

Univerzitet u Novom Sadu  
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA  
Industrijsko inženjerstvo

Predmet: Reverzibilni inženjerski dizajn i 3D štampa

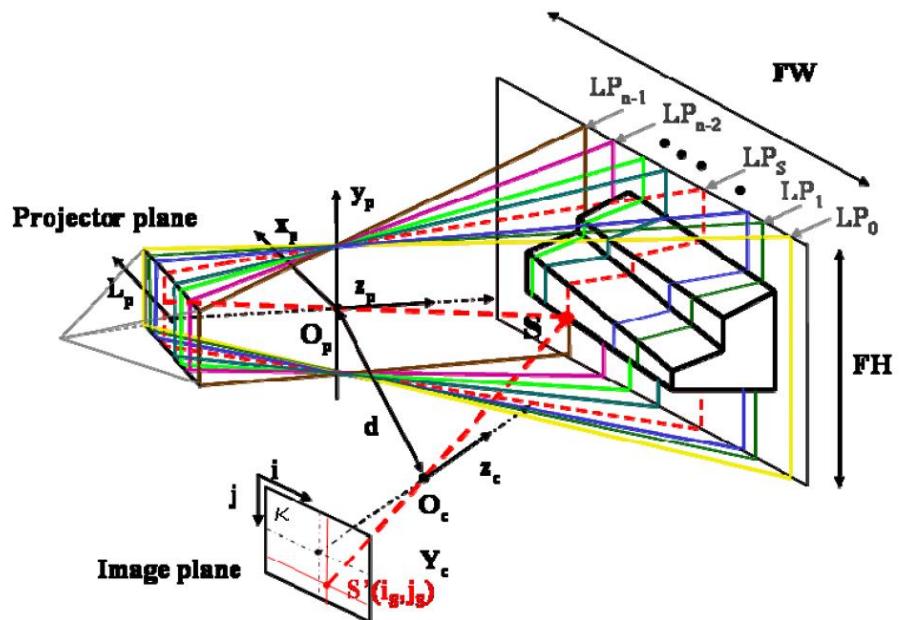
# 3D DIGITALIZACIJA STRUKTURIRANOM SVETLOŠĆU

## Predavanje 6

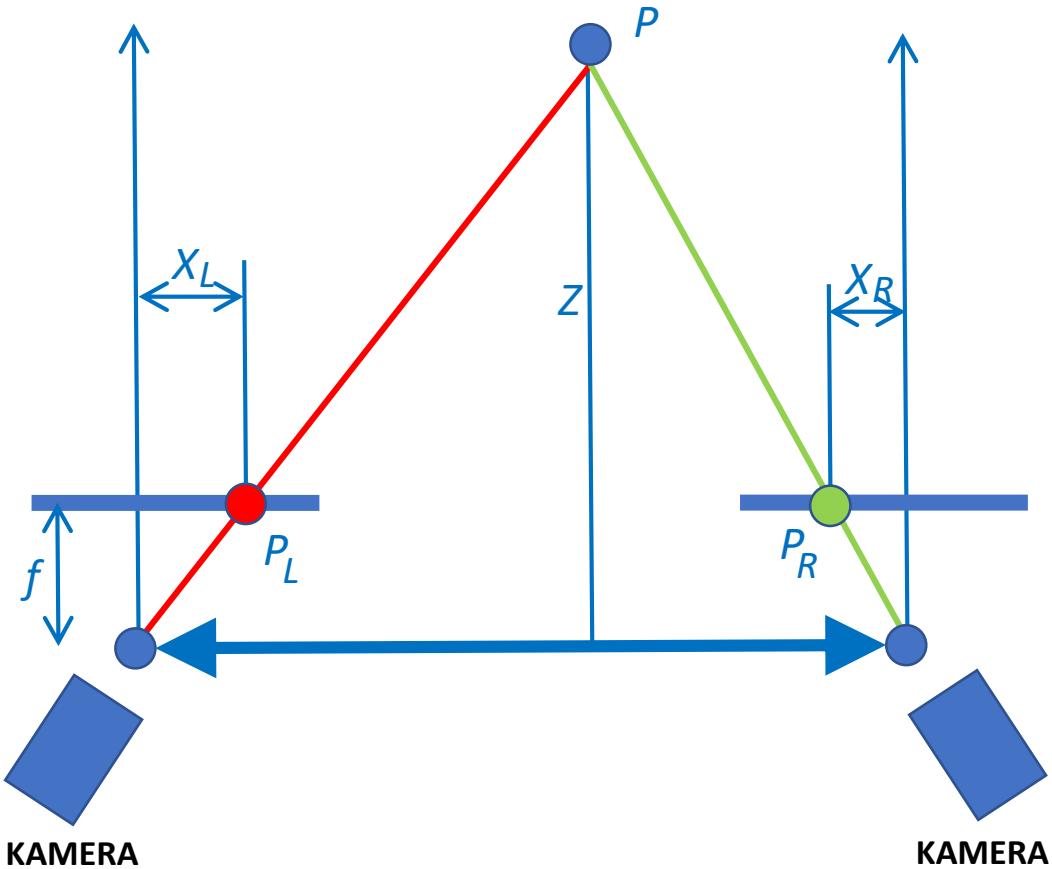
Prof. dr Igor Budak

# Više-linijska triangulacija

- Cilj je projektovanje i identifikacija više linija na objektu istovremeno, radi ubrzanja 3D digitalizacije.
- Ključno pitanje je: "Kako identifikovati linije na foto senzoru?"

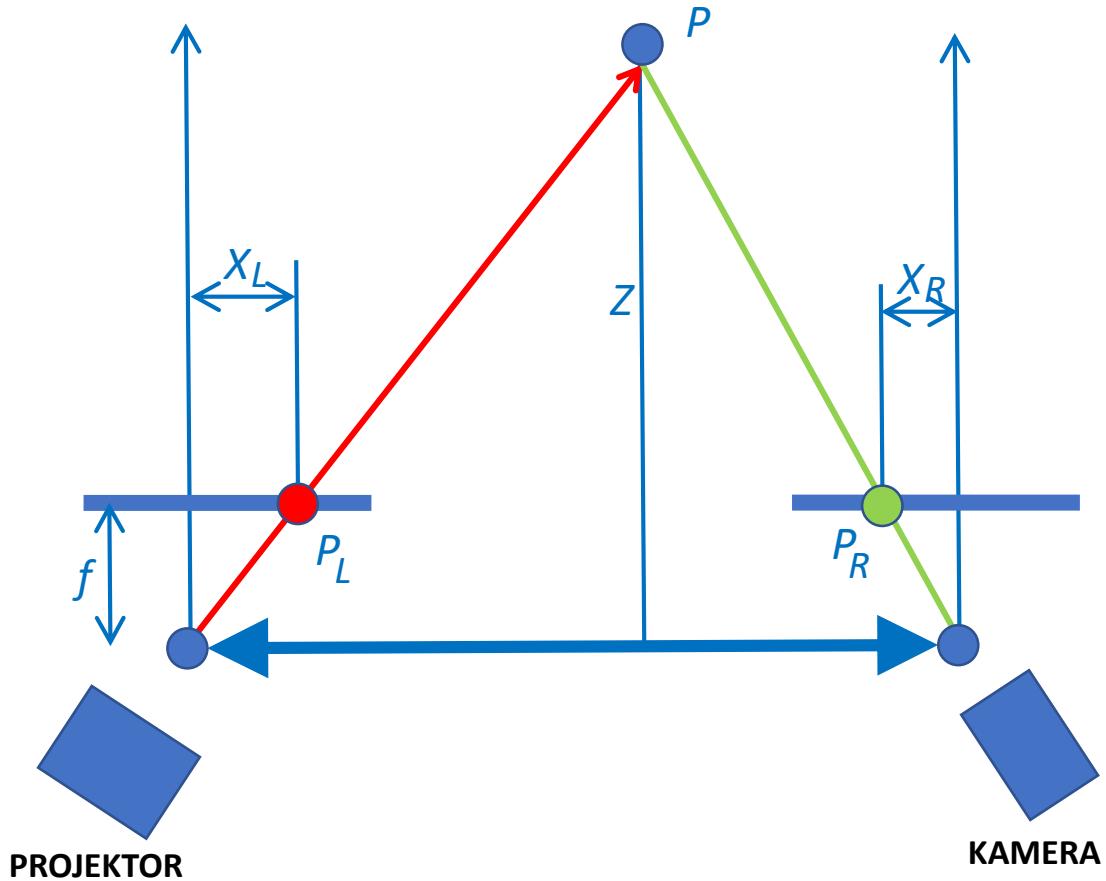


# Aktivna stereovizija



Kod aktivne stereovizije, udaljenost tačke  $P$  možemo odrediti na bazi trigonometrijskih odnosa (tj. triangulacijom), zato što znamo gde ( $X_L$  i  $X_R$ ) se ta tačka nalazi na levoj i desnoj slici (tj. fotografiji).

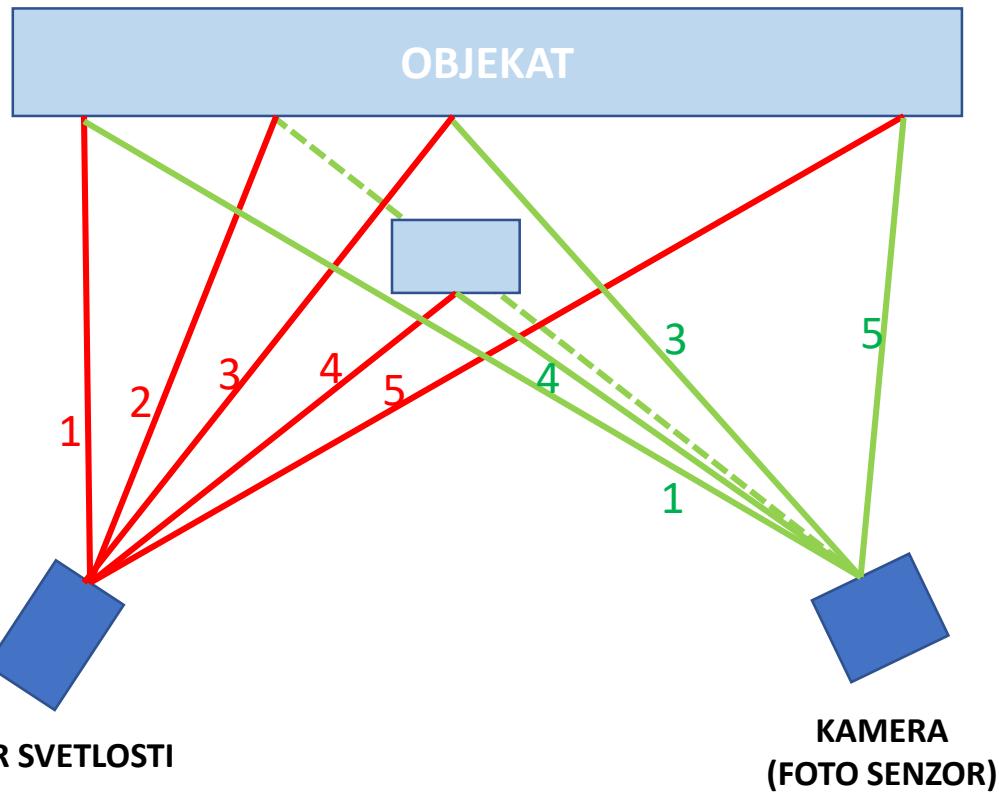
# Strukturirana svetlost



Ukoliko umesto leve kamere postavimo projektor i projektujemo tačku na objekat (tačka  $P$ ), na osnovu poznatog ugla projektovanja (možemo odrediti  $X_L$ ) i pozicije na kojoj se tačka pojavila u ravni slike ( $X_R$ ) možemo triangulacijom izračunati udaljenost tačke  $P$ , tj.  $Z$ .

Na ovom principu rade i 1-linijski laserski skeneri.

# Višelinjska triangulacija strukturiranim svetlošću



Prilikom projektovanja više identičnih svetlosnih linija na objekat, senzor ne može da „prepozna“ koja slika odgovara kojoj projektovanoj liniji.

U primeru na slici, redosled projektovanih linija je 1, 2, 3, 4 i 5, a redosled slika na senzoru je 1, 4, 3, 5 (2 nije ni detektovana na senzoru).

Da bi se mogle identifikovati linije na senzoru koje odgovaraju projektovanim linijama, potrebna je upotreba nekog sistema za kodiranje linija.

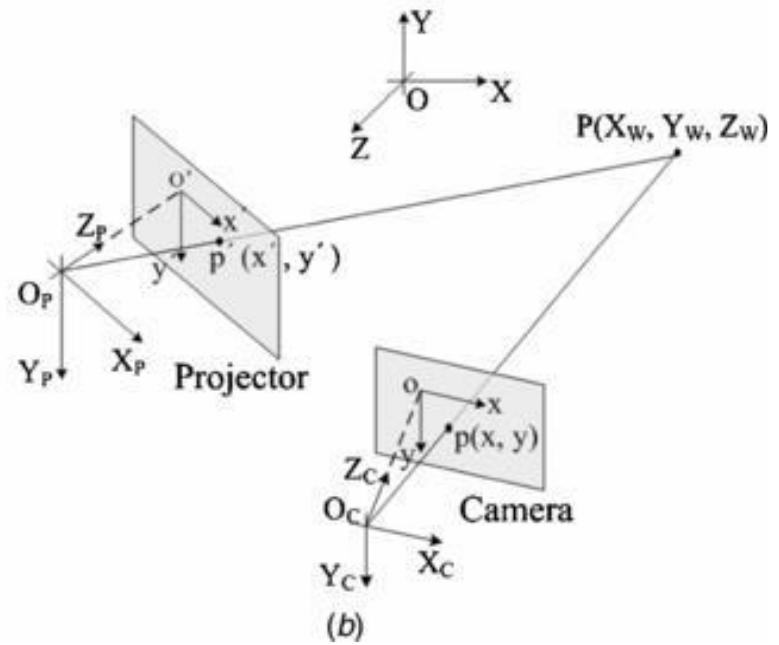
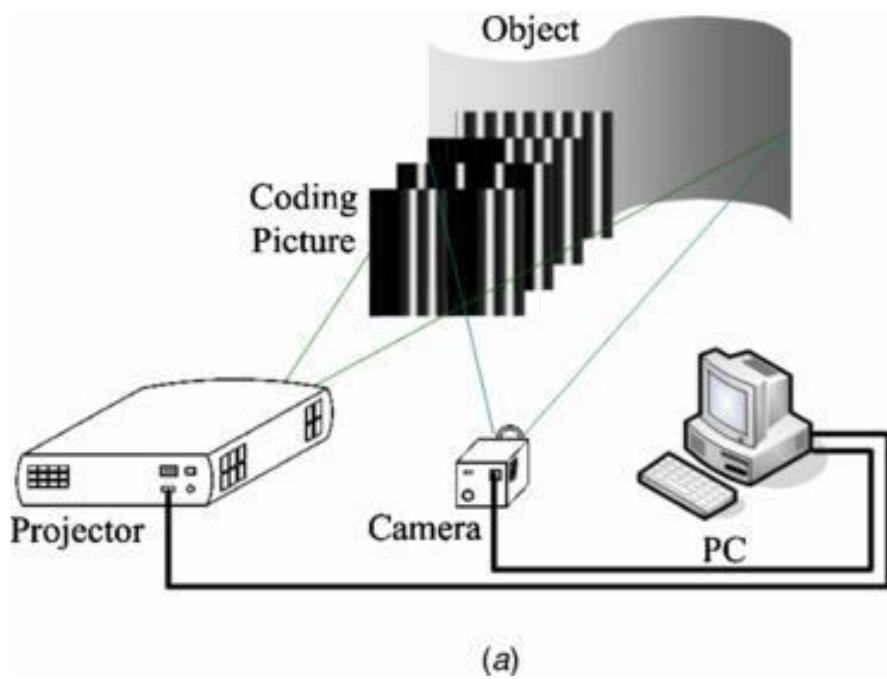
# KODIRANJE LINIJA

Postoji više pristupa za kodiranje linija.

Kodni sistemi, koje ovde treba spomenuti su:

- 1) Kodiranje binarnim vremenskim paternima (šablonima)
- 2) Kodiranje graničnim linijskim kodom
- 3) Kodiranje u boji (de Bruinoovom sekvencom)

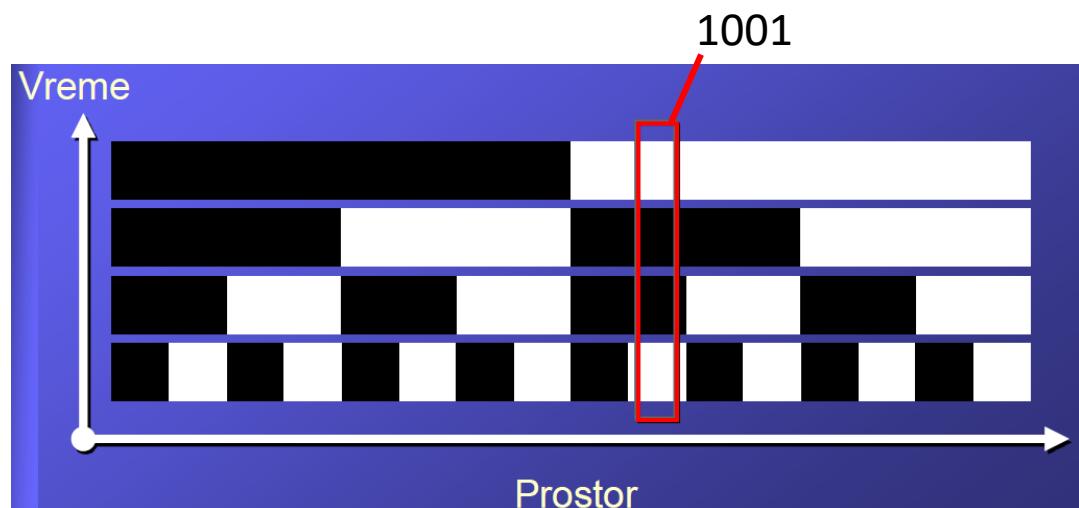
# KODIRANJE LINIJA BINARNIM VREMENSKIM PATERNIMA



# KODIRANJE LINIJA BINARNIM VREMENSKIM PATERNIMA

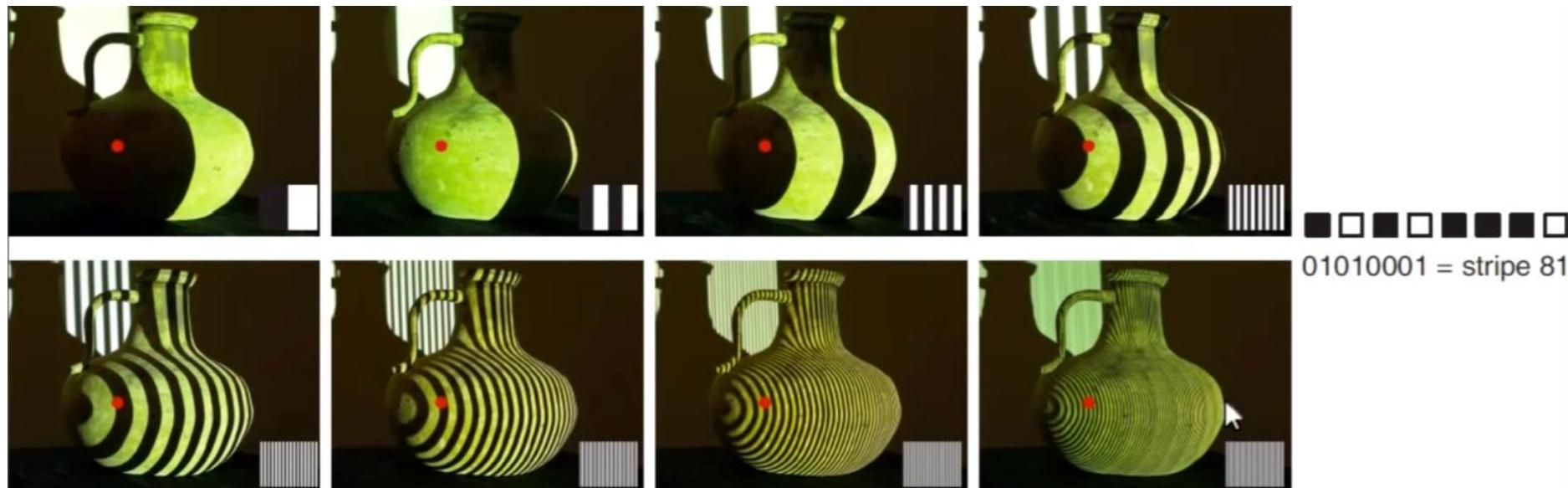
Projektuje se niz paterna, u okviru kojih se razlikuju širine i raspored crno belih pruga, u jednakim uzastopnim vremenskim intervalima. Najfiniji patern određuje broj linija koji se može detektovati. Svakoj liniji odgovara jednoznačan binarni kod.

Primer na slici sadrži 4 paterna, pri čemu najfiniji sadrži 16 linija



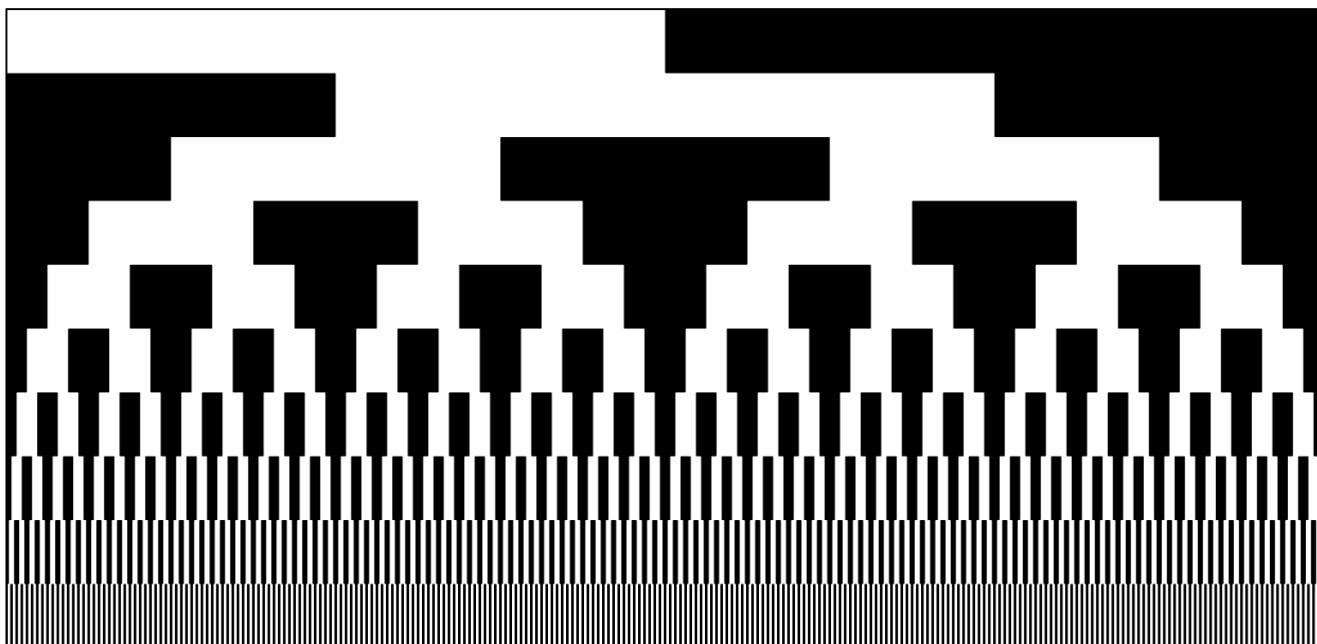
# KODIRANJE LINIJA BINARNIM VREMENSKIM PATERNIMA

Primer na slici pokazuje kodiranje sa 8 paterna, kojima je omogućeno kodiranje 256 linija.



# KODIRANJE LINIJA BINARNIM VREMENSKIM PATERNIMA

Primer na slici prikazuje kodni sistem sa 10 paterna, kojima je omogućeno kodiranje 512 linija.



# KODIRANJE LINIJA BINARNIM VREMENSKIM PATERNIMA

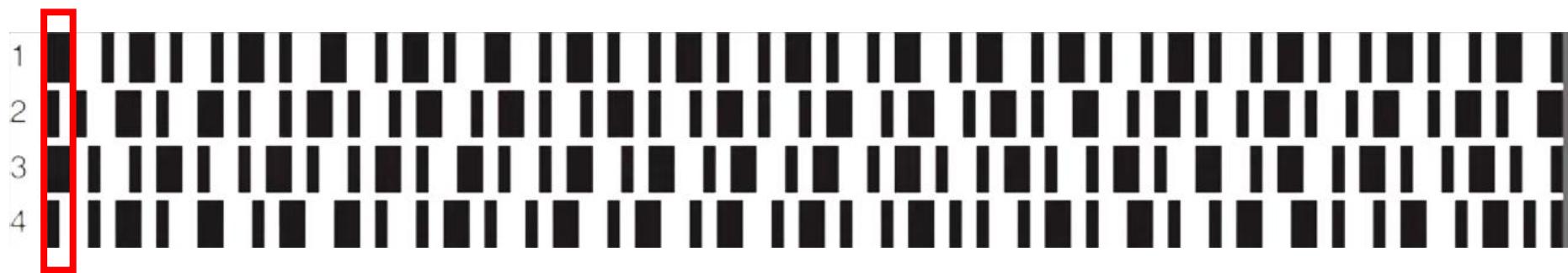
- Ključna mana vremenskog kodiranja je potreba za određenim vremenskim intervalom u kojem se projektuju svi paterni.
- Veća rezolucija nameće potrebu za većim brojem paterna, čime se produžava trajanje skeniranja.
- Prethodno čini ovu vrstu kodiranja teško upotrebljivom u slučaju 3D digitalizacije živih objekata, pre svega ljudi, jer se u tom kratkom vremenskom intervalu potrebnom za projektovanje skupa paterna najčešće dogodi pomeranje (potreba za disanjem, nemogućnost zadržavanja u istom položaju i sl.).
- Treba spomenuti i ograničenje u pogledu rezolucije koje je diktirano mogućnostima projektor-a (u smislu finoće projektovanih linija).



# LINIJSKI GRANIČNI KOD (eng. STRIPE BOUNDARY CODE)

Ovaj kodni sistem je zasnovan na analizi uzastopnih parova linija, pri čemu se svaka kombinacija (kod) pojavljuje samo jednom u okviru projektovanih paterna.

Umesto da tražimo sredinu svake od projektovanih linija, kod ovog kodnog sistema posmatramo granicu između dve uzastopne linije.

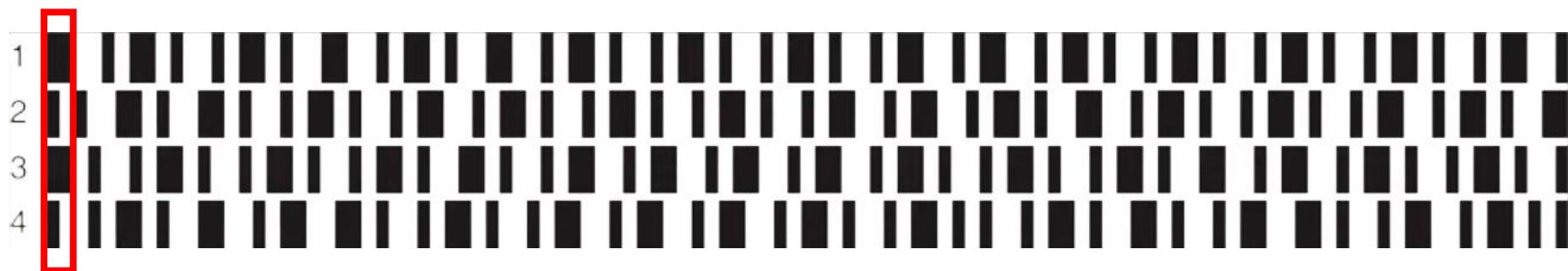


# LINIJSKI GRANIČNI KOD (eng. STRIPE BOUNDARY CODE)

Promena u prvom paru: CRNA-CRNA; CRNA-BELA; CRNA-CRNA;  
CRNA-BELA se pojavljuje samo jednom u celom nizu.

To važi za sve kombinacije svih parova linija.

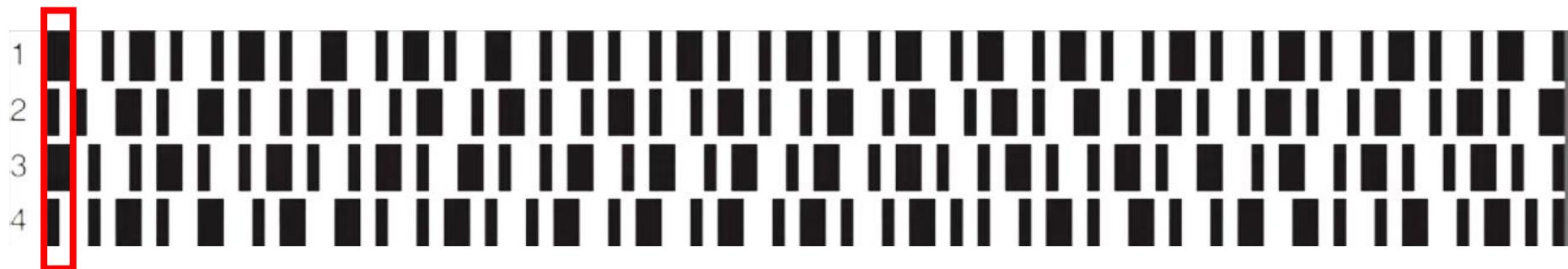
Na osnovu toga senzor „prepoznaje“ koja je koja linija.



# LINIJSKI GRANIČNI KOD (eng. STRIPE BOUNDARY CODE)

U ovom primeru je sa 4 paterna moguće kodirati 112 linija.  
U odnosu na vremenski binarni kod, ovim kodnim sistemom je sa manje paterna moguće kodirati daleko veći broj linija, odnosno 16 naspram 112.

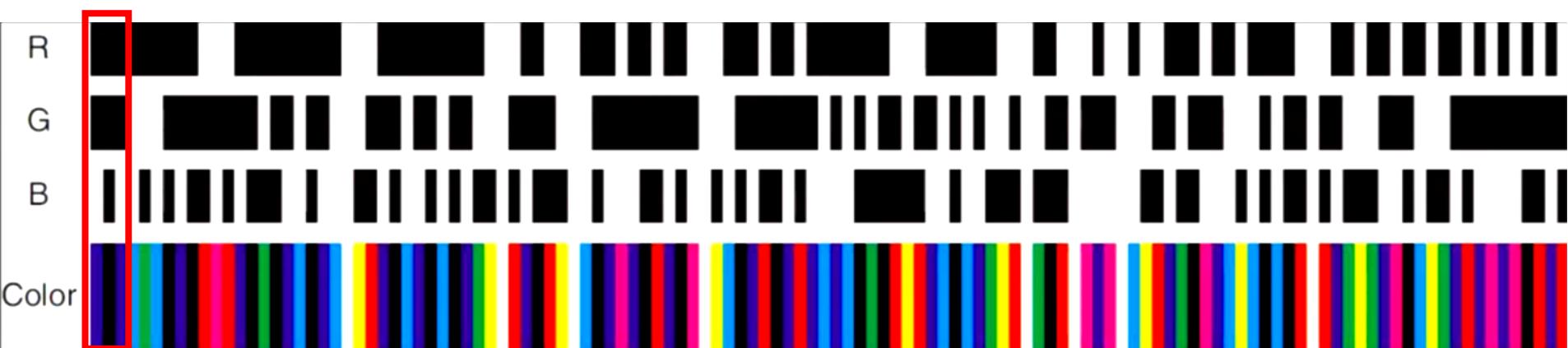
Time se skraćuje vreme skeniranja i povećava tačnost.



## KODIRANJE LINIJA PATERNIMA U BOJI

Slično kao kod prethodnog kodnog sistema i ovde se analizira promena u okviru uzastopnih linija, s tim da se ovde posmatraju 3 linije.

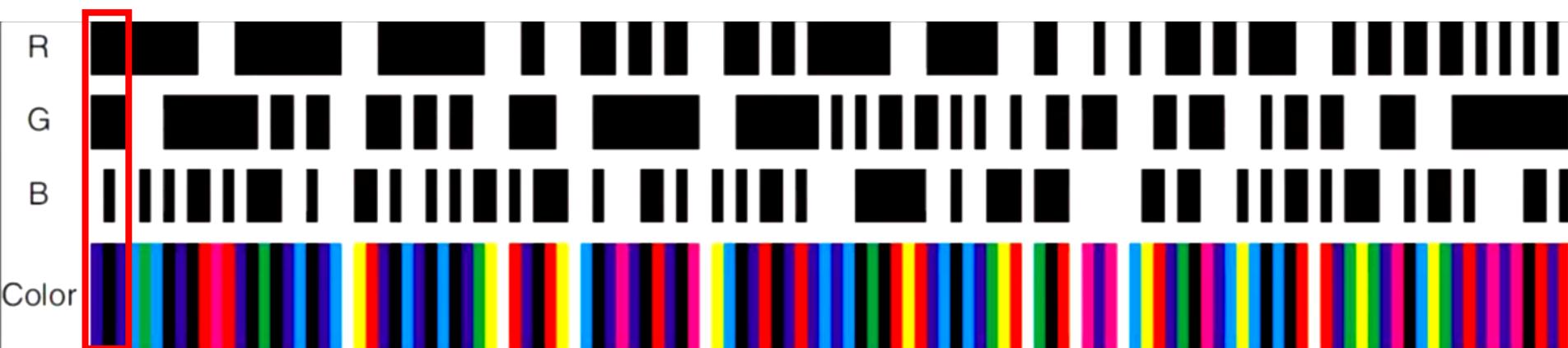
Ovaj kodni sistem omogućava da se na bazi kombinovanja binarnih R, G i B paterna (koji predstavljaju CRVENU, ZELENU I PLAVU boju), formira niz boja u okviru kojeg su svake tri uzastopne promene boja jedinstvene.



# KODIRANJE LINIJA PATERNIMA U BOJI

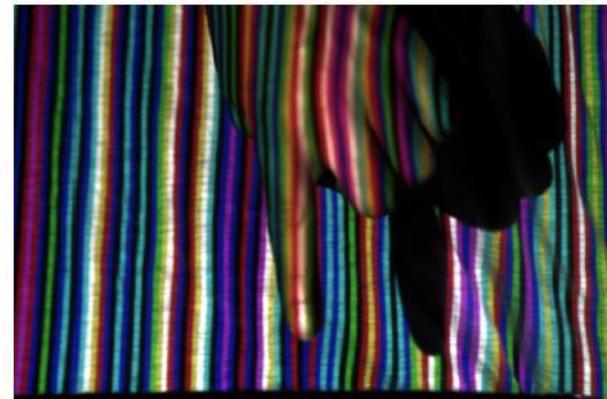
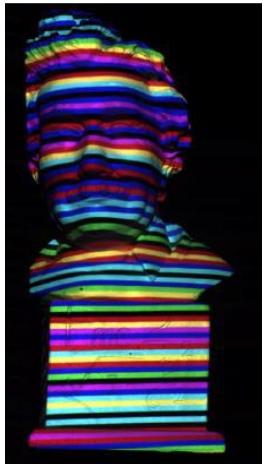
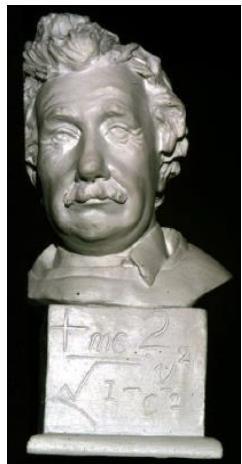
Ovo kodiranje je zasnovano na matematičkom modelu poznatom kao de Bruijn-ova sekvenca.

U primeru na slici promena u prve 3 linije RGB paterna (CRNA-CRNA-CRNA; CRNA-CRNA-CRNA; BELA-CRNA-BELA), generiše TEGET-CRNA-TEGET kombinaciju linija u boji, koja se u čitavom nizu linija u boji (125 linija) pojavljuje samo jedan put.



# KODIRANJE LINIJA PATERNIMA U BOJI

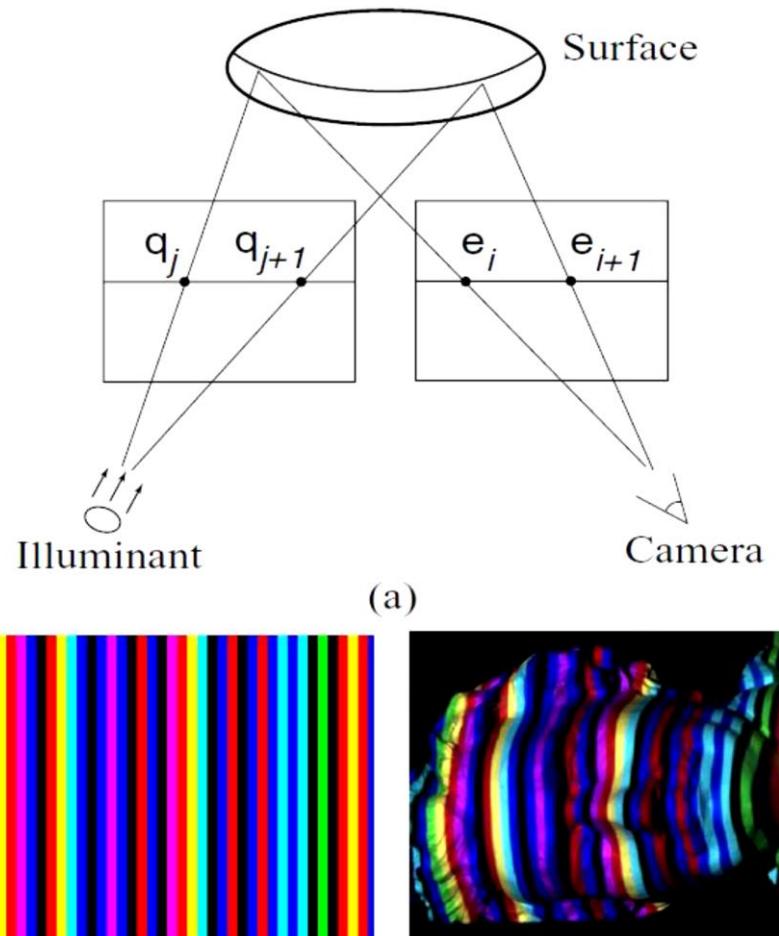
Prednost ovog načina kodiranja je u potrebi za samo jednim paternom („single-shot“ tehnika), čime se skraćuje vreme skeniranja i olakšava 3D digitalizacija živih objekata.



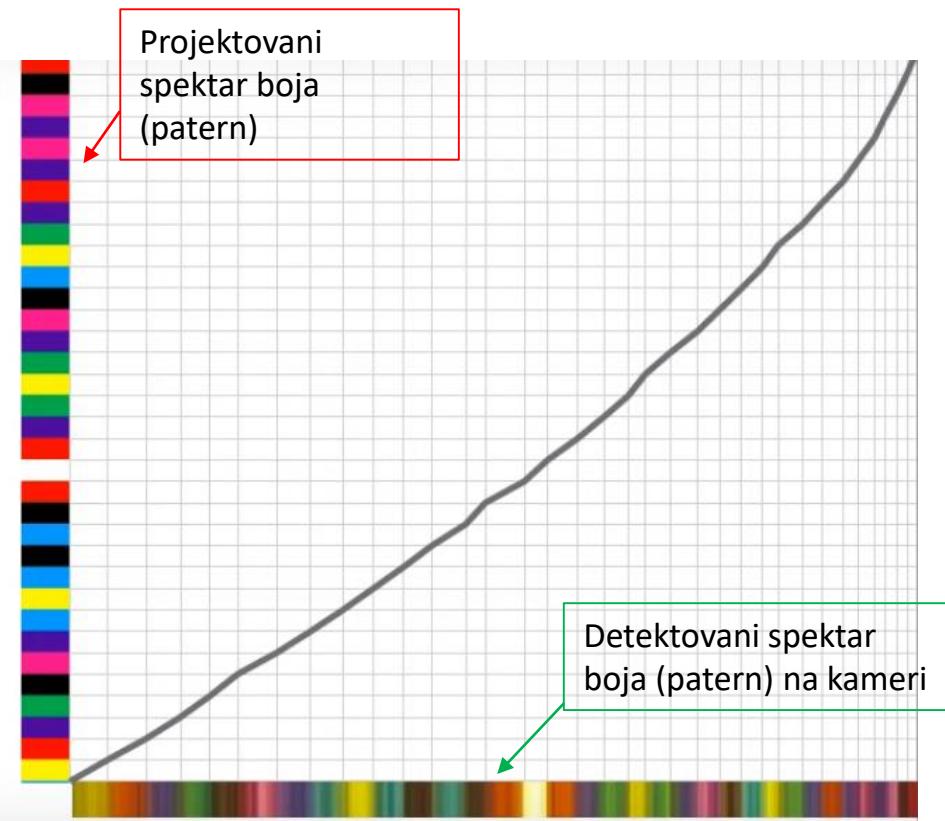
# KODIRANJE LINIJA PATERNIMA U BOJI

Jedan patern u boji može da kodira i do 512 linija.

Projektor projektuje patern u boji na objekat, a kamera (foto osjetljivi senzor) detektuje reflektovani niz boja.

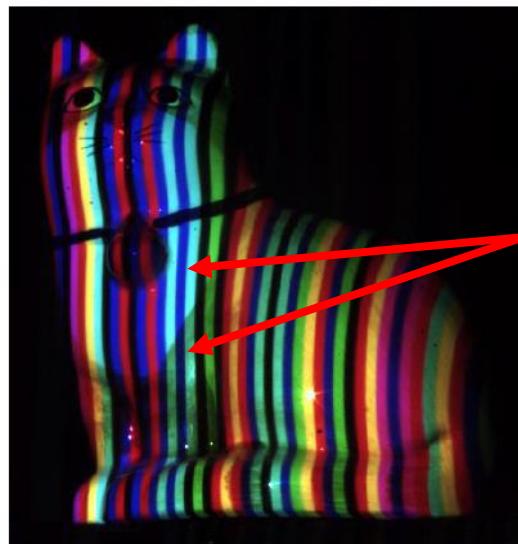


# KODIRANJE LINIJA PATERNIMA U BOJI



# KODIRANJE LINIJA PATERNIMA U BOJI

Nedostatak ovog načina kodiranja se ogleda u osetljivosti na boju površina objekta.



Jedna boja nije ista na svetlim i na tamnim površinama objekta, što može ugroziti tačnost kodiranja.

# KODIRANJE LINIJA PATERNIMA U BOJI

- Patern detektovan na senzoru (tj. kameri) nikada nije oštar i jasan kao projektovani patern.
- Razlog za to je što je površina objekata koji se skeniraju u boji, zbog čega dolazi do promene boje linije na senzoru u odnosu na boju koja je projektovana.
- U tom pogledu su binarni paterni u prednosti, jer je kod njih razlika između crnih i belih linija uvek dovoljno jasna.

# KALIBRISANJE



Kalibracija sistema je neophodan prvi korak koji se, po pravilu, izvodi uz pomoć kalibracionog panela, koji sadrži definisani (poznatu) strukturu geometrijskih entiteta (tačke i krugovi).

# KONSTRUKCIJA – PREDNOSTI PRIMENE 2 KAMERE

