



Univerzitet u Beogradu
Građevinski fakultet
www.grf.bg.ac.rs

Studijski program: OAS GEODEZIJA i OAS GEOINFORMATIKA

Godina: II godina (III semestar)

OSNOVE FOTOGRAMETRIJE I DALJINSKE DETEKCIJE

1

- Uvodno predavanje -

doc. dr Jovan Kovačević mast. inž. geod.

TERMINI I DEFINICIJE

- **Fotografija/snimak** podrazumeva registrovanje EM zračenja radi kreiranje slike. To može biti realizovano koristeći emuliziju filma ili digitalnim senzorima.
- **Fotogrametrija** je umetnost ili nauka dobijanja pouzdanih merenja pomoću fotografija (American Society of Photogrammetry, 1952; 1966).
- **Fotografska interpretacija** je čin ispitivanja fotografskih slika radi identifikacije objekata i određivanja njihovog značaja.
- **Daljinska detekcija** je merenje ili određivanje korisnih informacija o objektu, području ili fenomenu kroz analizu podataka dobijenih uređajem koji nije u kontaktu sa objektom, područjem ili fenomenom koji se istražuje (*American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*).
- **Fotogrametrija i daljinska detekcija** predstavlja umetnost, nauku i tehnologiju za dobijanje pouzdanih informacija o objektima realnog sveta i okruženju kroz proces snimanja, merenja i interpretacije fotografskih slika i uzoraka registrovanog zračenja elektromagnetske energije beskontaktnim senzorskim sistemima (*ASPRS 1988*).

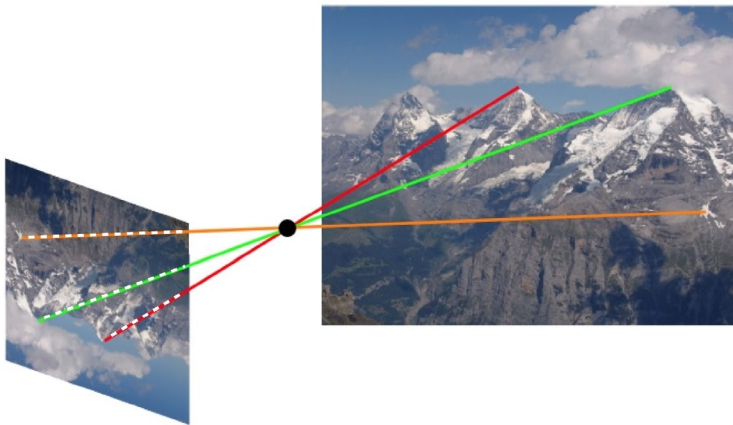
TERMINI I DEFINICIJE

- Metoda merenja kojom se rekonstruiše položaj i oblik snimljenog objekta.
- Metoda daljinskog opažanja objekata i prostora radi utvrđivanja metričkih (kvantitavnih) i opisnih (kvalitativnih) podataka .
- Naziv „**daljinska detekcija**“ je slobodni prevod engleskog termina *Remote Sensing*.
- U francuskoj literaturi ovaj termin se prevodi kao *Teledetection*
- U nemačkoj literaturi ovaj termin se prevodi kao *Fernerkundung*.
- U domaćoj literaturi javljaju se nazivi „daljinska opažanja“, „daljinska istraživanja“, „teledetekcija“, „daljinski metodi“ i slično.
- U ovom materijalu biće korišćen termin „daljinska detekcija“, koji je i u nazivu predmeta.

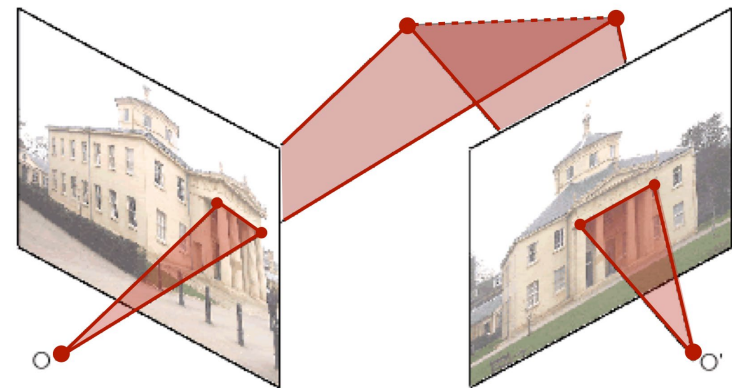


TERMINI I DEFINICIJE

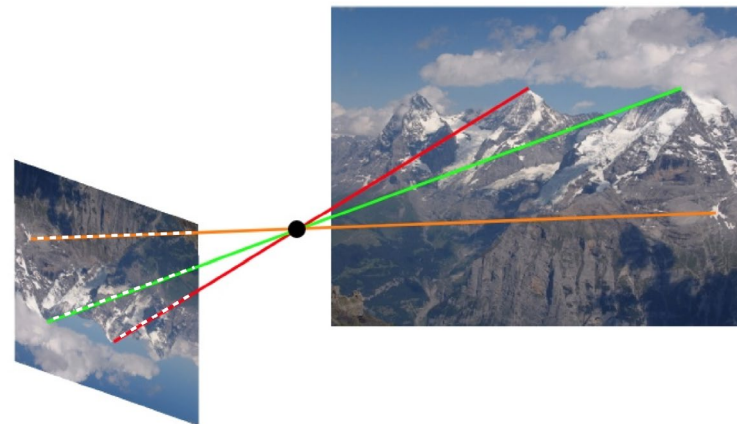
- Termin „**fotogrametrija**“ je direktan prevod engleskog termina *Photogrammetry*, odnosno nemačkog i francuskog *Fotogrammetrie*.
 - „*photos*“ – svetlost,
 - „*gramma*“ – crtanje,
 - „*metron*“ – merenje,
 - Fotogrametrija = merenje/crtanje pomoću svetlosti (fotografija/snimak)



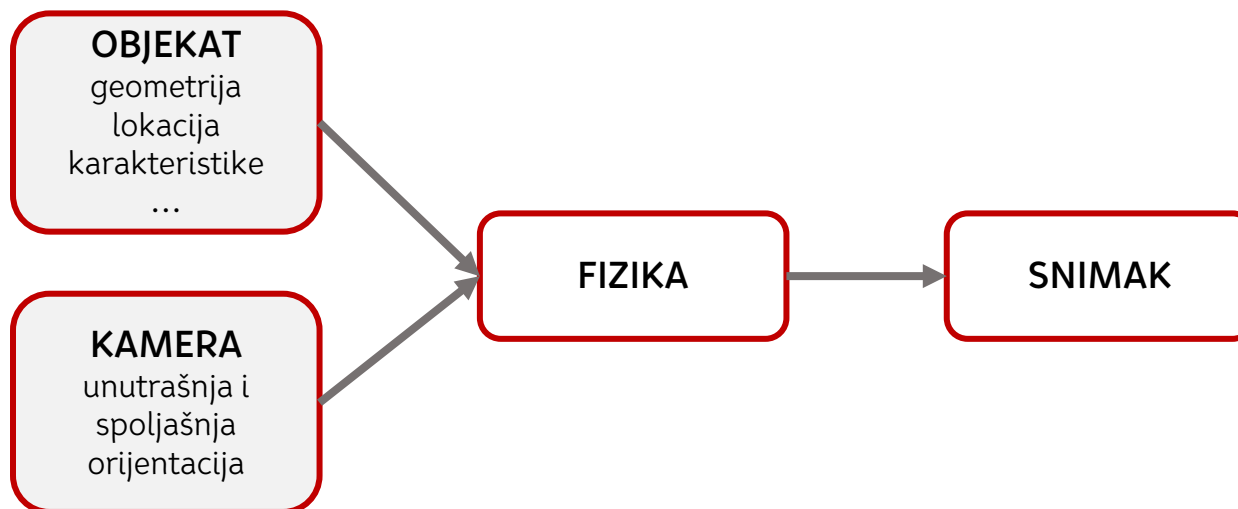
Detalj na fotografiji/snimku definiše zrak do tačke objekta



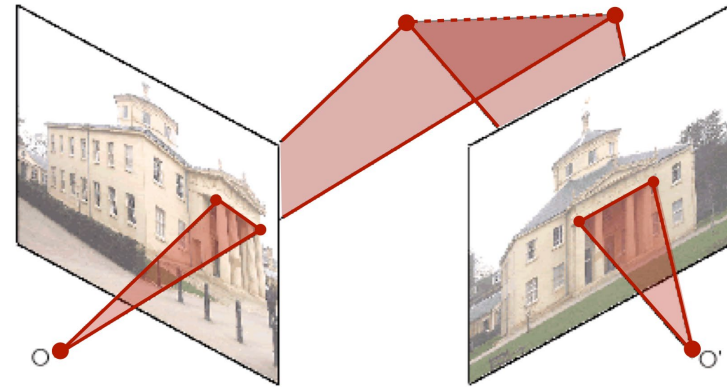
Višestruka posmatranja iz različitih pravaca omogućavaju određivanje 3D lokacije tačaka putem triangulacije



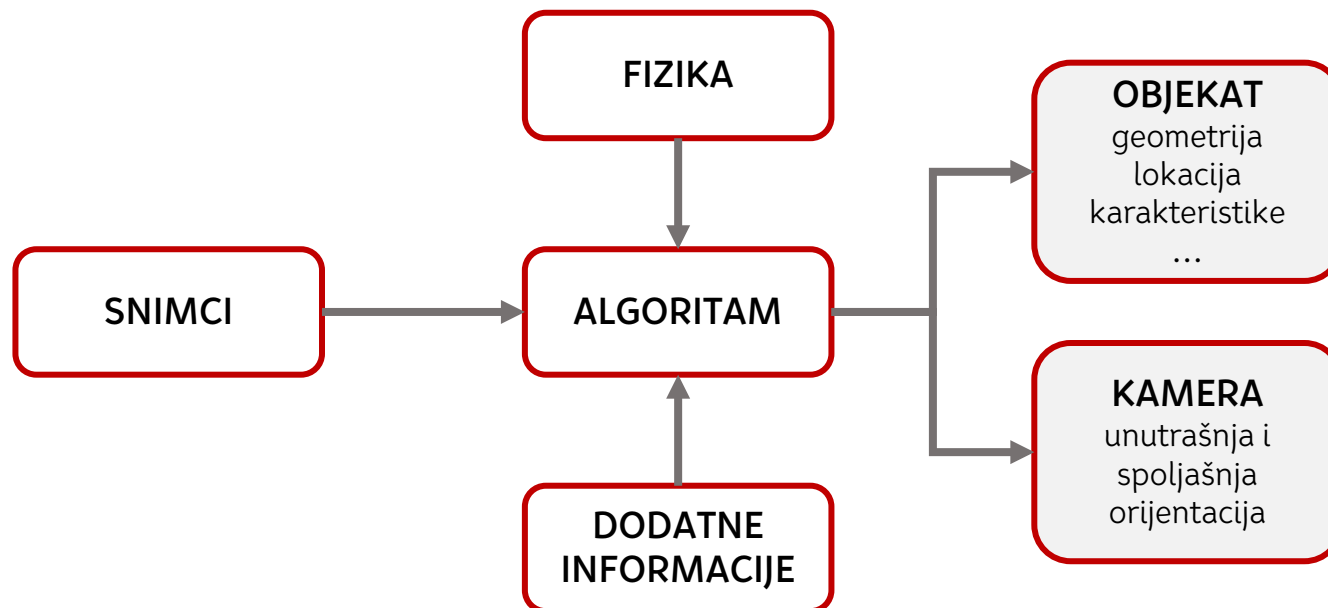
Detalj na fotografiji/snimku definiše zrak do tačke objekta



INVERZNO MAPIRANJE



Višestruka posmatranja iz različitih pravaca omogućavaju određivanje 3D lokacije tačaka putem triangulacije



ODNOS FOTOGRAMETRIJE I DALJINSKE DETEKCIJE

- Mišljenja stručnjaka se kreću od toga da je reč o jednoj naučnoj disciplini, do toga da je reč o dvema potpuno odvojenim naučnim disciplinama.
- Obe discipline koriste iste polazne pretpostavke – snimanje udaljenog objekta bez direktnog kontakta.
- Fotogrametrija obuhvata merenje fotografija (analognih ili digitalnih) radi rekonstrukcije objekta i analizu njegovih karakteristika bez fizičkog kontakta sa njim. Sticanje informacija o površini Zemlje na ovaj način danas je poznato i kao daljinska detekcija.
- Fotogrametrija ravnopravno tretira objekte na svim udaljenostima, od bliskih ciljeva kao što su primene u medicini, arhitekturi, arheologiji itd, pa do aerofotogrametrijskog snimanja sa velikih visina.
- Daljinska detekcija se bavi jednim jedinim objektom – Zemljinom površinom. Njenom istraživanju može se prići sa različitih aspekata. U šumarstvu su istraživanja usmerena na vegetacioni pokrivač, u poljoprivredi na pedološki sloj i rasprostiranje različitih kultura, u hidrologiji na snežni pokrivač i raspored voda, u geologiji na utvrđivanje geološke građe određenog terena.

OSNOVNE RAZLIKE IZMEĐU FOTOGRAMETRIJE I DALJINSKE DETEKCIJE

- Dok daljinska detekcija uključuje onaj deo fotogrametrije koji se bavi Zemljinom površinom, ako je preovlađujući interes u geometrijskim karakteristikama, govori se o fotogrametriji, a ne o daljinskoj detekciji.
- Fotogrametrija pokriva tradicionalne tehnike snimanja (bliskopredmetno – aerofotogrametrijsko, fotografsko – digitalno, pasivni senzori) i fokusirana je na čoveka kao osnovno sredstvo u interpretaciji snimaka.
- Daljinska detekcija koristi isključivo digitalnu tehniku snimanja (aktivne i pasivne senzore) i fokusirana je na tehnike automatske, računarski podržane, interpretacije.
- U konvencionalnim geodetskim primenama, i fotogrametrija i daljinska detekcija su usmerene na prikupljanje prostornih podataka koji se odnose na reljef i topografiju terena, pri čemu se opseg tačnosti kreće od centimetarske tačnosti koja se može dobiti fotogrametrijom, pa do metarske i dekametarske tačnosti koja se može dobiti daljinskom detekcijom.

ODNOSI SA DRUGIM TEHNIČKIM DISCIPLINAMA

- Fotogrametrija je nastala za potrebe geodetskog merenja i deo je **geodetskog inženjerstva**.
- Fotogrametrija i daljinska detekcija prilikom obrade koriste **digitalnu obradu slike**.
- Intenzivno se oslanjaju i koriste **veštačku inteligenciju** i **tehnike mašinskog učenja**.
- Digitalna fotogrametrija je snažno povezana sa **računarskim gledanjem** (engl. *computer vision*) i **robotikom**.

PREDNOSTI

- Raznovrsni rezultati – grafički dokumenti, fotografski dokumenti, opisni podaci (atributi), numerički podaci (koordinate, vektorski podaci u digitalnom obliku).
- Velike mogućnosti automatizacije prikupljanja i obrade informacija sa snimaka, pa i u realnom vremenu.
- Visok raspon tačnosti (razmere) 0.1 mm do nekoliko metara (bliskopredmetna, aerofotogrametrija, satelitska fotogrametrija, daljinska detekcija,...).
- Razrađena tehnologija sa brojnim oblastima primene (duga tradicija).
- Velika pouzdanost – objektivna registracija svih informacija na snimku (fotografija nije subjektivna).
- Jednostavna mogućnost naknadnih merenja sa snimaka, ako se ukaže potreba (praćenje promena).
- Široka spektralna osetljivost (Infrared, termalno i drugi opsezi elektromagnetnog zračenja).

PREDNOSTI

- Tehnologija posebno pogodna za dobijanje informacija o objektima u sledećim situacijama:
 - Radi se o prikupljanju velike količine informacija i velikom području;
 - Objekti koje treba snimiti su izrazito nepravilnog oblika;
 - Objekti koje treba snimiti su pokretni;
 - Geometrija objekata koji se snimaju se menja;
 - Objekti imaju prenisku ili previsoku temperature, osetljivi su na dodir, nepristupačni, toksični, radioaktivni i slično;
 - Objekti se nalaze u okruženju koje ne dozvoljava pristup ili duže zadržavanje.

MANE I NEDOSTACI

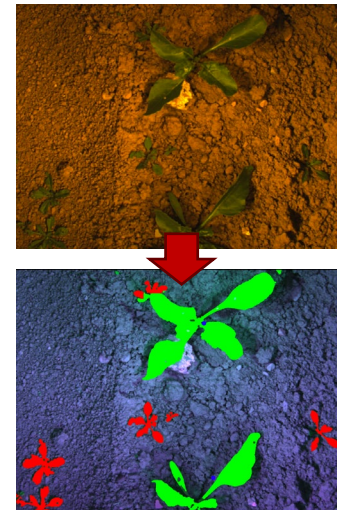
- Kamere i senzori registruju intenzitet zračenja samo iz određenih pravaca
- Prepreke i vizuelna ograničenja
- Svaki snimak je projekcija trodimenzionalnog sveta u 2D ravan
- Drugim tehnikama je moguće postići više tačnosti

PODELA - TIP OBRADE

- **Metrički** – dobijanje preciznih merenja sa fotografija i drugih izvora
- **Interpretativni** – prepoznavanje i identifikacija objekata i donošenje suda o njihovom značaju kroz pažljivu i detaljnu interpretaciju (fotointerpretacija i daljinska detekcija)



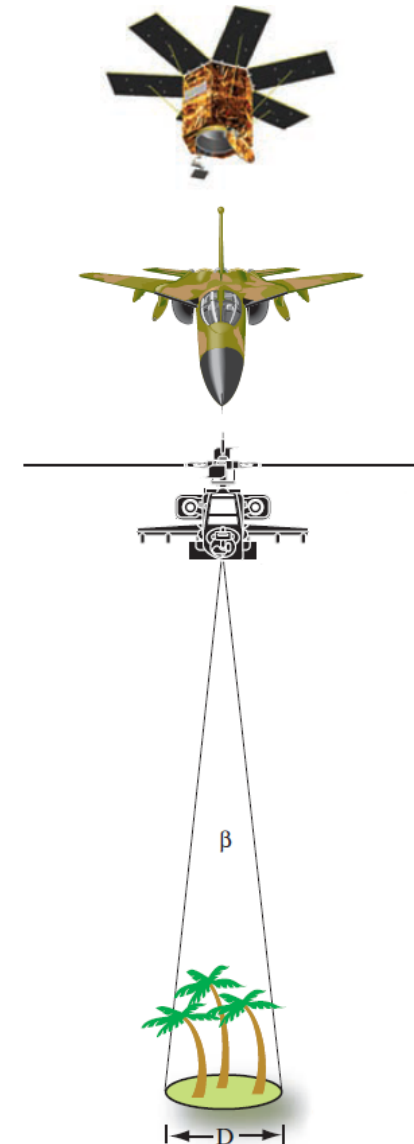
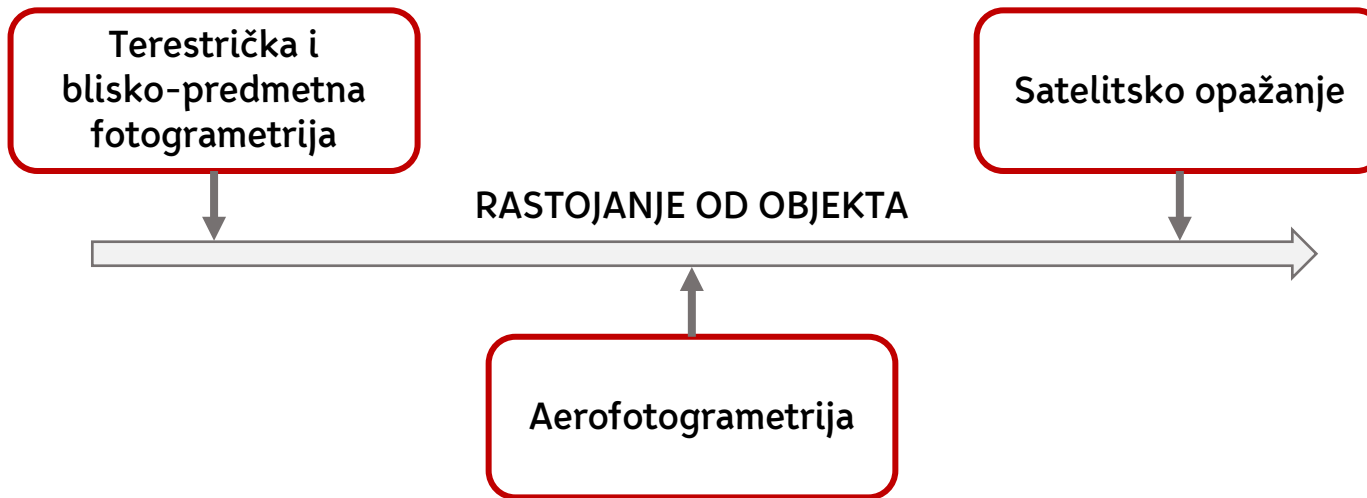
Određivanje geometrije
objekta



Interpretacija

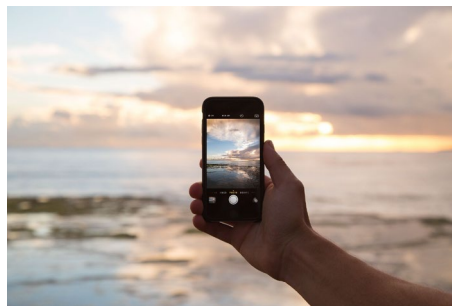
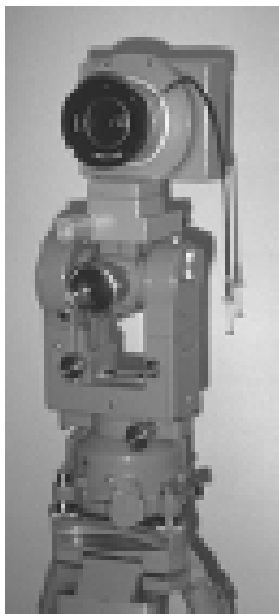
PODELA - RAZMERA SNIMANJA

- **Terestrička i blisko-predmetna fotogrametrija** (platforma za snimanje na zemlji)
- **Aerofotogrametrija** (letelice – avioni, helikopteri i bespilotne letelice kao platforme za snimanje)
- **Satelitsko opažanje** (platforma za snimanje Zemljin veštački satelit)



PODELA - RAZMERA SNIMANJA

- Terestrička i blisko-predmetna fotogrametrija



UVODNO PREDAVANJE



PODELA - RAZMERA SNIMANJA

- Terestrička i blisko-predmetna fotogrametrija



PODELA - RAZMERA SNIMANJA

- Aerofotogrametrija



UVODNO PREDAVANJE

PODELA - RAZMERA SNIMANJA

- **Aerofotogrametrija**

Vertikalni snimci (osa snimanja vertikalna)



Kosi snimci (osa snimanja kosa)

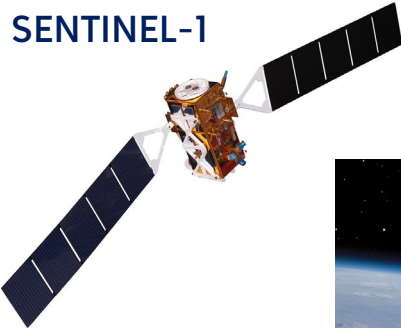


UVODNO PREDAVANJE



PODELA - RAZMERA SNIMANJA

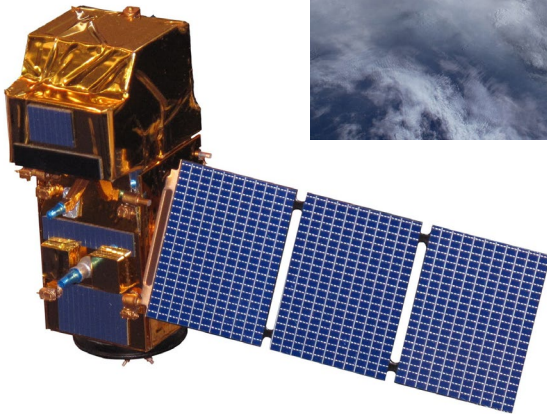
- Satelitsko opažanje



SENTINEL-5



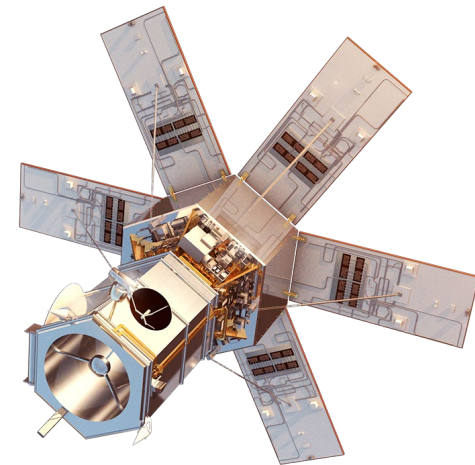
SENTINEL-2



LANDSAT 8,9



WORLDVIEW-4



UVODNO PREDAVANJE

PODELA - RAZMERA SNIMANJA

- Satelitsko opažanje

SENTINEL-1



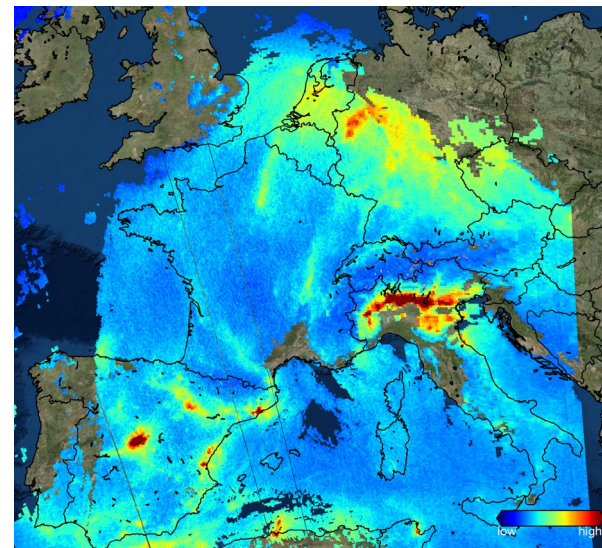
SPOT



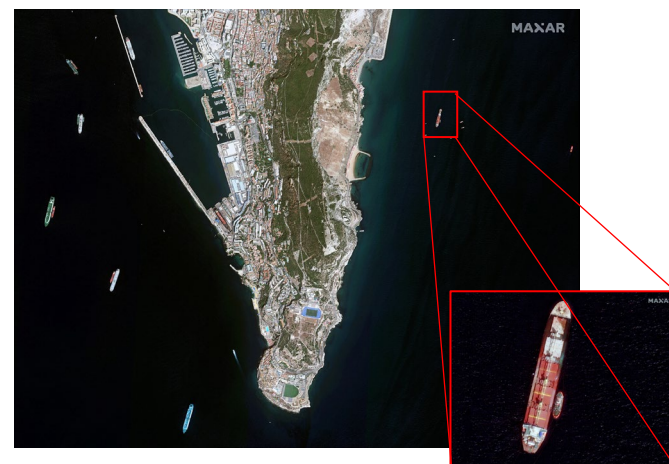
SENTINEL-2



SENTINEL-5P



WORLDVIEW-4



PODELA - TEHNOLOGIJA OBRADJE

- **Analogna fotogrametrija** - koristi optičke, mehaničke i elektronske komponente, a slike su u analognom obliku. Formira se 3D model za merenje u 3D prostoru
- **Analitička fotogrametrija** - 3D modeliranje je matematičko - ne kreira se 3D model a sva merenja se izvode nad 2D slikama u analognom obliku
- **Digitalna fotogrametrija** - analitička rešenja se primenjuju nad digitalnim slikama. Mogu se primenjivati i tehnike kompjuterskog gledanja i tehnike digitalne obrade slike.

PODELA - BROJ SNIMAKA

- **Pojedinačni snimak** - ortorektifikacija
- **Par snimaka** - stereorestitucija
- **Blok snimaka** - blokaerotriangulacija, pa zatim stereorestitucija pojedinačnih stereoparova

OBLASTI PRIMENE S OBZIROM NA SPECIFIČNOST TEHNOLOGIJE OBRADE

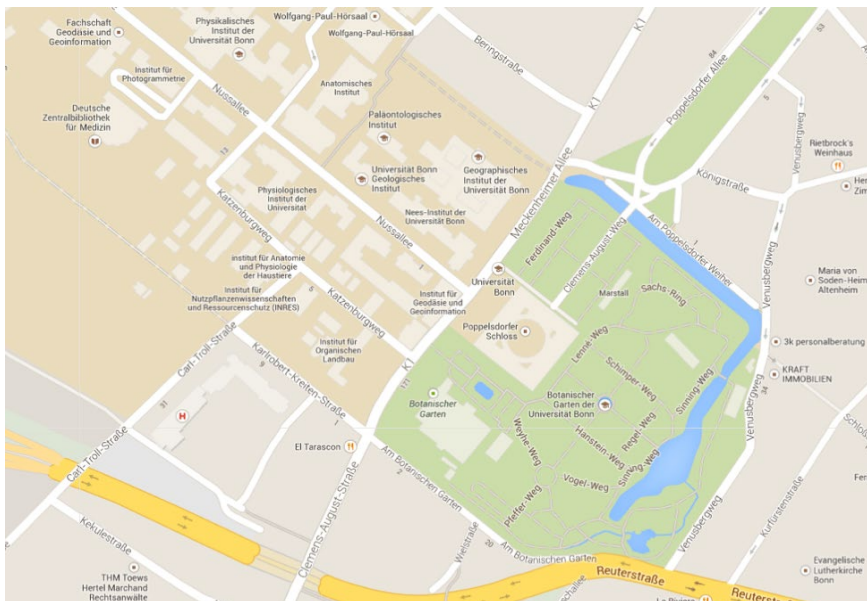
- **Topografska i tematska kartografija** - Sve razmere kartografskih podloga od 1:500 do 1:250000; Osnovna tehnika snimanja je aerofotogrametrijska ili satelitska; Tradicionalna oblast primene; Sve topografske podloge sitnijih razmera od 50-tih godina prošlog veka isključivo su nastale primenom aerofotogrametrijske metode;
- **Katastarski premer** - Koristi se isključivo aerofotogrametrijska metoda; Otežavajuća okolnost je potreba za fotosignalizacijom granica poseda i snimanje u rano proleće: Razmere snimanja su u opsegu od 1:4500 do 1:12000;
- **Geografski informacioni sistemi** - Oblast geoinformatike u kojoj fotogrametrija igra veoma važnu ulogu; Vrlo brzo i efikasno prikupljanje velike količine podataka za inicijalno uspostavljanje GIS-a; Klasične fotogrametrijske tehnike koriste se za oblast krupnih razmera, a tehnike daljinske detekcije za oblast sitnih razmera; Koriste se isključivo digitalni produkti u vektorskom ili rasterskom obliku;

OBLASTI PRIMENE S OBZIROM NA SPECIFIČNOST TEHNOLOGIJE OBRADE

- **Digitalni model terena (DMT)** - Tesno je povezan sa topografskim premerom; Osnovna tehnika snimanja je aerofotogrametrijska; Produkt koji je nastao 80-tih godina kao rezultat prelaska na digitalni način prikupljanja podataka u fotogrametriji; Danas je DMT obavezan produkt koji se po pravilu izrađuje uz svaki topografski premer primenom fotogrametrijske metode; LiDAR, InSAR su nove tehnike za prikupljanje DMT podataka;
- **Bliskopredmetna fotogrametrija** - Obuhvata najrazličitije primene fotogrametrije u oblasti bliskih ciljeva (od 1 m do 100 m); Za snimanje se koriste specijalne kamere konstruisane za snimanje iz ruke, stativa, ili specijalno pripremljenih platformi i nosača; Kamera je po pravilu nepokretna, pa se za snimanje koriste različite dispozicije; Najčešći korisnici: arhitektura, zaštita spomenika kulture, arheologija, sudska i policijska praksa, inženjerstvo, medicina itd;
- **Merenje amaterskih snimaka** - Veoma atraktivan oblast primene koja fotogrametriju povezuje sa najširim populacijom stanovništva; Sve vrste amaterskih snimaka mogu biti predmet merenja: negativ film, pozitiv film, fotografija, digitalni snimak, novinska fotografija, video snimak i sl; Najčešći korisnici: sudska i policijska praksa, osiguravajuća društva, zaštita spomenika kulture i sl;

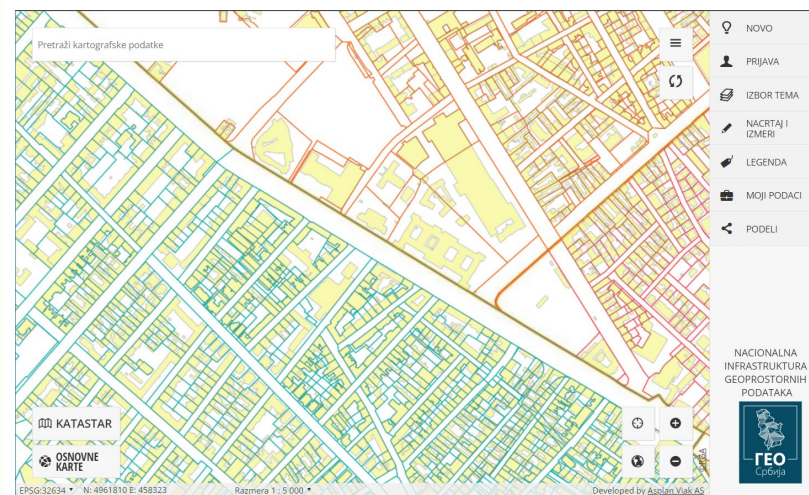
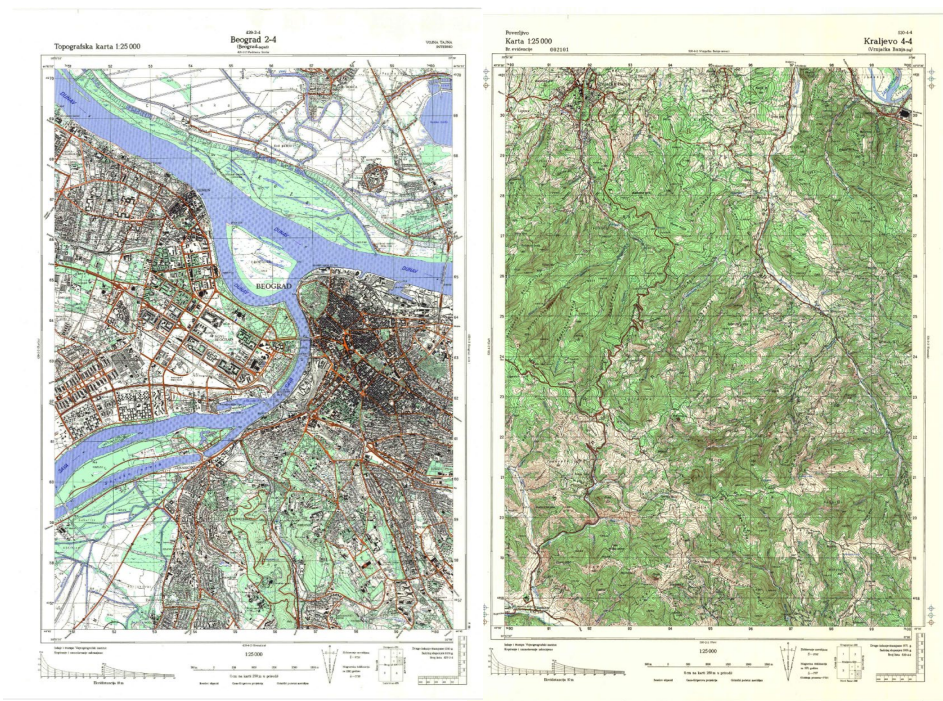
PRIMENE

- Topografska i tematska kartografija (analogne i digitalne vektorske karte, ortofoto karte)
- Katastarske primene
- GIS (izrada prostornih baza podataka)



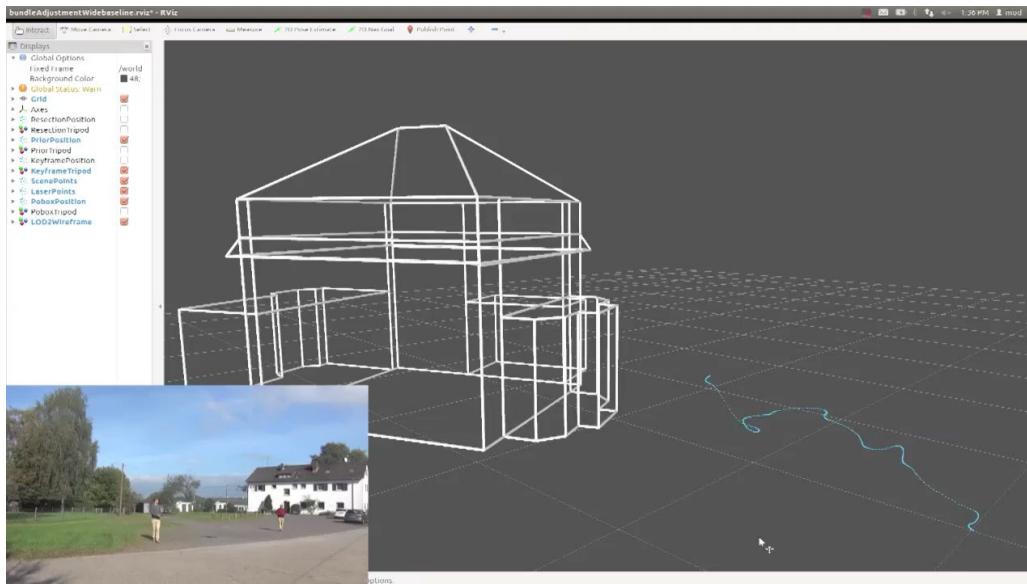
PRIMENE

- Topografska i tematska kartografija (analogne i digitalne vektorske karte, ortofoto karte)
- Katastarske primene
- GIS (izrada prostornih baza podataka)



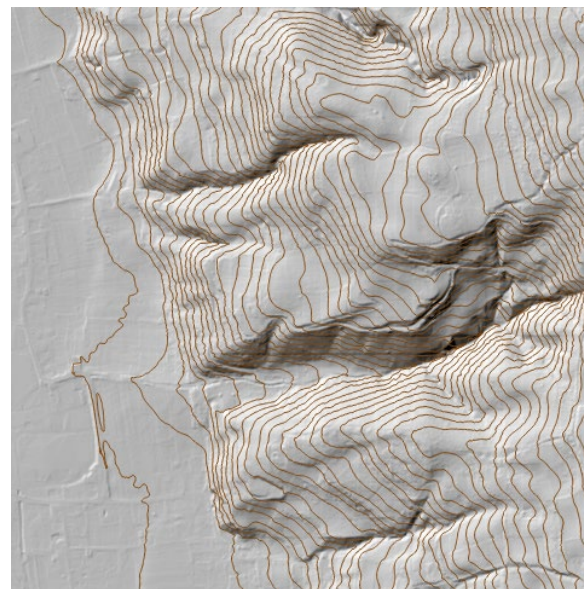
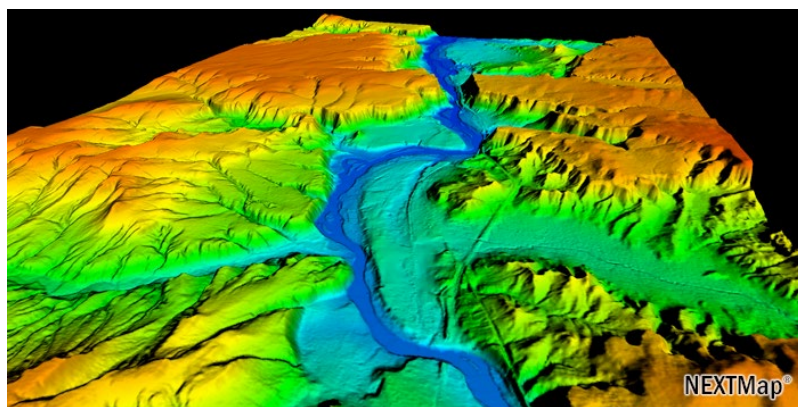
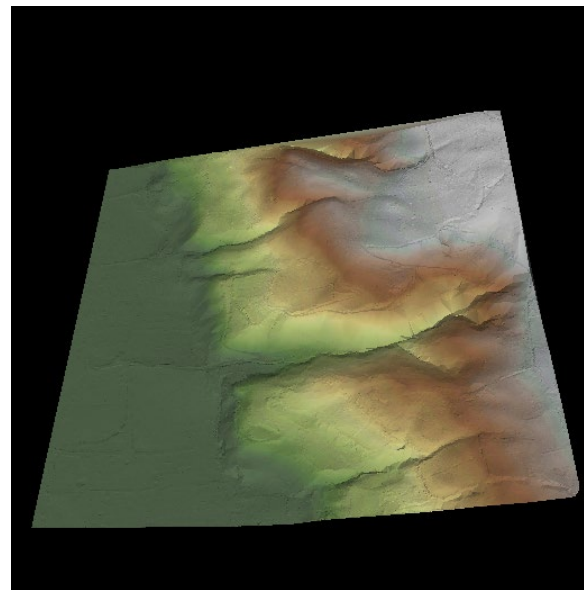
PRIMENE

- Topografska i tematska kartografija (analogne i digitalne vektorske karte, ortofoto karte)
- Katastarske primene
- GIS (izrada prostornih baza podataka)



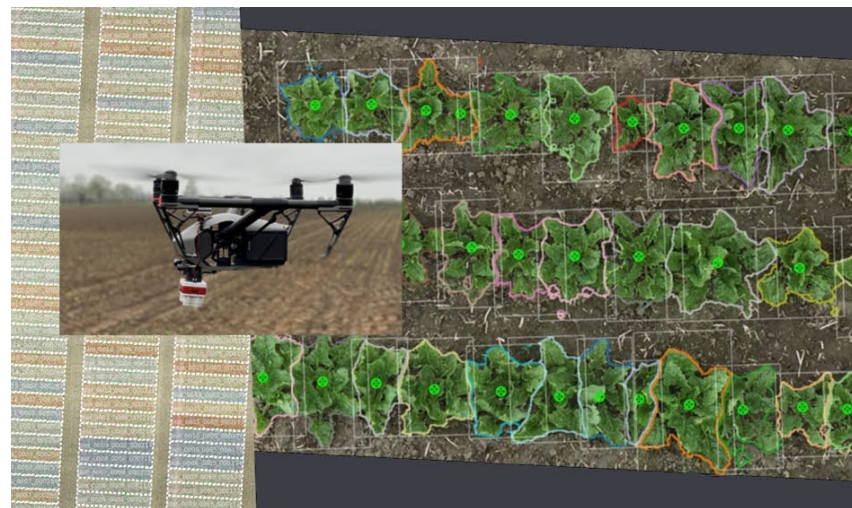
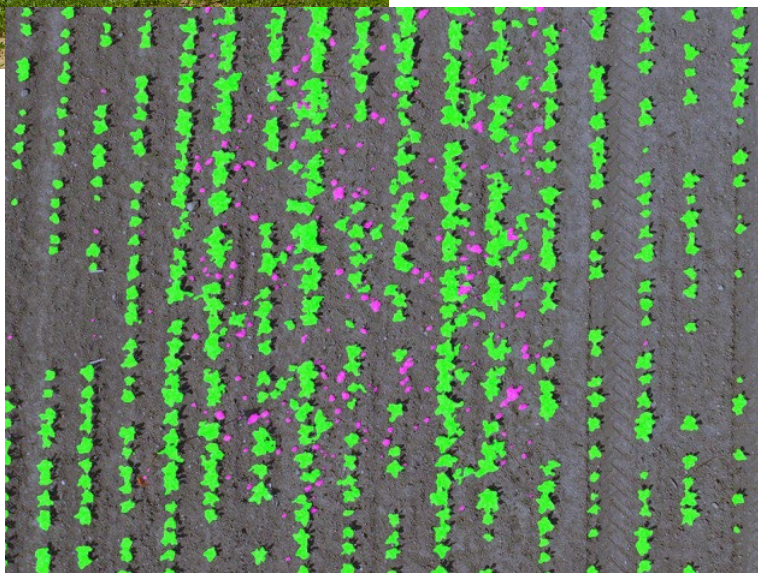
PRIMENE

- Izrada DMT-a



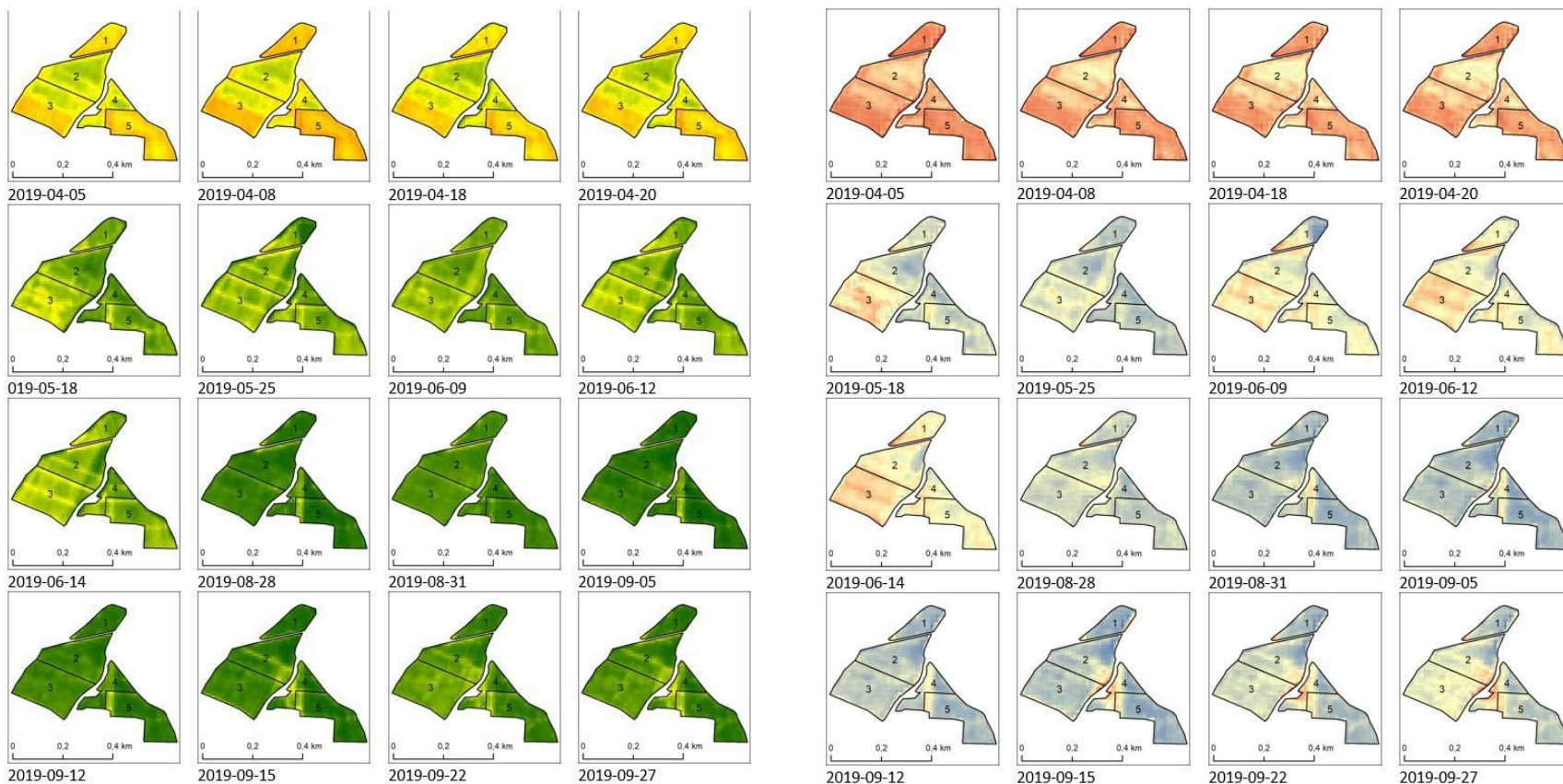
PRIMENE

- Praćenje životne sredine (precizna poljoprivreda)



PRIMENE

- Praćenje životne sredine (precizna poljoprivreda)



PRIMENE

- Izrada 3D modela gradova



PRIMENE

- Digitalno očuvanje kulturnog nasleđa



PRIMENE

- Robotika



PRIMENE

- Geodezija, katastar i kartografija (određivanje koordinata tačaka na terenu za katastarske i druge inženjerske primene – izrada ortofoto podloga, premer i izrada katastarskih i topografskih planova i karata, izrada DMT-a)
- Arhitektura i zaštita istorijskih i kulturnih spomenika (rekonstrukcija fasada, snimanje enterijera i eksterijera)
- Građevinarstvo (topografske podloge, montaža elemenata, praćenje opterećenja)
- Arheologija (izrada planova i modela nalazišta, izrada crteža i modela otkivenih predmeta)
- Prostorno planiranje i ekologija (obezbeđivanje podloga, analize)
- Astronomija (kartiranje zvezda)
- Industrija i mašinstvo (kontrola kvaliteta proizvoda, montaža)
- Policijska i kriminalistika (veštačenje saobraćajnih nesreća, analiza fotomaterijala koji se odnosi na neki kriminalni akt)
- Medicina (plastična hirurgija, ortopedija, neurologija)
- Fotorealistična vizuelizacija i animacija (izrada 3D modela objekata i okruženja, kompjuterske igre, i sl.)

RAZVOJNE FAZE (CIKLUSI) FOTOGRAMETRIJE

- **Fotogrametrija grafičkog stola**
 - 1850 – 1900
 - **Analogna fotogrametrija**
 - 1900 – 1960
 - **Analitička fotogrametrija**
 - 1960 – (1990)
 - **Digitalna fotogrametrija**
 - 1990 – (2020)
 - **Computer vision**
 - 2020 – (. . . .)
-
- Svaki ciklus je iniciran značajnim pronalaskom
 - Nakon pronalaska potrebno je 10-15 godina da se pojavi oprema (instrumentarij) upotrebljiva u praksi
 - Nova fotogrametrijska tehnologija se u praksi koristi 20-25 godina
 - Svaka fotogrametrijska tehnologija po pravilu deli tržište sa novim tehnologijama koje se razvijaju tokom neke razvojne faze

RAZVOJ FOTOGRAMetriJE I ISTORIjAT

- U 18. veku, pre otkrića fotografije, *Johan Heinrich Lambert* predložio korišćenje principa perspektive za izradu karata (matematičke osnove principa za određivanje pozicija tačke u prostoru preko presecanja napred)
- Otkriće fotografije
 - 1839 - *Jacques Daguerre* (Pariz) - objavio fotografski proces, prva praktična fotografija, dagerotipija - ovaj proces se u osnovi koristi i danas
 - 1840 - *Francois Arago* (geodeta iz francuske akademije nauka) predložio da se fotografija može koristiti za topografski premer
 - 1849 - *Aime Laussedat* (pukovnik francuske armije) - prvi eksperimenti sa korišćenjem fotografije za topografsko kartiranje; nakon problema sa korišćenjem zmajeva i balona prešlo se na korišćenje snimaka terestričkom metodom - fototeodolit
 - 1859 - *Laussedat* demonstrirao pred komisijom Pariske akademije nauka određivanje koordinata objekta presecanjem napred na osnovu dva snimka - „OTAC FOTOGRAMetriJE”



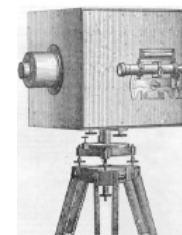
Jacques Daguerre



Francois Arago



Aime Laussedat



Fototeodolit

FOTOGRAMetriJA GRAFIČKOG STOLA

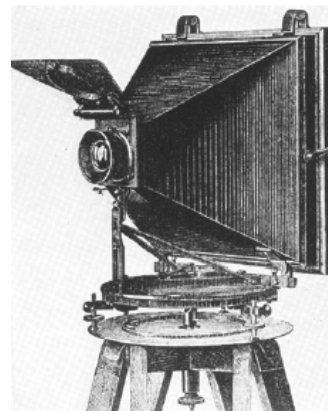
- 1847 – 1865 *Ignazio Porro* – koristio asimetrična sočiva za poboljšanje kvaliteta slike, izumeo sistem sočiva na razvlačenje, dizajnirao fotogoniometar za otklanjanje distorzije sočiva (na ovome radio i *Carl Koppe*)
- 1855, 1859 – *Nadir* – vojne primene, američki građanski rat, 1858. napravio prve aero snimke iz balona
- 1868 – Francuz *Chevallier* razvio fotografski grafički sto (tablu)
- 1885 – *George Eastman* umesto metalnih ploča uveo nitrocelulozu kao podlogu za film, a 1890. uveo film u rolni
- 1893 – *Albrecht Meydenbauer* prvi **upotrebio izraz fotogrametrija** – formirao Pruski kraljevski institut za fotogrametriju – koristio fotogrametriju za snimanje građevinskih objekata u arhitekturi – **razvio mernu kameru sa širokim uglom** (nepromenjiva sočiva, uređaji za horizontiranje kamere, uređaj za određivanje pravca ose snimanja, rubne markice)



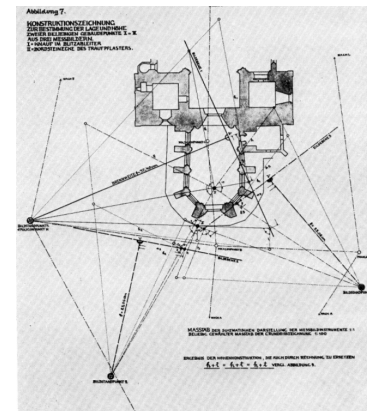
Snimak iz balona



Albrecht Meydenbauer



Meydenbauer-ova kamera



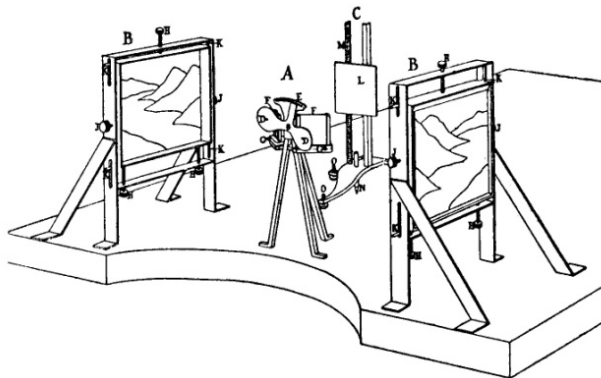
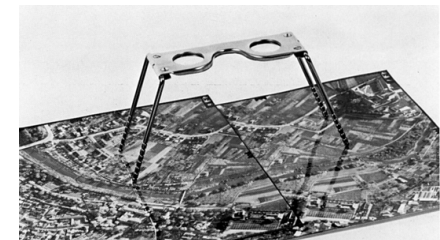
Meydenbauer-ovi principi

STEREOFOTOGRAMETRIJA

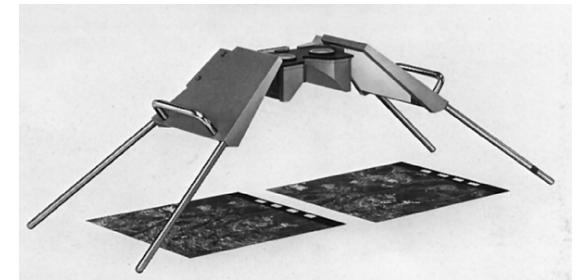
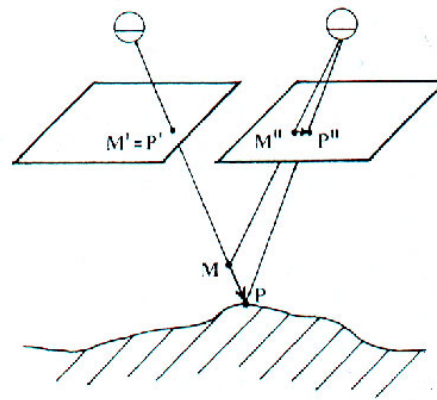
- 1896 - *Edouard Deville* (Kanada) izumeo prvi stereoskopski ploter zvani *Stereo-Planigraph*
- Dva ključna momenta
 - stereoskopska metoda je uveliko korišćena
 - 1903 - braća *Wright* izumela su avion (mnogo bolja platforma za kameru od terestričke)
- 1901 - *Carl Pulfrich* pronašao **stereofotogrametriju**, izumeo prvi stereokomparator za kartiranje iz stereopara („OTAC STEREOFOTOGRAMETRIJE“)
- *Henry Fourcade* nezavisno razvio sličan stereokomparator



Carl Pulfrich

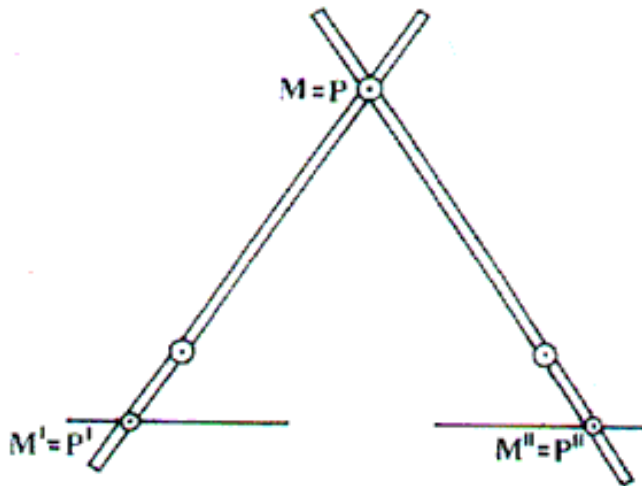


Stereo-Planigraph



ANALOGNA FOTOGRAMETRIJA

- 1909 - *Eduard von Orel* razvio **stereoautograf sa lenkerima** i omogućio kontinualnu restituciju linija horizontalne i visinske predstave
- 1911 - *Theodore Scheimpflug* (Austrija) razvio teoriju duplog projektora za direktno gledanje projektovanih slika, uveo i metod za održavanje fokusa kod rektifikacije snimaka – *Scheimpflug-ov uslov*



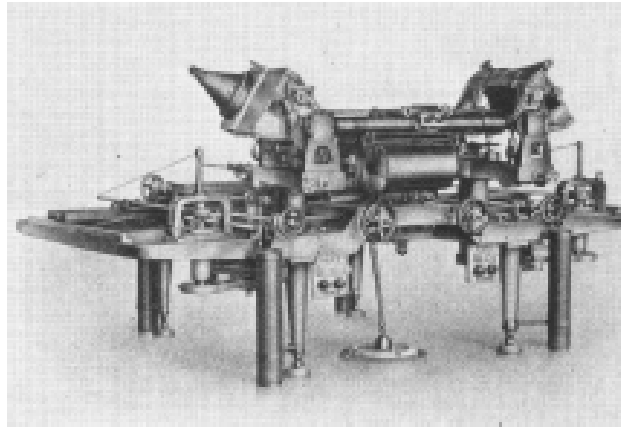
Theodore Scheimpflug

ANALOGNA FOTOGRAMETRIJA

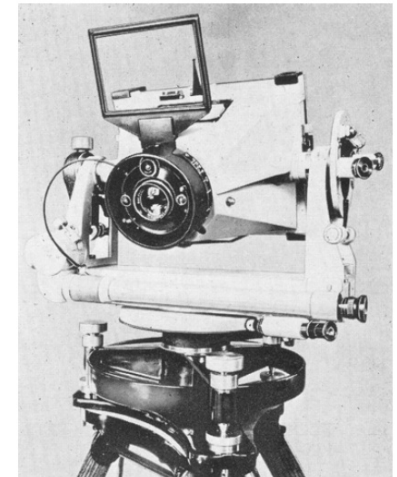
- 1921 - *Reinhard Hugershoff* razvio **prvi analogni instrument** (ploter) zvani Autocartograph, razvio i projekcioni ploter Aerosimplex i Aerocartograph



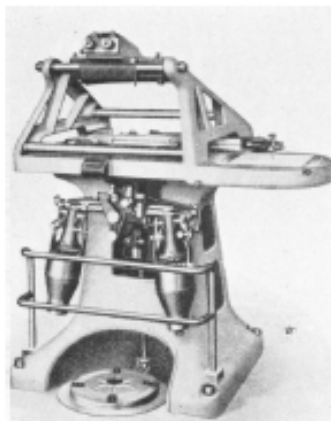
Reinhard Hugershoff



Autocartograph



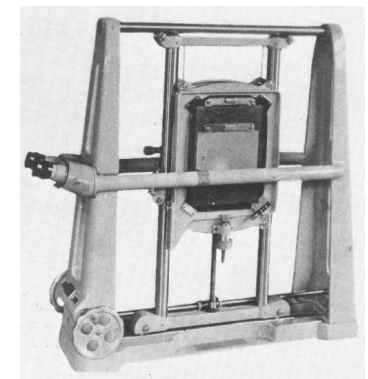
Fototeodolit



Aerosimplex



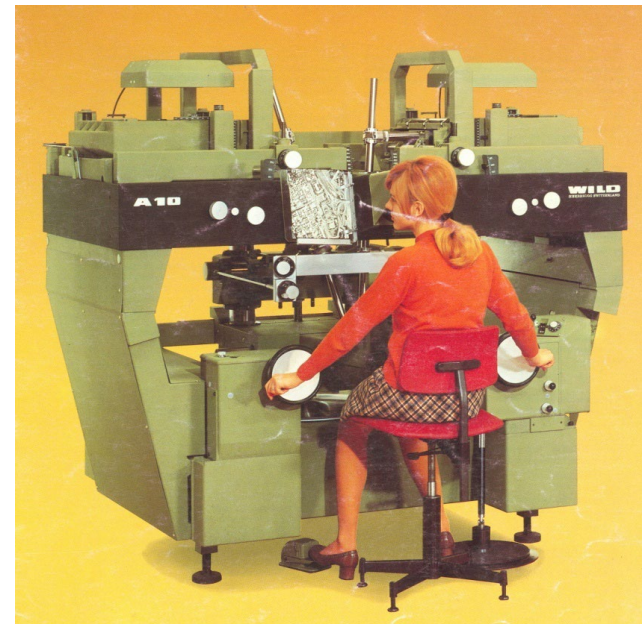
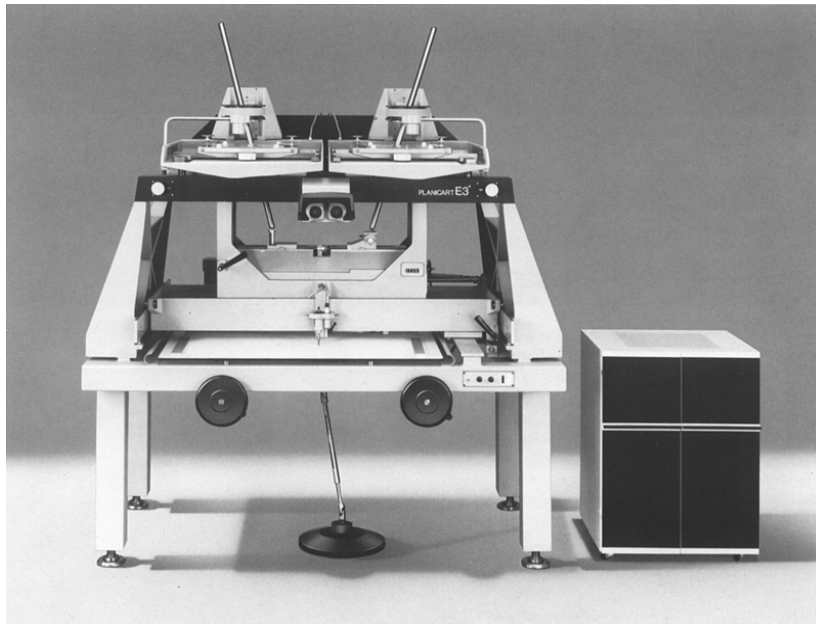
Aerocartograph



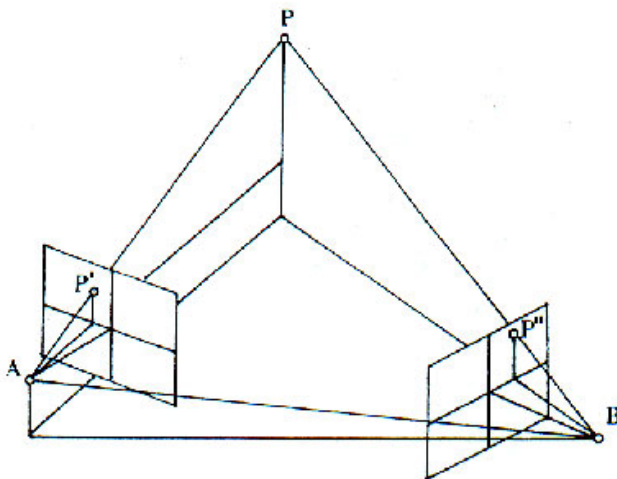
Stereocomparator

ANALOGNA FOTOGRAMetriJA

- 1914-1945 - Tokom I i II svetskog rata fotogrametrija intenzivno korišćena za izradu karata
- Nakon II svetskog rata razvijeni brojni instrumenti i oprema za potrebe izrade karata
- 1955 - *Russel Kerr Bean* (Amerika) izradio ortofoto
- Veliki broj instrumenata - Kern, Wild, Zeiss (Evropa), Bausch and Lomb, Kelsh i dr. (Amerika)



ANALITIČKA FOTOGRAMETRIJA



Otto von Gruber



Sebastian Finsterwalder

- 1899 - *Sebastian Finsterwalder* objavljuje radove iz analitičke fotogrametrije za dve slike (relativna i apsolutna orijentacija, metod najmanjih kvadrata)
- 1924 - *Otto von Gruber* izveo jednačine projektivne geometrije i njihove izvode i osmislio postupak orijentacije na stereo-ploteru

ANALITIČKA FOTOGRAMETRIJA

- Bazirana na radovima S. Finstenwalder-a i O.von Gruber-a
- Preduslov – izum računara (1941 Zure, Nemačka, 1943 Aitken, SAD)
- 1953 – *Hellmut Schmid* (SAD) razvio principe moderne analitičke fotogrametrije sa više stanica koristeći matričnu notaciju – jednovremeno rešenje i raspodela grešaka
- 1955- *Duane Brown* – matematički model aerotriangulacije po metodi perspektivnih snopova (EO parametri i kontrolne tačke istovremeno), samokalibracija kamere, izravnjanje niza, softveri za izravnjanje
- 1957 – *Uuno (Uki) Helava* (Finac, radio u Kanadi) izumeo **analitički ploter** sa servo-uređajima



Uuno (Uki)
Helava



DIGITALNA FOTOGRAMetriJA

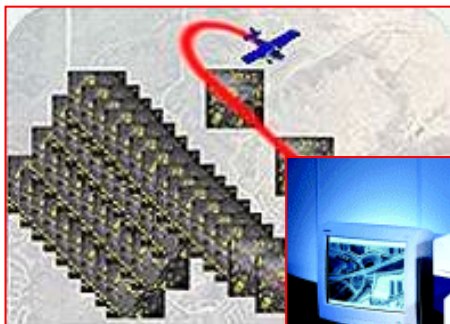
- 1957 – *Hobrough* korelacija slika (*Raztheon-Wild B8 Stereomat*)
- 1967 – *Hobrough* napravio automatizovani ortofotografski sistem pod imenom *Gestault Photo Mapper* (GPM) – printer, skener, korelator i računarski sistem
- Veliki broj softverskih paketa za *SOFTCOPY PHOTOGRAMMETRY*



Gestalt Photo Mapper



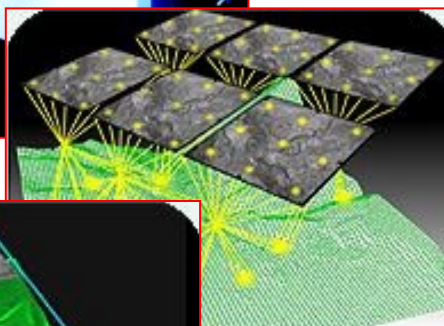
DIGITALNA FOTOGRAMETRIJA



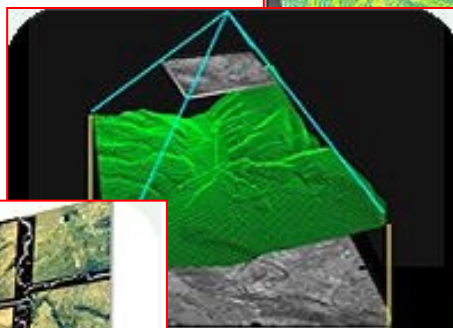
AEROFOTOGRAMETRIJSKO SNIMANJE



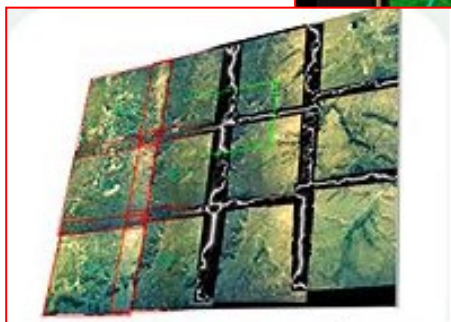
SKENIRANJE NEGATIVA



BLOK AEROTRIANGULACIJA



IZRADA DIGITALNOG MODELA
TERENA I ORTOREKTIFIKACIJA

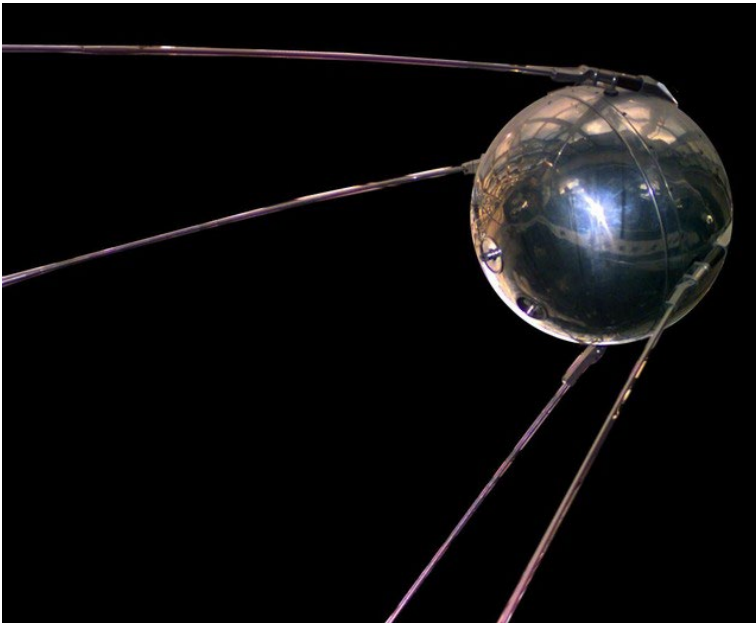


MOZAIKOVANJE

DALJINSKA DETEKCIJA

- 1957 - SSSR uspešno šalje prvi veštački satelit SPUTNJIK
- 1972 - *Landsat* satelitska misija (najdugovječniji aktivni satelitski program za osmatranje Zemlje) - **daljinska detekcija postaje naučna disciplina**

SPUTNJIK



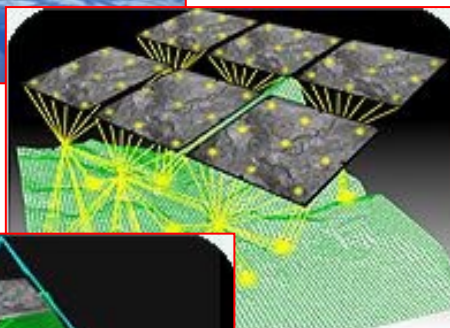
LANDSAT



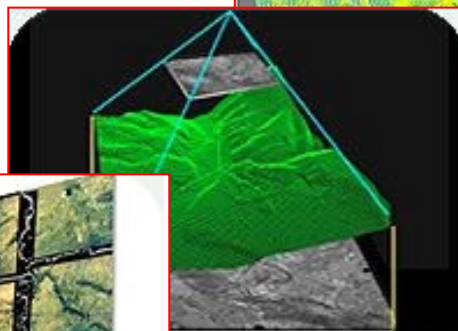
DALJINSKA DETEKCIJA



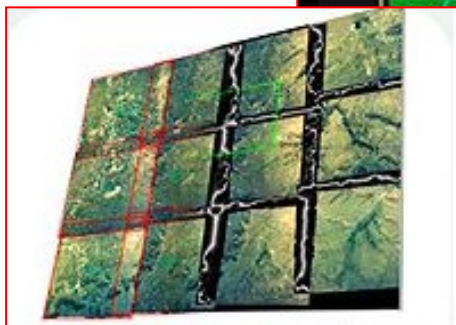
NABAVKA SNIMAKA



ORIJENTACIJA SNIMAKA



IZRADA DIGITALNOG
MODELA TERENA I
ORTOREKTIFIKACIJA



MOZAIKOVANJE



Univerzitet u Beogradu
Građevinski fakultet
www.grf.bg.ac.rs

PITANJA?