

# Daljinška istraživanja

Daljinška istraživanja (eng. remote sensing) naziv je za skup metoda za prikupljanje informacija o nekom objektu ili pojavi bez fizičkog kontakta s tim objektom.

npr. snimanje Zemlje iz svemira  
dubinsko sondiranje oceana  
praćenje učinka klimatskih promjena na ledenjacima  
nadzor trudnoće

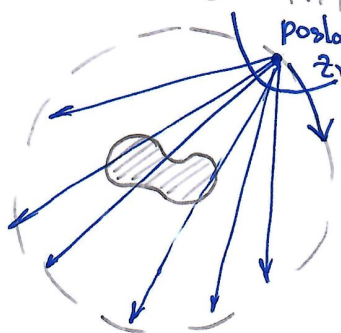
RADAR, LIDAR, MRI, PET, CT

## Tomografija

CAT (computerized axial tomography) ili CT generiramo iz 1000 različitih X zraka, 160 ili više zraka za svaki od 180 različitih smjerova.

Prolaskom X zrake kroz neki medij (mišić, mozak...) dio energije se apsorbira unutar medija (gubitci) a dio dođe na određite i bude detektiran.

Detektiramo intenzitet na drugoj strani



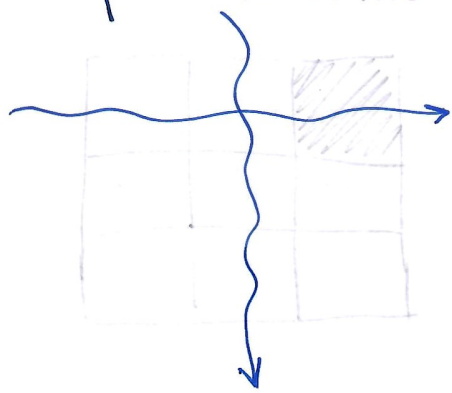
prođemo svih

180° (reciprocnost)

Razlika između intenziteta poslana i primljene zrake govori nam nešto o tome kako medij apsorbira u tom smjeru.

Problem je što smo usrednjili što se događa na liniji.

→ primjer: recimo da analiziramo objekt od 3x3 kvadrata



Crni kvadrati = zrakom prođe kroz njega kao da ništa nije bilo (model recimo zraka)

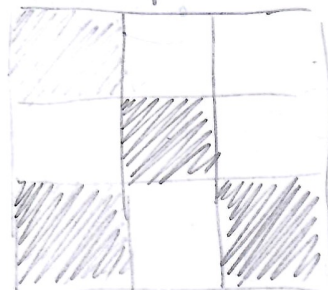
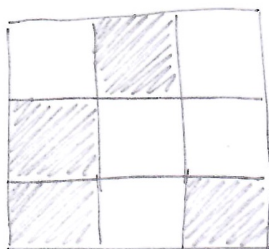
bijeli = apsorbiraju "1 jedinica" energije  
X zraka (npr. model hosti)

odašljemo i primamo X zrake

- 1. Redak = apsorpcija 2 jedinice
- 2. redak = apsorpcija 2 jedinice
- 3. redak = apsorpcija 1 jedinice

- 1. stupac = 1 jedinica
- 2. stupac = 2 jedinice
- 3. stupac = 2 jedinice

Pitanje: Kako izgleda naš objekt?



NE MOŽE OBJEKT ISTOVREMENO IZGLEDATI NA 3 RAZLIČITA NAČINA!

Pravi CT radi isto ovako, ali imamo ne stotine kvadratica koji nisu bijeli ili crni nego sivi.

IDEJA: sakupiti ~~dati~~ informacije od dovoljno X zraka i matematičkim transformacijama rekonstruirati sliku.

⇒ Godfrey Hounsfield, 1979. Noblova nagrada za medicinu za X-ray tomography

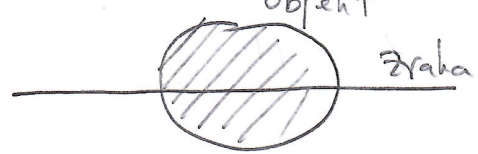
Analiza: idealizirani slučaj

X zrake sačinjene su od fotona monohromatske zrake (svaki foton ima istu energiju  $E$ ) val propagira konstantnom frekvencijom, isti broj fotona/s koji prolazi putanjom

$N(x) = \# \text{ foton/s}$  koji prolazi točkom  $x$

$I(x) = \text{intenzitet}$ ,  $I(x) = E \cdot N(x)$

TD: nema difrakcije, zračenje ima debljinu 0 i ne siri se prilikom propagacije



svaki milimetar objekta apsorbira određenu količinu fotona

⇒ koeficijent  $A(x)$  prigušenja materijala

kost = visok koeficijent

zrak = nizak koeficijent

prigušenja ← voda, negdje između prigušenja

Radioluzi koriste Hounsfieldove jedinice

$$H_{\text{medija}} = \frac{A_{\text{medija}} - A_{\text{vode}}}{A_{\text{vode}}}$$

koeficijent  
prigušenja

zrak	1000
jetra	40-60
zrak	40
mišić	10-40
voda	0
masno tkivo	-100

X zraka prolazi kroz objekt s  
koeficijentom prigušenja  $A(x)$



na intervalu  $[x, x + \Delta x]$  apsorbiralo se  $A(x) \cdot \Delta x \cdot N(x)$   
fotona po sekundi

promjena intenziteta  $\Delta I \approx -A(x) \cdot N(x) \cdot \Delta x \cdot E$

$$\Rightarrow \frac{dI}{dx} = -A(x) \cdot I(x) \quad \text{Beerov zakon}$$

**Beerov zakon:** brzina promjene intenziteta po milimetru za monohromatske X zrake koja prolazi kroz medij proporcionalna je umnošku intenziteta zrake i koeficijenta prigušenja medija

$$\frac{dI}{I} = -A(x) dx \Rightarrow$$

$I(x_0) = I_0$  - znamo što šaljemo  
 $I(x_1) = I_1$  - znamo što smo primili

$$\int_{x_0}^{x_1} \frac{dI}{I} = - \int_{x_0}^{x_1} A(x) dx \Rightarrow \ln\left(\frac{I_1}{I_0}\right) = - \int_{x_0}^{x_1} A(x) dx$$

Inverzni problem

$$- \int_{x_0}^{x_1} A(x) dx = \ln\left(\frac{I_1}{I_0}\right)$$

↑

iz mjerenja možemo odrediti  $\int A$ , a ne sami  $A$  :)  
 obično znamo koeficijente u jednačini, a tražimo rješenje. Ovdje znamo što šaljemo i primamo, ali tražimo koeficijente.

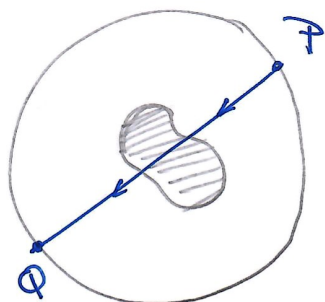
**Što mjerimo:** mjerimo  $I_1$  i  $I_0$  iz čega određujemo  $\int_{x_0}^{x_1} A(x) dx$

**Što želimo znati:** zanima nas  $A(x)$

u 2D to je  $A(x, y)$  jednosaćita materijala

tomos = slika, rez na qčkom

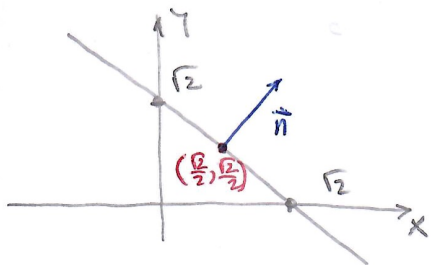
Ključno pitanje: možemo li rekonstruirati  $A(x, y)$  unutar nekog područja, ako znamo  $\int_{\overline{PQ}} A \, dl$ , u srednjem  $A$  po svakoj liniji.



$\mathcal{D}A =$  Radonova transformacija

Praktičan problem = rekonstrukcija iz konačnog broja zraka

Za  $t, \theta$  realne brojeve  $l_{t, \theta}$  je linija koja prolazi kroz točku  $(t \cos \theta, t \sin \theta)$  i okomita je na  $\vec{n} = \langle \cos \theta, \sin \theta \rangle$



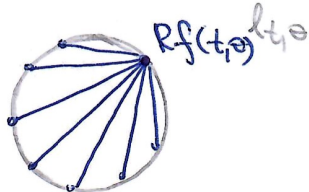
$$x + y = \sqrt{2} \quad \vec{n} = (1, 1) \Rightarrow \hat{n} = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{\sqrt{2}}\right) = \left(\frac{\sqrt{2}}{2}, \frac{\sqrt{2}}{2}\right)$$

$\Rightarrow \theta = \frac{\pi}{4}$  i pravac prolazi točkom  $\left(\frac{\sqrt{2}}{2}, \frac{\sqrt{2}}{2}\right)$

$x + y = \sqrt{2}$  ima reprezentaciju  $l_{\sqrt{2}, \frac{\pi}{4}}$

$$l_{t, \theta + 2\pi} = l_{t, \theta} \quad l_{t, \theta + \pi} = l_{t, \theta}$$

$$(Rf)(t, \theta) := \int_{l_{t, \theta}} f \, dl$$



funkcija  $f$  generira novu funkciju  $Rf$  koja ovisi o  $(t, \theta)$

# RADAR

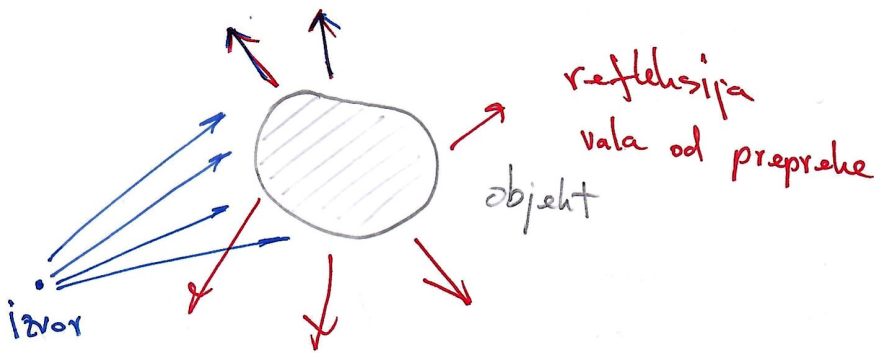
Radio Detection And Ranging = detektiranje objekata i određivanje njihovog položaja korištenjem odjeka.

"Radar je kao i baterijska lampa. Kada ga upalimo i usmjerimo negdje, vidimo one objekte koji reflektiraju svjetlost."

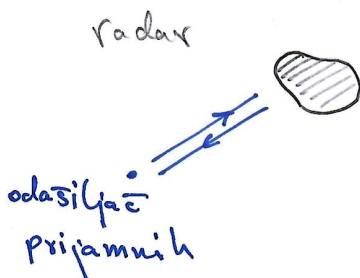
Proces detekcije:

- 1) odašiljanje mikrovlna velike energije
  - 2) detekcija mikrovlna
  - 3) interpretacija informacije sadržane u primljenom valu
- karakterski dio dobrim dijelom riješeno
- matematika, obrada signala, numerika, algoritmi
- puno otvorenih problema

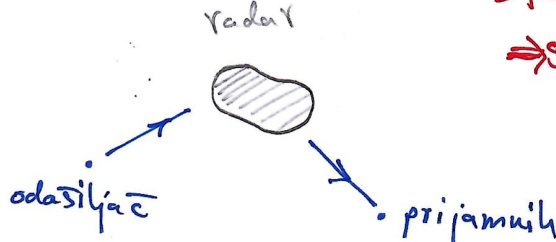
## RASPRSENJE



Monostatički

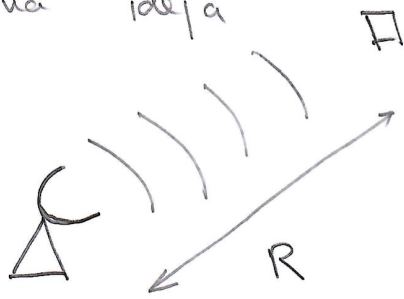


Bistatični



Stealth tehnologija  
⇒ smanjiti back scattering

## Osnovna ideja

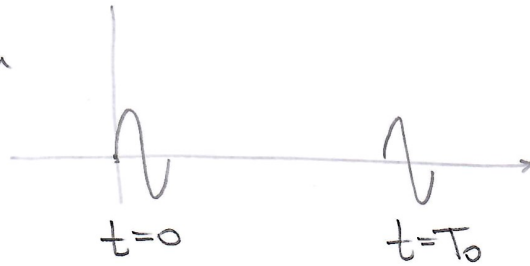


odražujemo EMV i mijesimo  
reflektirani signal



dobijemo vremensku varijaciju  
polja na prijamoj anteni

impuls putuje brzinom  $c$   
i reflektira se od objekta  
na udaljenosti  $R$



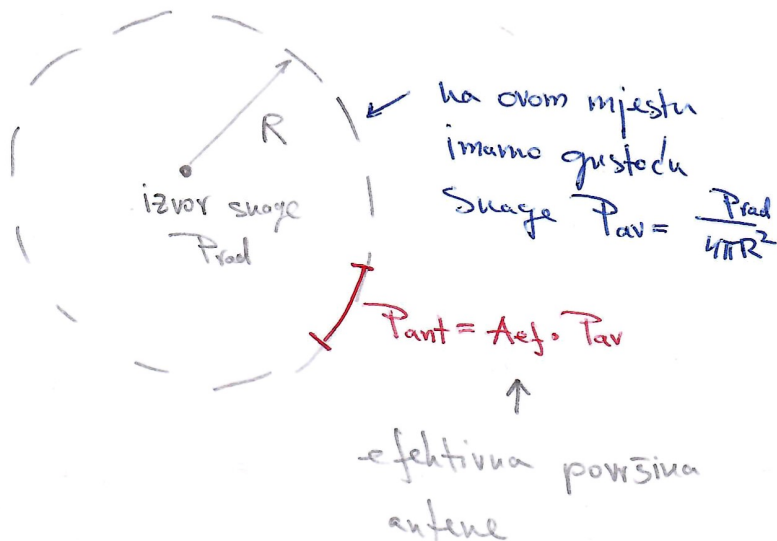
$$cT_0 = 2R$$

$$R = \frac{cT_0}{2}$$

osnovni princip rada  
radara

**Antena:** objekt kojim odašiljemo ili prihvaćamo EM energiju  
i prostora. Radi tako da u njoj generiramo  
vremenski promjenjivu struju koja zatim generira  
električno i magnetsko polje (vremenski promjenjivo)

⇒ ZRAČENJE



$A_{ef}$  je otvor blende kod  
fotoaparata. Veći otvor  
blende ⇒ više svjetla  
na senzoru

- Uсредnjena izračena snaga po stupnju prostornoj kutu

$$P_{\text{rad}} = \int_S P_{\text{av}} R^2 ds \Rightarrow U(\theta, \phi) = P_{\text{av}} \cdot R^2 \quad [U] = \frac{W}{m^2}$$

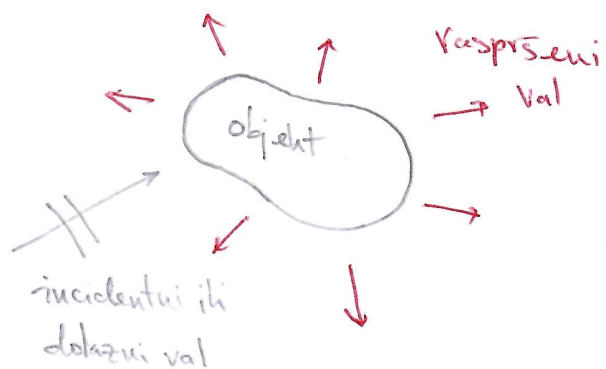
- Usmjerenost :  $D(\theta, \phi) = \frac{U(\theta, \phi)}{\frac{P_{\text{rad}}}{4\pi}}$ 
  - ↑
  - Snaga zračenja
  - usrednjena izračena snaga

bezdimenzionalna veličina,  
ovisi o kutu

$D=1$  za izotropni radiator

$$A_{\text{ef}} = \frac{\lambda^2}{4\pi} D(\theta, \phi)$$

### Raspršenje EMV-a



Na mjestu objekta imamo gustocu snage  $P_i$ ,  $[P_i] = \frac{W}{m^2}$

RCS ili radarški presjek  $\sigma =$  ekvivalentna površina objekta  
To nije stvarna površina objekta nego mjera koja uzima u obzir veličinu i reflektivnost objekta,  $[\sigma] = m^2$

⇒ manji objekti koji jače reflektiraju dolazni val mogu imati veći RCS od velikih, ali slabo reflektirajućih objekata

- Objekt prima snagu  $\sigma P_i$  i to odašilje natrag u obliku raspršenog vala. Recimo da sve uniformno pošalje natrag pri ja mniku

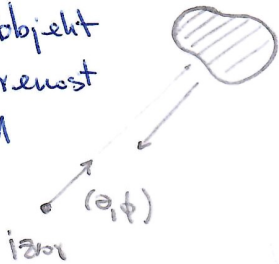
$$P_s = \frac{\sigma P_i}{4\pi R^2}$$

Snaga iz reflektivnog vala  
nahag na mjestu prijama

$$\Rightarrow \sigma = 4\pi R^2 \frac{P_s}{P_i}$$

Bolji model možemo dobiti ako ubacimo usmjerenost.

Recimo da objekt  
ima usmjerenost  
jednaku 1



$$P_i = \frac{P_{\text{rad}}}{4\pi R^2} D_t(\theta, \phi)$$

$$P_s = \frac{\sigma \frac{P_{\text{rad}}}{4\pi R^2} D_t(\theta, \phi)}{4\pi R^2} = \frac{\sigma P_{\text{rad}}}{(4\pi R^2)^2} D_t(\theta, \phi)$$

reflektivna snaga na mjestu prijama  
antene (snaga u raspršenom valu)

Snaga na prijama = efektivna površina  $\cdot P_s$

$$P_r = A_{\text{ef}} P_s = \frac{\lambda^2}{4\pi} D_r \cdot \frac{\sigma P_{\text{rad}}}{(4\pi R^2)^2} D_t$$

$$\Rightarrow \frac{P_r}{P_{\text{rad}}} = \frac{\sigma \lambda^2}{(4\pi)^3 R^4} D^2 = \frac{\sigma A_{\text{ef}}}{4\pi \lambda^2 R^4}$$

~~Najbolji je taj niži faktor je  
kvalitet~~

$$\sigma = 4\pi \frac{P_r}{P_{\text{rad}}} \frac{R^4 \lambda^2}{A_{\text{ef}}^2}$$

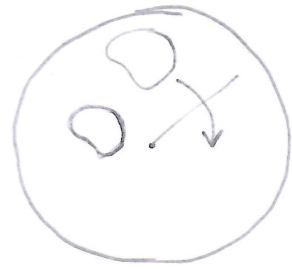
↑  
veća efektivna površina  
antene  $\Rightarrow$  manje objekte  
možemo detektirati

# Real - Aperture Imaging

Koristimo antenu s ushom laticom i sheniramo odredeno podruclje

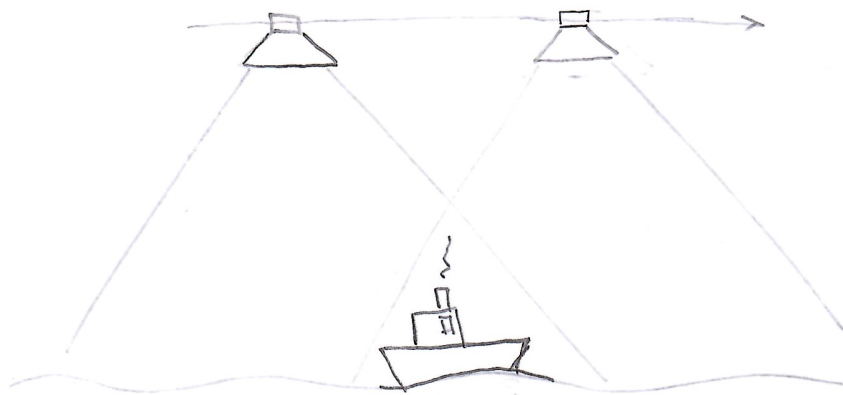
PPI - plan position indicator

šaljemo i primamo kratki impuls



# SAR (Synthetic-Aperture-Radar)

Montiramo odašiljač i prijamnik na objekt koji se kreće. Antena se giba po trajektoriji gibanja satelita/aviona te odašilje EM val i prima raspršeni val ⇒ dolazi do prividnog povećanja efektivne površine antene



objekt koji  
širujemo

## SAR

- US Department of Defense
- University of Michigan
- University of Illinois
- Goodyear Aircraft

1960. NASA

1978. SEASAT, radio lociranje

Imamo sintetičku površinu ⇒ povećanje efektivne površine antene ⇒ veća osjetljivost

$$\sigma = 4\pi \frac{P_r}{P_{\text{rod}}} \frac{R^4 \lambda^2}{A_{\text{of}}^2}$$

SAR na satelitima =  $A_{\text{of}}$  može biti par kvadratnih kilometara