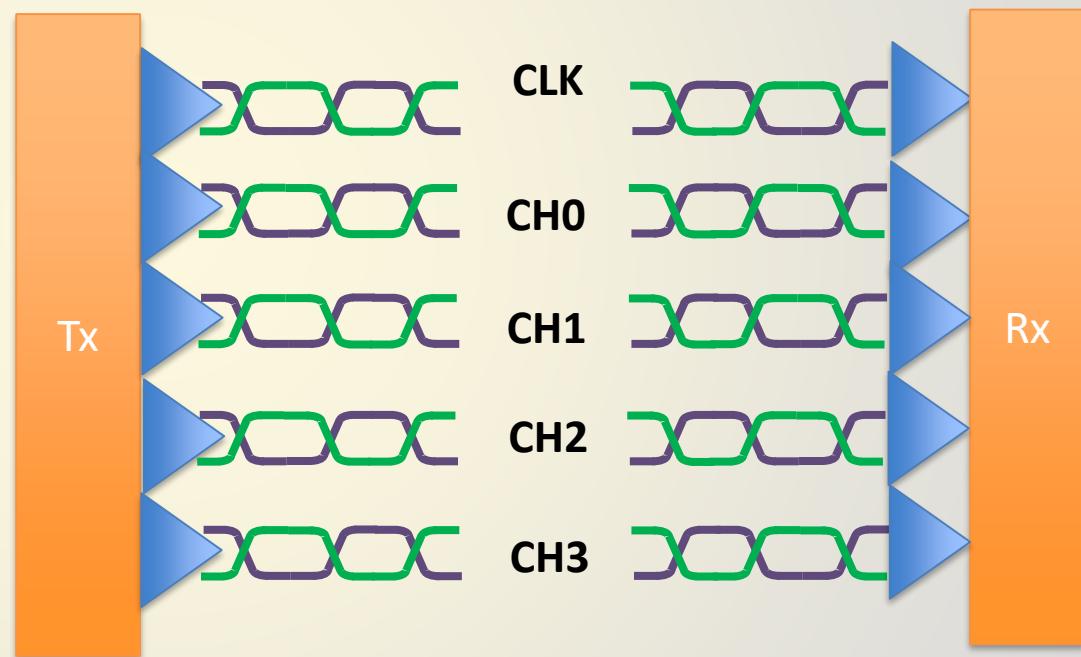
Sučelja za prijenos podataka

- CCD
 - Analogni izlaz
- CMOS
 - Paralelna



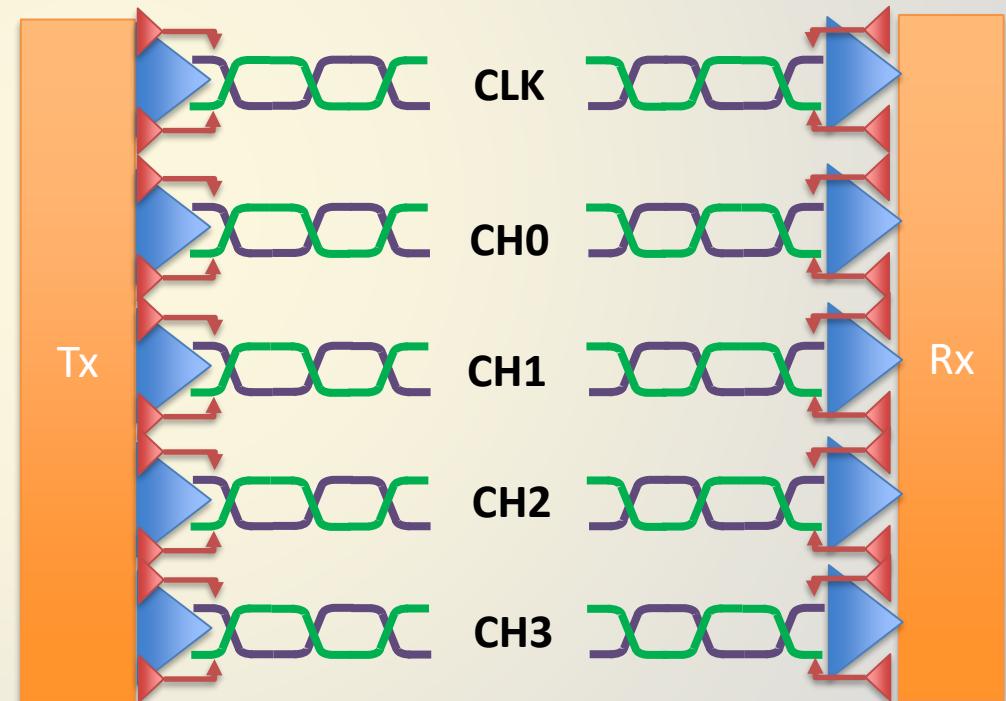
Sučelja za prijenos podataka

- CCD
 - Analogni izlaz
- CMOS
 - Paralelna
 - Serijska
(Diferencijalna)
 - LVDS
 - SubLVDS
 - HiSPI



Sučelja za prijenos podataka

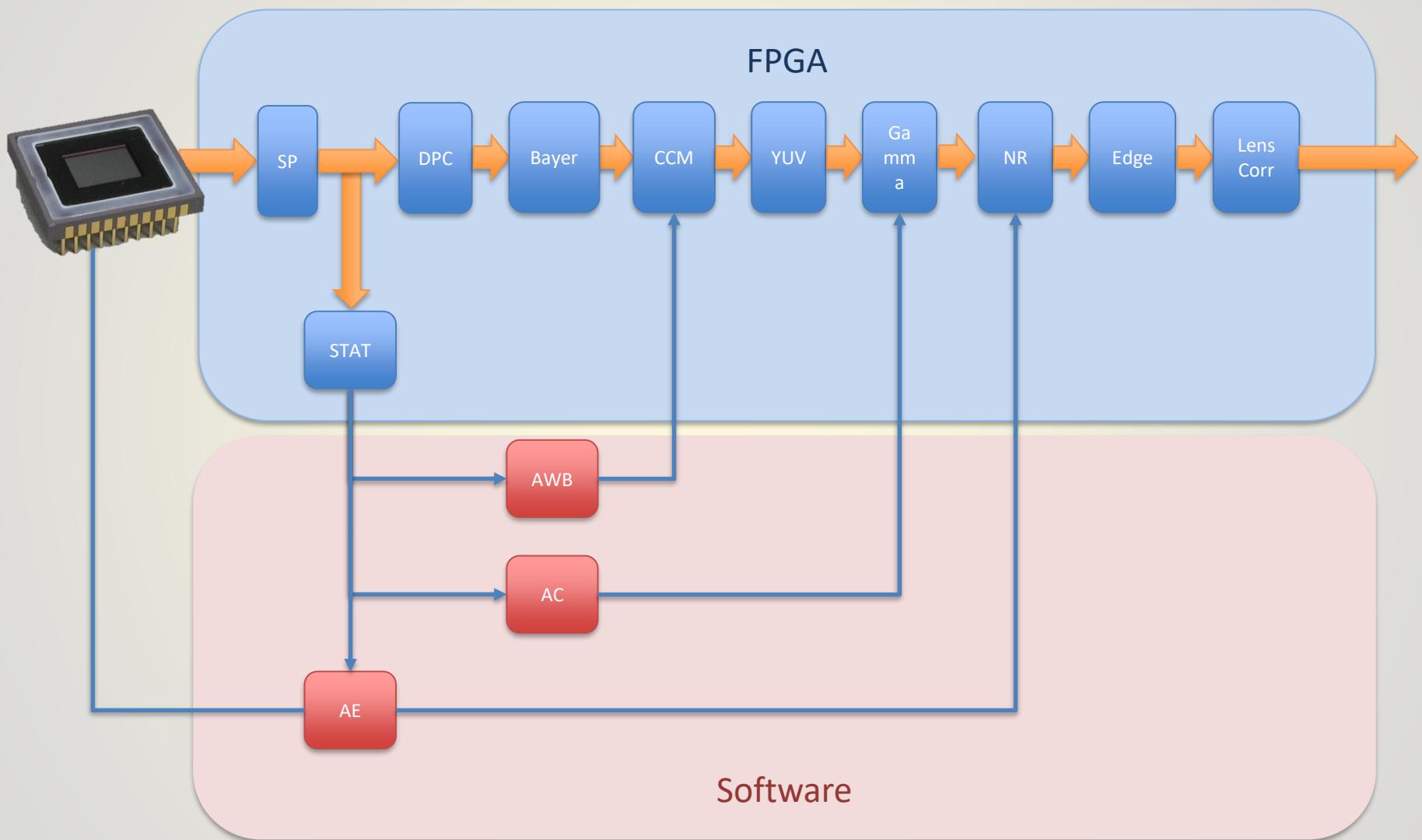
- CCD
 - Analogni izlaz
- CMOS
 - Paralelna
 - Serijska
(Diferencijalna)
 - LVDS
 - SubLVDS
 - HiSPI
 - MIPI(r) D-PHY



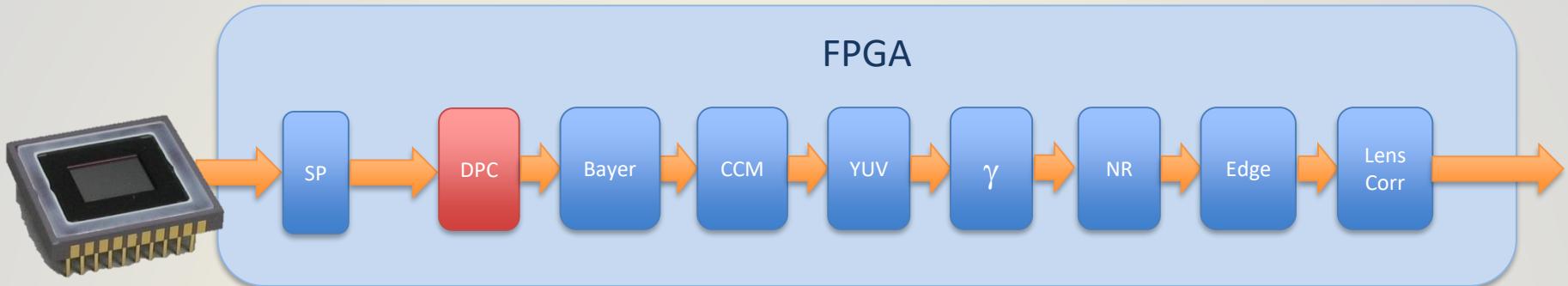
Senzorski cjevovod

- Eng. Imaging sensor pipeline (ISP)
 - Pretvara sirove podatke sa senzora u sliku

ISP



ISP

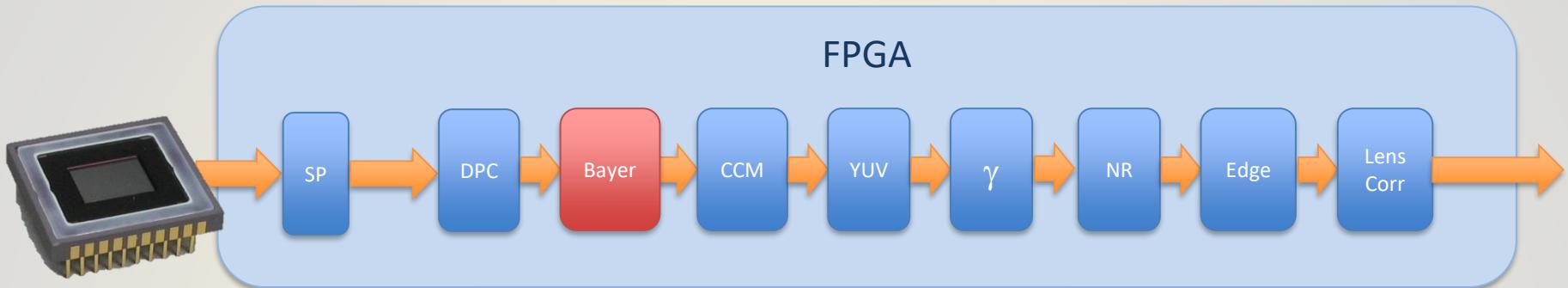


Defect Pixel Correction

- Interpolira permanentno neresponsivne piksele

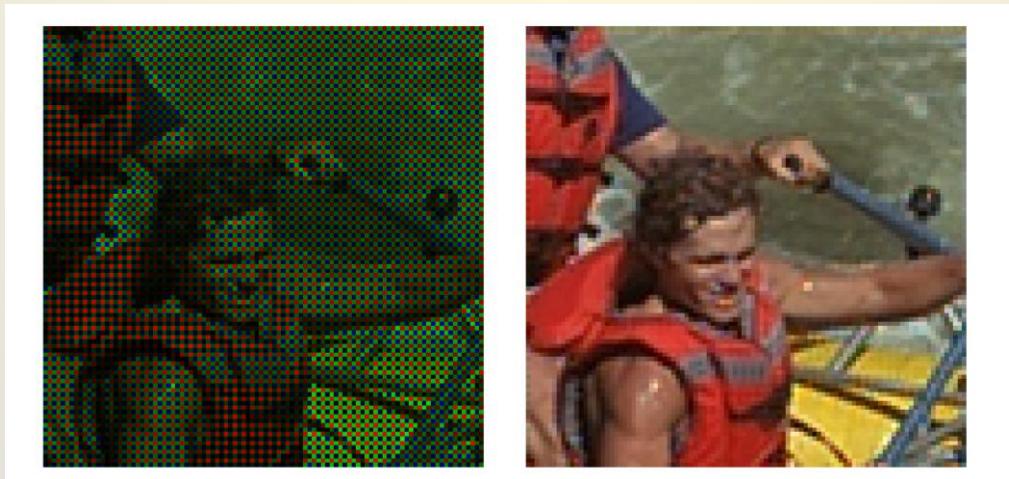


ISP

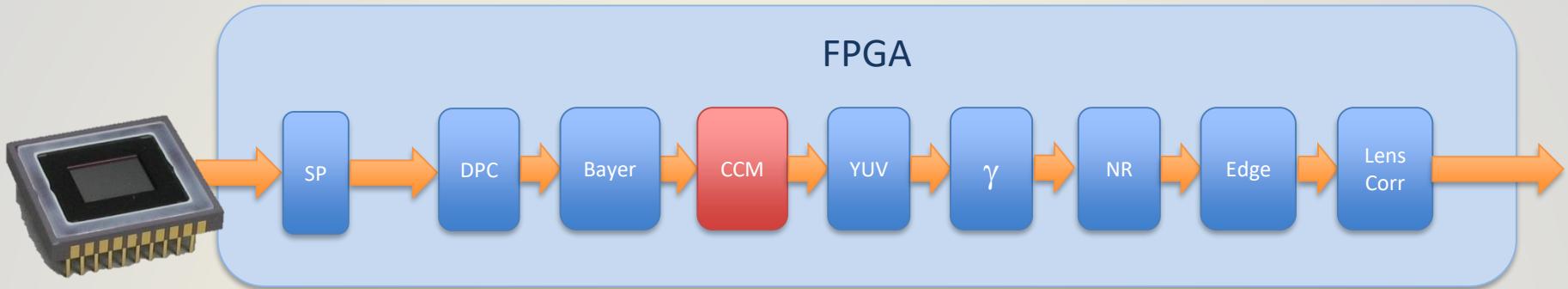


- Debayer/Demosaic

- Debayer/Demosaic
 - Interpolira nedostajuće boje u Bayer mosaic uzorku i generira R, G i B za svaki piksel



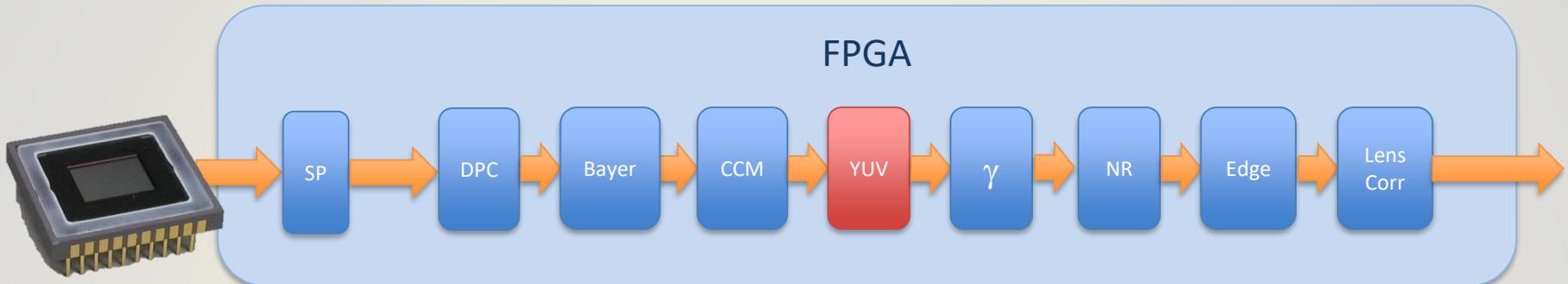
ISP



■ Color correction matrix

- Linearna RGB->RGB transformacija (3x3 matrica)
- Usklađuje prostor boja sa standardnom percepcijom

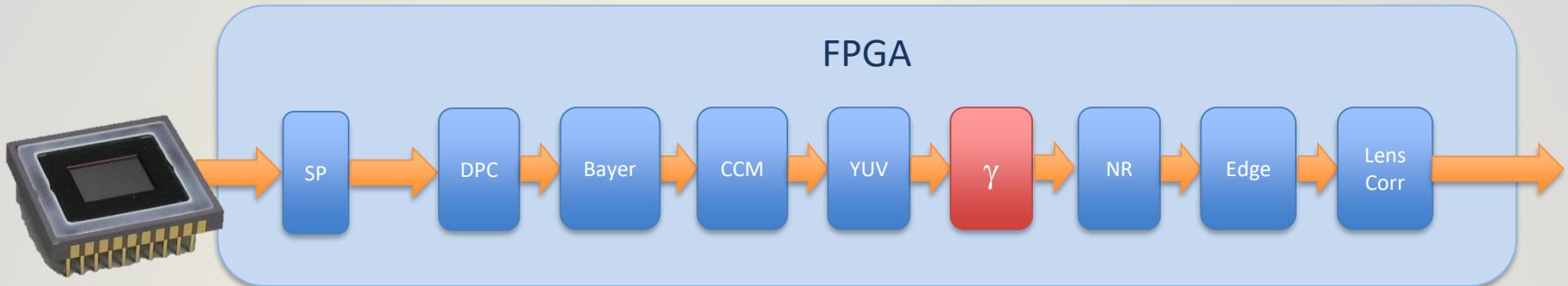
ISP



■ Konverzija u YUV

- Intenzitet i boja se razdvajaju kao zasebne informacije

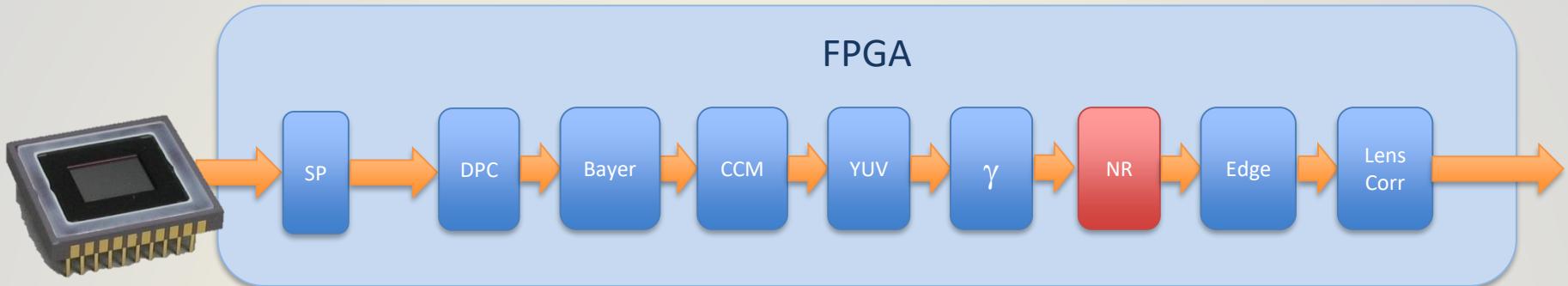
ISP



■ Gama korekcija

- Logaritamski mapira linearnu skalu intenziteta kako bi se ista prilagodila uređaju za prikaz

ISP



■ Noise reduction

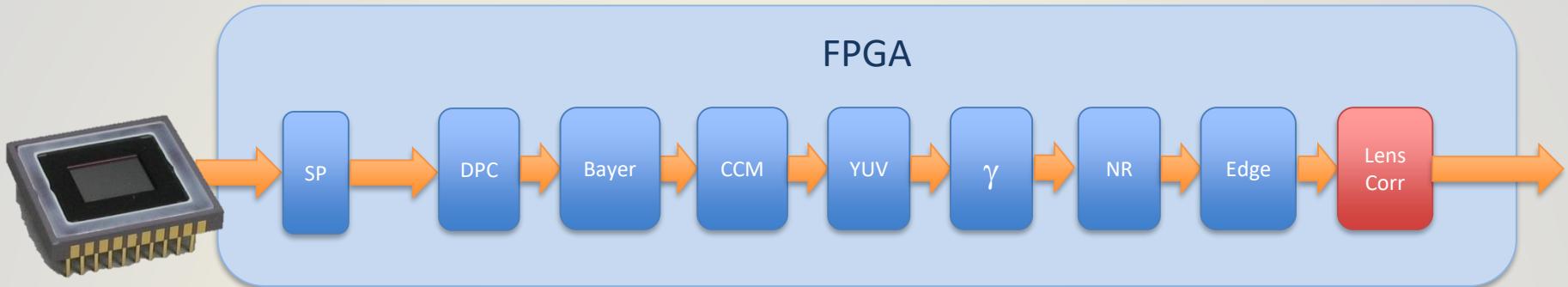
- Filtriranje slike za smanjenje šuma – edge aware filtriranje (gauss+sobel, bilateralni filter)

ISP



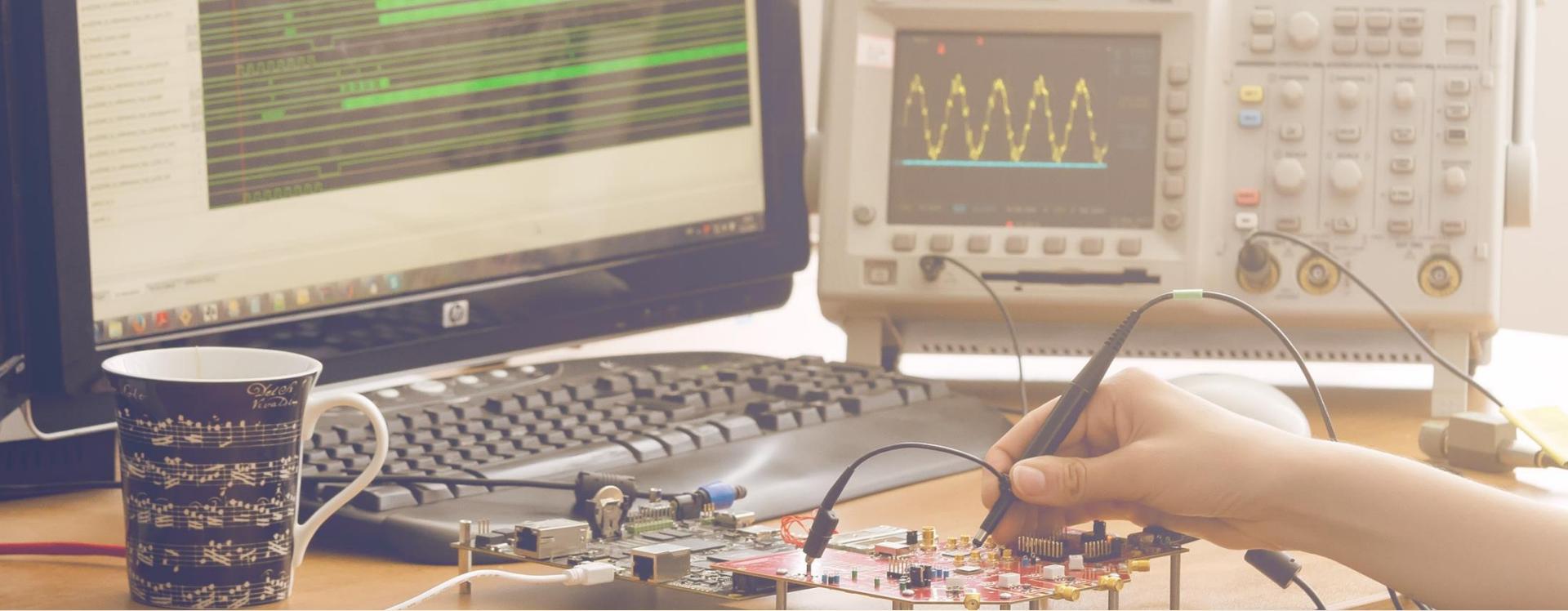
- Edge enhancement
 - Oštrenje slike – Unsharp mask filter

ISP



■ Korekcija leće

- Ispravljanje vinjete / geometrijske distorzije
- Mapirano pojačanje/offset
- Interpolacija vođena mrežom koja odgovara distorziji



Pitanja?

Materijali

<http://www.analog.com/en/analog-dialogue/articles/integrated-solutions-for-ccd-signal-processing.html>

<https://www.stemmer-imaging.co.uk/en/knowledge-base/cameras/>

http://www.optique-ingenieur.org/en/courses/OPI_ang_M05_C06/co/Grain_OPI_ang_M05_C06.html

http://www.vikdhillon.staff.shef.ac.uk/teaching/phy217/detectors/phy217_det_structure.html

<https://www.personal-view.com/talks/discussion/2923/sensors-global-shutter/p1>

<http://www.teledynedalsa.com/imaging/knowledge-center/appnotes/ccd-vs-cmos/>

<http://theory.uchicago.edu/~ejm/pix/20d/tests/noise/>

Materijali

<http://ccf.ee.ntu.edu.tw/~ypchiou/Intro EO/CMOS Image Sensor.pdf>

<http://hamamatsu.magnet.fsu.edu/articles/ccdsatandblooming.html>

<http://slideplayer.com/slide/733720/>

<https://www.edmundoptics.com/resources/application-notes/imaging/understanding-camera-sensors-for-machine-vision-applications/>

http://www.exclusivearchitecture.com/?page_id=657

<https://micro.magnet.fsu.edu/primer/digitalimaging/cmosimagesensors.html>

<http://www.clarkvision.com/articles/dark-current-suppression-technology/>

<http://electroiq.com/blog/2014/09/global-shutter-image-sensors/>

Materijali

https://en.wikipedia.org/wiki/Shot_noise

https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_television

Žerjav, Davor: Promišljati Fotografski; Fotoklub Čakovec, 2011.

Hunter, F.; Biver, S.; Fuqua, P.: Light Science & Magic: An Introduction to Photographic Lighting; Focal Press – 3rd ed. (2007.)

L. Mijatović, H. Dean and M. Rožić, "Implementation of algorithm for detection and correction of defective pixels in FPGA," *2012 Proceedings of the 35th International Convention MIPRO*, Opatija, 2012, pp. 1731-1735.



R&D, design, and production of electronic and computing systems



Address:

Slavonska avenija 50
HR-10000 Zagreb

Tel/Fax:

+385 1 2455 659

E-mail: contact@mikroprojekt.eu

Web: www.mikroprojekt.eu

