

# Snimanje i analiza kretanja

Osnovne postavke

prof. dr Ratko Obradović  
dr Vladimir Zlokolica

# Osnove akvizicija pokreta

- Istorijat *Motion Capture* sistema
- Različiti pristupi *Motion Capture* metodologijama.
  - Osnovni koncept, prednosti i mane.

# Istorijat *Motion Capturing* sistema

- Razvoj modernih MOCAP tehnologija je bio iniciran sa raznih strana, radi rešavanja problema koji postoje u medicinskim naukama, vojsci i oblasti kompjuterski generisanih slika/videoa (CGI).
- Iako se čini da MOCAP tehnologija ne bi bila moguća bez naprednijih kompjutera, i ranije su postojali relativno uspešni pokušaji *Motion Capture*, bez kompjutera.
- Krajem 19 veka u Americi su počeli preko sekvence fotografija da prate pokrete ljudi i životinja, preko tkz. *Zoopraxiscope*-a i rotoskopije.
  - Na bazi rasčlanjavanja pokreta pomoću više fotografija redom.



# Istorijat *motion capturing* sistema

## Početak digitalnih MOCAP sistema

- **Rotoskopija** – animatori prate prethodno snimljene pokrete *frame po frame* u okviru snimljene sekvence slika. **Rotoscopy animation** <https://www.youtube.com/watch?v=Xd5N1spXZRo>
- Izvor predstavljaju fotografije, a koriste se siluete glumaca koje se projektuju/preslikavaju na određeni panel / *viewport* i potom se ponovo na osnovu toga crtaju i dalje stilizuju.
- **Zoopraxiscope** je jedan od najstarijih uređaja za prikaz pokretnih slika, koje su ili snimljene ili dodatno nacrtane na osnovu pokretnih slika. <https://www.youtube.com/watch?v=aG5erS2GNG0>
  - To je jedna vrsta prvih projektor filmova (engl. *movie projector*).
  - Ideja je bila da se projektovane slike sa rotirajućeg staklenog diska prikažu, brzo, jedna za drugom radi dobijanje impresije realnih pokreta.

# Istorijat *motion capturing* sistema

## Pocetak digitalnih MOCAP sistema

- 1937 u *Disney* –u su počeli sa korišćenjem tehnike rotoskopije za animiranje karaktera kod animiranog filma.
  - Ovde se već radilo i na dizajnu sistema, kod koga bi se programiralo, kada slike treba da se snime, tj. u kom trenutku, i kako na pravi način interpolirati između njih.
  - Sve do 70. godina 20. veka.
- Krajem 70-tih, kada je postalo izvodivo animiranje pomoću računara, animatori su adaptirali tradicionalne tehnike, uključujući i rotoskopiju.
  - Animiranje pomoću računara olakšava posao animacije jer se ne mora crtati više svaka slika zasebno, već je potrebno odrediti i iscrtati samo ključne poze, a kompjuter računa interpolaciju između njih.
  - Rotoskopija se smatra primitivnom formom, ali pretečom MOCAP sistema.

# Početak digitalnih MOCAP sistema

- Paralelno sa ovim, laboratorije za biomehaniku počinju da koriste računare za analizu ljudskih pokreta.
  - Prvi pokušaji predstavljaju lepljenje potencimetara na telo i korišćenje izlaza za upravljanje kompjuterski generisanim figurama, za potrebe studije kliničke procene abnormalnosti pokreta.

**Potencijometar** je promjenljivi otpornik koji funkcioniše kao razdelnik napona. Potencijometri omogućavaju „biranje“ otpora, odnosno kontinualno podešavanje otpora od praktično  $0\Omega$  do najveća naznačene vrednosti koja određuje opseg
  - Na primer, za praćenje savijanja kolena dizajniran je sistem sa potencijometrima koji se lepe na obe noge, gde se potencijometri savijaju zajedno sa kolenom. Dobijeni analogni signal se zatim konvertuje u digitalnu formu, koja upravlja kompjuterski generisanim objektom.

[https://www.researchgate.net/publication/307827562\\_Merenje\\_torzionih\\_oscilacija\\_pomocu\\_mernih\\_traka\\_Measurement\\_of\\_torsional\\_vibrations\\_by\\_using\\_strain\\_gages/fulltext/57d31c8308ae6399a38d9fdb/Merenje-torzionih-oscilacija-pomocu-mernih-traka-Measurement-of-torsional-vibrations-by-using-strain-gages.pdf](https://www.researchgate.net/publication/307827562_Merenje_torzionih_oscilacija_pomocu_mernih_traka_Measurement_of_torsional_vibrations_by_using_strain_gages/fulltext/57d31c8308ae6399a38d9fdb/Merenje-torzionih-oscilacija-pomocu-mernih-traka-Measurement-of-torsional-vibrations-by-using-strain-gages.pdf)
- Ubrzo posle ovoga javljaju se (1983) prvi komercijalni *Optical Motion Tracking* sistemi (*Op-Eye*), koji su koristili reflektivne markere ili LED diode kako bi prezentovali tačke na telu i njihove pokrete.
- *Graphical Marionette* – sistem koji piše skriptu za animaciju na osnovu ulaznih već snimljenih pokreta (markeri LED diode).
  - Na osnovu triangulacije pozicija detektovanih dioda, tačke se preslikavaju 3D prostor u vidu animacije.

# Osnove *Motion Capturing* sistema

- Akvizicija pokreta i praćenje (engl. *Motion Capturing and Tracking*) je proces snimanja i praćenja pokreta sa pokretnog 3D objekta u prostoru i vremenu.
- Akvizirani pokreti se prikupljaju za određeni *Set Key Point*-a a potom se matematički modeluju i *fit*-uju kako bi se dobila željena 3D reprezentacija vektora pokreta.
- Drugim rečima: to je proces i tehnologija koja omogućuje transformaciju *Real-Live* događaja (promena) u digitalni svet.

# Osnove *Motion Capturing* sistema

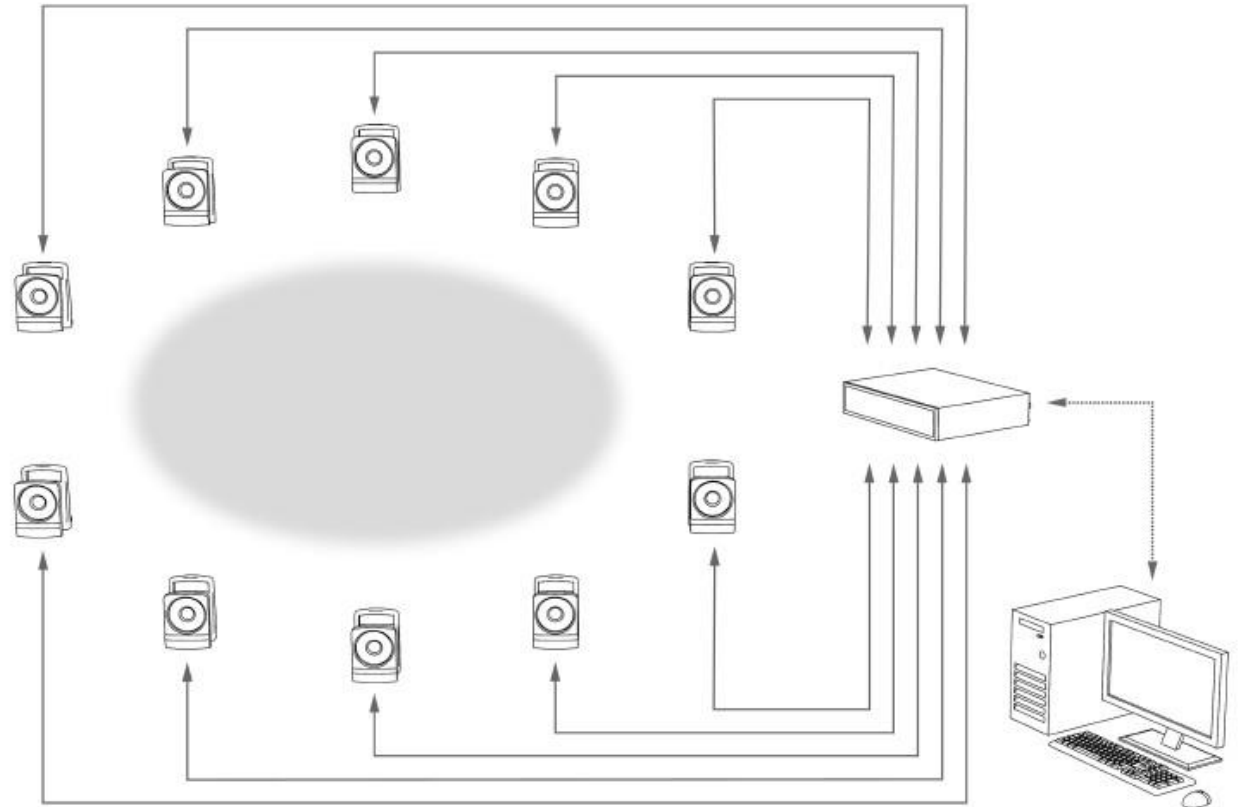
- 3D objekti, tj. karakteri sa kojih se snima pokret u prostoru mogu generalno biti bilo koji subjekti koji postoje u spoljašnjem svetu i koji se kreću.
- **Key point** – su lokalne oblasti/regioni za koje se smatra da mogu optimalno reprezentovati pokrete različitih pokretnih delova subjekta.
  - Te tačke treba da budu *pivot* tačke (tačke oko kojih se segment rotira) ili konekcije između rigidnih delova karaktera.
- 3D Registracija svake od definisanih *Key* tačaka za praćenje se vrši preko jednog ili više senzora, markera ili potencijometara postavljenih na karakter.
  - Prikupljene informacije sa senzora se dalje prosleđuju ka glavnom uređaju unutar koga se obrađuju podaci.



# Osnove *Motion Capturing* sistema - skup senzora i centralnog uređaja



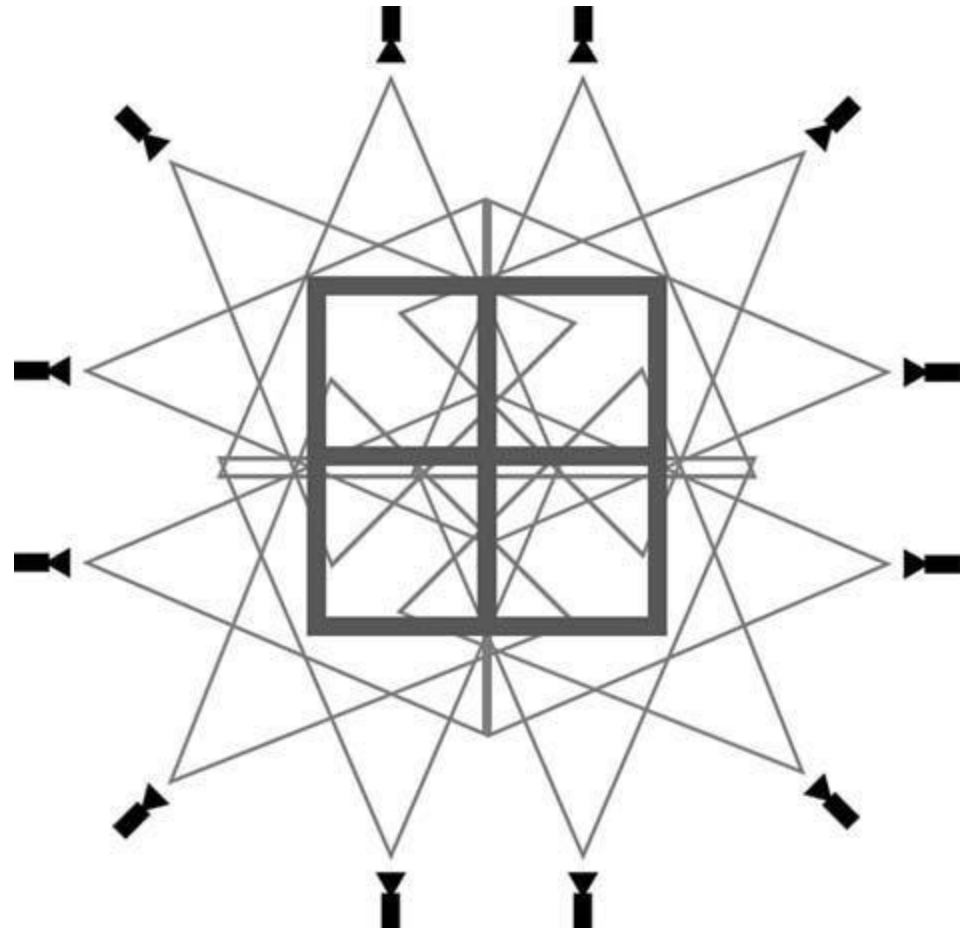
Vicon MX optička kamera



<https://www.awn.com/vfxworld/vicon-mx-shows-dramatic-improvement-mocap-technology>

# Capture Volume -CV

- To je 3D zapremina unutar koje se može uraditi akvizicija – prvenstveno zavisi od položaja senzora i karaktera koji se snima.
- Od CV zavisi oblast unutar koje ćemo moći da akviziramo i pratimo pokrete.
- Pravilan položaj kamera takođe određuje i preciznost akviziranih podataka.

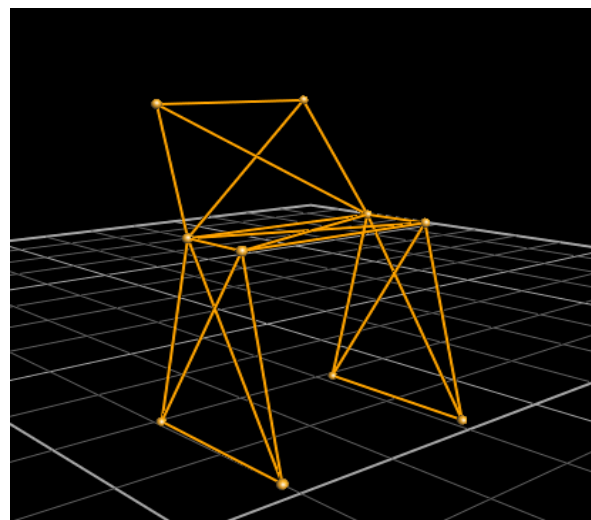


# Oduzimanje pozadine

- Pre bilo koje vrste snimanja prvo se svim sensorima snimi 3D zapremina (*CV*) da bi se detektovala i modelovala na neki način pozadina.
- Kod optičkih sistema to se radi tako što kamere snime ceo *CV* i detektuju pozadinu i to se onda kasnije koristi kada dođe do stvarnog snimanja.
- Na kraju se pozadina oduzima (*Subtract = take off*) od *foreground*-a (prednji plan) kako bi se smanjile greške akvizicije.

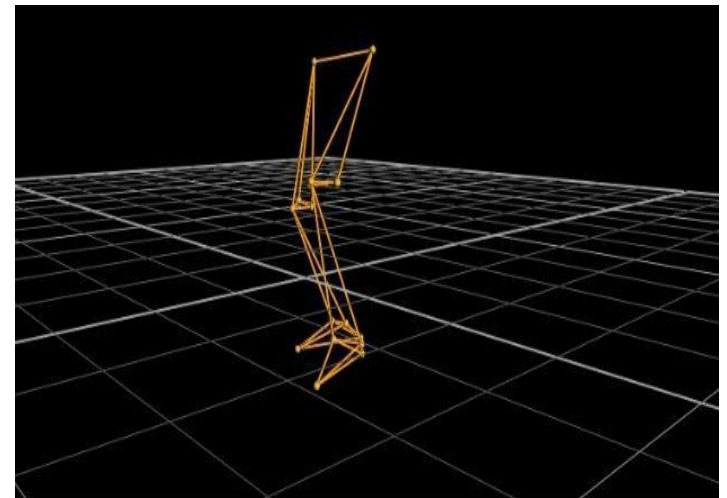
# Osnove *Motion Capturing* sistema - primer

- Primer jednostavnog krutog tela za praćenje pokreta.
  - Postavljanje markera na *pivot* tačke.
  - Generisanje kostura-skeleta koji povezuje sve markere modela i praktično predstavlja *rig* koji se kasnije koristi za animaciju.
  - U ovom slučaju odnos između *key point*-a unutar skeleta modela se ne menja već se samo prati pokret svih tačaka.
    - Ovaj slučaj je mnogo jednostavniji jer je objekat kruto telo (*rigid body*) – recimo u slučaju okluzije (zaklanjanja) lakše rekonstruisemo nedostajuće markere.

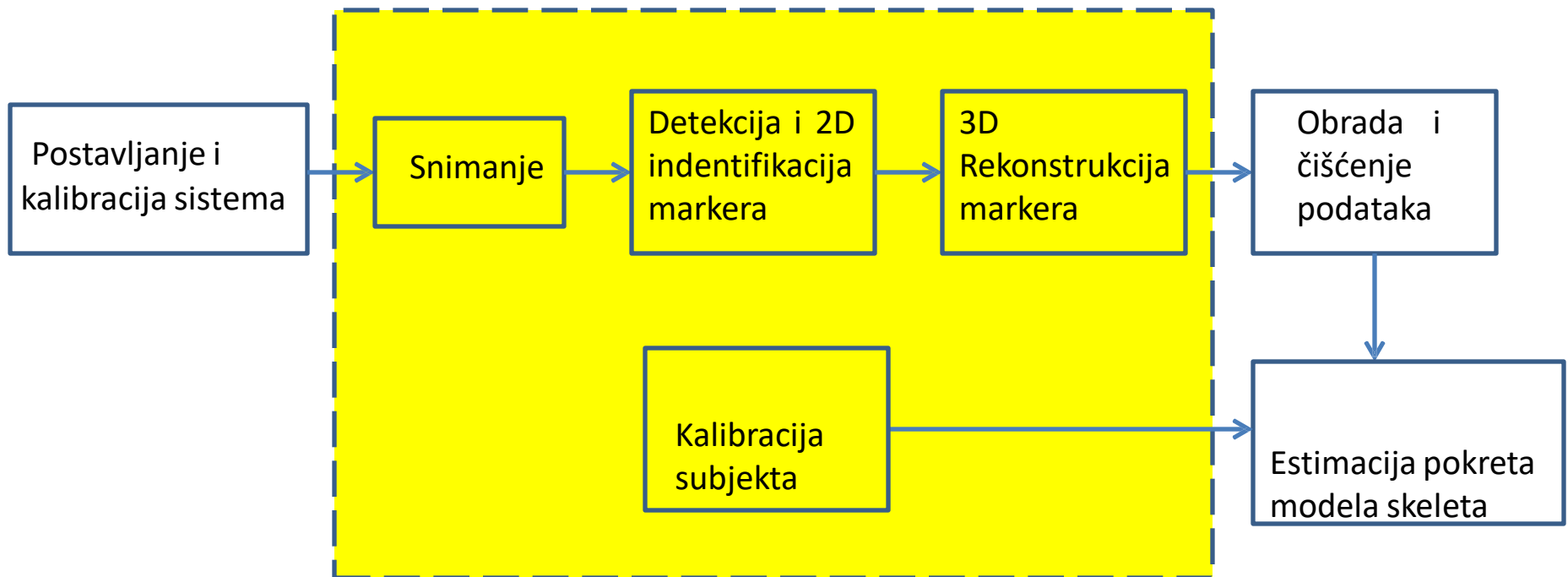


# Osnove *Motion Capturing* sistema - primer

- Primer kompleksnijeg *NON RIGID BODY* (pokretan) karaktera za praćenje pokreta.
  - Postavljanje markera na povezujuće tačke između krutih segmenata, kao što je recimo u ovom primeru koleno.
  - Generisanje kostura-skeleta koji povezuje sve markere modela i praktično predstavlja *rig*, koji se kasnije koristi za animaciju.
  - U ovom slučaju odnos između *Key Point-a* unutar skeletnog modela se menja i potrebno je pažljivo analizirati i obraditi snimljene podatke pre njihovog daljeg korišćenja.



# Osnove *Motion Capturing* sistema – principijalni delovi sistema i osnovna šema rada



- Pod kalibracijom karaktera se smatra labelisanje karaktera i povezivanje snimljenih markera u skelet, koji se radi pre stvarnog

snimanja za praćenje pokreta.

# Osnove *Motion Capturing* sistema - Različite vrste senzorskog sistema

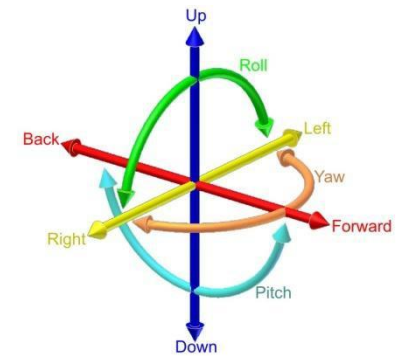
- Postoje različite vrste *Motion Capture* sistema u zavisnosti od toga kako se određuje 3D rekonstrukcija položaja markera i njihovo praćenje u prostoru i vremenu:
  - Mehanicki MOCAP sistemi
  - Akusticki MOCAP sistemi
  - Optički MOCAP sistemi
  - Magnetski MOCAP sistemi
  - MOCAP sistemi zasnovani na inerciji (*Inertial Trackers*)



# Klasifikacija *Motion Capturing* Sistema

Metrike po kojoj se klasifikuju različiti MOCAP sistemi po tome koliko su oni dobri su:

- Da markeri mogu biti relativno malih dimenzija.
- Da su markeri samo-održavajući (*Self-contained*).
- Omogućuje kompletno praćenje svih šest stepeni slobode (3 translacije i 3 rotacije - primer je balon).
- Dovoljna preciznost (1mm za poziciju i 0.1 stepeni ugla orijentacije).
- Dovoljno velike brzine (kašnjenje manje od 1ms).
- Robusni u odnosu na okluziju.
- Robusni u odnosu na degradaciju performansi zbog uticaja svetla, zvuka, toplote, magnetskog polja, radio talasa, itd.
- Bez puno kablova koji otežavaju kretanje subjekta.
- Relativno niska cena.



# Mehanički MOCAP sistemi



- Jedan od najjednostavnijih metoda za akviziciju pokreta, barem konceptualno.
- Mehanički senzori se sastoje od fiksnih mehaničkih delova (šipke) i zglobnih elektromehaničkih sklopki (potenciometri) koji se postavljaju na subjekat, tj. direktno na telo.
  - Prave šipke su povezane sa potenciometrima na zglobovima tela, dizajnirane tako da mere promenu zglobnog ugla kako se karakter menja.  
<https://www.youtube.com/watch?v=fg9No42ljinM> How Potentiometer Works
  - Kako se karakter pomera tako i zglobni spoj mehaničkih delova menja svoj oblik i međusobni ugao na osnovu koga pretvarači daju na izlazu određene vrednosti.
- Korišćenjem predhodnih znanja o relativnim krutim mehaničkim delovima i merenjima na pretvaračima može se odrediti apsolutna pozicija u 3D prostoru.

# Mehanički MOCAP sistemi

- Prednosti:
  - Imaju malo kašnjenje sistema za praćenje – *Real-Time*.
  - Relativno jeftini.
  - Nemaju problem sa magnetskom ili električnom interferencijom (uzajamni uticaj više faktora).
  - Nema problema sa okluzijom.
  - Punih 6 stepeni slobode praćenja pokreta.
  - Kalibracija ovakvih sistema je relativno jednostavna.
  - Relativno veliki *Capture Range*.

# Mehanički MOCAP sistemi

- Mane:

- Pravi se sklop za određenog karaktera sa relativno malim opsegom pokreta – tipično 1 kubni metar.
- Ne mere dovoljno tačno globalne translatorne pokrete.
  - To obično rade uz dodatnu pomoć *Accelerometers* (*an instrument for measuring the acceleration of a moving or vibrating body*) ali još uvek nedovoljno dobro. *Akcelerator - uređaj za merenje ubrzanja*
  - Kada se stopalo odvoji od poda aktivirani 3D položaji često ostanu na podu.
    - Ovde se često dodaju magnetski sistemi da reše ovakve vrste problema.*
- Lako se polome, kompleksno je održavanje...
- Fiksirana konfiguracija senzora.
- Mali *Sample Rate* – niska rezolucija akviziranih pokreta.

# Magnetni MOCAP sistemi

- Magnetni MOCAP sistemi – *Magnetic Trackers* – su prvobitno bili nastali od senzora koji su se koristili u vojnim avionima gde se preko kacige pilota pratila pozicija i orijentacija glave pilota.
  - Magnetskim MOCAP sistem koji se sastojao od 12 do 20 pratećih senzora pozicioniranih na karakteru, radi merenja prostornog odnosa u odnosu na magnetni *transmitter*.
  - Koristi se stanica za akviziciju podataka i procesiranje koja je za datu preciznost obično jeftina.
- *Tracking* senzori daju na izlazu direktno translacije i rotacije, što znači da nije potrebno *post*-procesiranje da bi se odredile rotacije. Ovo značajno olakšava dizajniranje za *Real-Time* aplikacije.
- *Tracking* senzori nisu zaklonjeni (radi se o okluziji) sa karakterom za koga se vrši akvizicija pokreta - to je jedna od osnovnih prednosti još uvek u odnosu na optičke sisteme.
- Osetljivi su na magnetske i električne interferencije, koje mogu da proizvedu značajna izobličenja izlaznog signala.

# Magnetni MOCAP sistemi

- Magnetski sistemi mogu da se podele u dve grupe.
  1. Koristi AC (naizmenična struja) elektromagnetno polje (osetljivi na aluminijum i bakar).
  2. Koristi DC (jednosmerna struja) elektromagnetno polje (osetljivi na metal i čelik).
- Magnetski sistemi imaju *Sample Rate* od 144-240 smplova po sekundi, što je dosta manje od optičkih.
- Takođe imaju dosta šuma u izlazu koji se mora obrađivati.
- Konfiguracije magnetskih sistema se ne mogu tako lako menjati kao kod optičkih.
- Mogu simultano raditi *Motion Tracking* za više karaktera sa više *Setup-a*.

# Magnetni MOCAP sistemi

- Prednosti:
  - Pozicija i orijentacija se dobijaju direktno bez dodatne obrade, to su *real-time* aplikacije.
  - Nema okluzije.
  - Više subjekata se mogu pratiti simultano.
  - Relativno jeftini.
- Mane:
  - Osetljivi na magnetne i električne interferencije.
  - Povezivanje sistema i baterije za senzore ograničavaju pokrete subjekata.
  - Podaci obično imaju dosta šuma.
  - Teško se menja konfiguracija senzora.
  - *Capture Volumes* su prilično mali – manji od optičkih sistema.

# Akustični MOCAP sistemi

- Nekoliko zvučnih transmitera je postavljeno na *Key Point*-e karaktera koji se prati, dok su tri receptora pozicionirana na mestu gde će se obavljati rekonstrukcija.
- Emiteri se tada sekvencijalno aktiviraju, proizvodeći karakteristične frekvencije, koje receptori primaju i koriste da proračunaju poziciju emitera u trodimenzionalnom prostoru.
- Proračun pozicije svakog transmitera se radi na sledeći način: koristeći podatke kao što su vremenski interval od početka emitovanja zvuka sa transmitera, do momenta detektovanja zvuka od strane receptora i poznavanje brzine zvuka u prostoriji, može se izračunati distanca koju je zvuk prešao.
- Za određivanje 3D pozicije svakog transmitera radi se triangulacija između emitera i svakog od receptora.



# Akusticki MOCAP sistemi

- Nedostaci:

- Dobija se nedovoljno podataka za reprezentaciju pokreta.
  - Razlog za ovo je sekvencijalna emisija zvuka od strane transmitera, koja kreira nedovoljno fluidan pokret.
- Redukovan stepen slobode kretanja karaktera, zbog svih kablova koji se nalaze na njemu i oko njega, što smanjuje opseg mogućih izvodivih pokreta.
- Broj transmitera koji mogu biti korišćeni je ograničen, što može smanjiti kvalitet animacije.
- Veoma su osetljivi na refleksiju zvuka ili spoljašnju buku, koja može biti česta i nekontrolisana.

- Prednosti:

- Nemaju problem sa okluzijom, ili sa visoko reflektivnim objektima (metalima), koji su česti kod optičkih ili magnetnih sistema.

# MOCAP sistemi zasnovani na inerciji (*Inertial trackers*)

Inertial Tracking [https://www.youtube.com/watch?v=cmW-\\_6yBK7I](https://www.youtube.com/watch?v=cmW-_6yBK7I)  
[https://www.youtube.com/watch?v=j5638b4\\_mCs](https://www.youtube.com/watch?v=j5638b4_mCs)

- Inercijalni navigacioni sistemi su počeli sa razvojem još od 1960 za brodove, podmornice, avione, ali se nisu ranije počeli koristiti u kompjuterskoj grafici zbog prevelikih gabarita i teških uređaja.
- Međutim od 1990 kada su uvedeni *Micromechanical Systems* (MEMS) inercijalni sistemi su počeli da se razvijaju i za *Motion Capturing* u robotici i kompjuterskim animacija.
- Inercijalni *Motion Capture* sistemi su bazirani na minijaturnim senzorima, biomehaničkim modelima i pametnim algoritmima za *Sensor Fusion*. (**Xsens**)

pokazati <https://www.youtube.com/watch?v=KqKa2Gc7lh8>

# MOCAP sistemi zasnovani na inerciji

## *(Inertial trackers)*

- *Inertial measurement units* (IMU) sastoje se iz:
  - MEMS žiroskopa (*gyroscope*) – efikasno merenje orijentacije.
  - Magnetometra – translacija.
  - Akselometra (*accelerometer*) koji meri rotaciono ubrzanje.
  - Dodatni senzori.
- Izlaz iz ovog skupa senzora se onda kombinuje preko *Sensor Fusion* algoritama da bi se dobili 3D pokreti.
- Nema eksternih kamera, emitera ili markera, ali su potrebni u nekim slučajevima za određivanje apsolutnog položaja.
- 6 stepeni slobode u *real-time*-u.
- Može se koristiti u raznim okruženjima, malim prostorima i imaju mogućnosti velikih *Capturing Volumen*-a.
- Akvizirani pokreti se obično prenose bežično prema kompjuterskoj radnoj stanici odakle se pokret prati.

# Optički MOCAP sistemi

- Optički sistemi se baziraju na kamerama relativno visoke rezolucije preko kojih se akviziraju podaci.
- Na osnovu akviziranih podataka sa više kamera u vremenu vrši se 3D rekonstrukcija seta određenih tačaka za koje se prati trajektorija pokreta.
- Osnovna podela:
  - Bazirano na specijalnim odelima i markerima.
  - Bez markera - jednostavno se na bazi vizualnih senzora uzimaju snimci sa više kamera, selektuju određeni *feature*-i (funkcije) koji se dalje *match*-uju, 3D rekonstruišu i prate u vremenu.  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Matching\\_\(graph\\_theory\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Matching_(graph_theory))
- Ovakvi sistemi daju 3 stepena slobode za svaki marker dok se rotacija određuje na osnovu relativne orijentacije 3 ili više markera.
  - Na primer rame, lakat i zglob na šaci preko koga se određuje ugao lakta.
- Novi hibridni sistemi kombinuju optičke senzore sa inercijalnim da bi se popravio problem sa okluzijom i smanjilo vreme čišćenja podataka.

# Optički MOCAP sistemi bazirani na markerima

- Tipični optički sistem se sastoji od 4 do 32 kamere i kompjuterske stanice koja kontroliše kamere i prikuplja i obrađuje podatke.
- Na subjekat za koji se radi *Motion Capture* se postavlja specijalno dizajnirano odelo ili samo markeri koji su ili reflektivni (pasivni) ili emitujućii (aktivni).
- Na osnovu tipa markera optički MOCAP sistemi se mogu podeliti na:
  - Aktivne
  - Pasivne



# Optički MOCAP sistemi bazirani na markerima

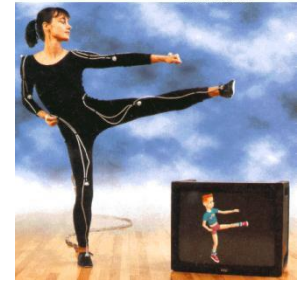
- Svaka kamera generise (detektuje) 2D koordinatu svakog markera, a zatim se računa njihov 3D položaj putem 3D triangulacije.
- Kamere se moraju prethodno kalibrisati, tj. mora se poznavati njihova relativna pozicija.
- Iako su najskuplji sistemi na tržištu njihova glavna prednost je velika vremenska rezolucija kamera što omogućava snimanje veoma brzih pokreta, kao što su na primer pokreti kod borilačkih veština.
- Frekvencija obično zavisi od upotrebljenih kamera, a idu i do 500Hz.
- Još jedna prednost ovog sistema je što ne postoje kablovi ili strogo ograničen prostor, tj. markeri ne smanjuju pokretljivost karaktera.

# Optički MOCAP sistemi sa pasivnim markerima

- Pasivni markeri su napravljeni od reflektivnih materijala i njihovi oblici su sferni (lopta), poluloptasti ili kružni.
- Kamere u pasivnim sistemima imaju u svom sklopu LED (*Light Emitting Diodes*) od kojih se svetlost emituje ka reflektivnim markerima.



# Optički MOCAP sistemi sa pasivnim markerima



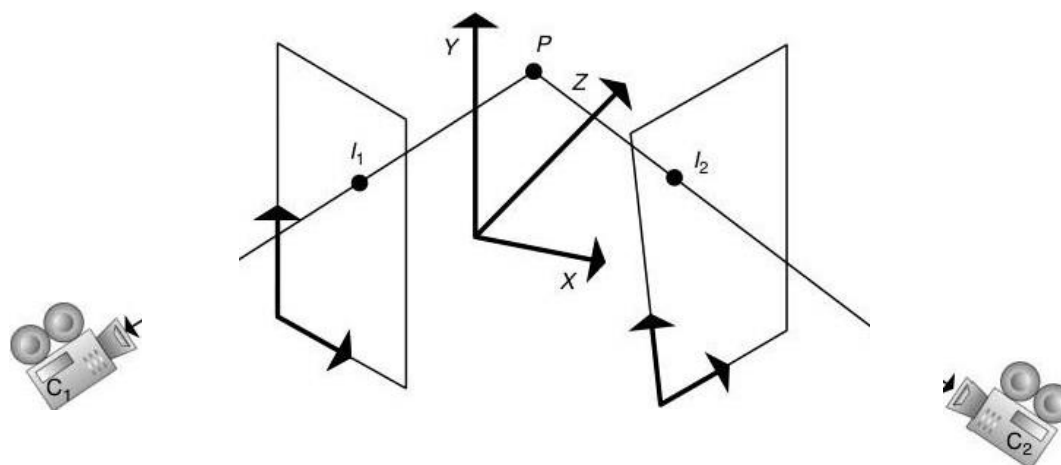
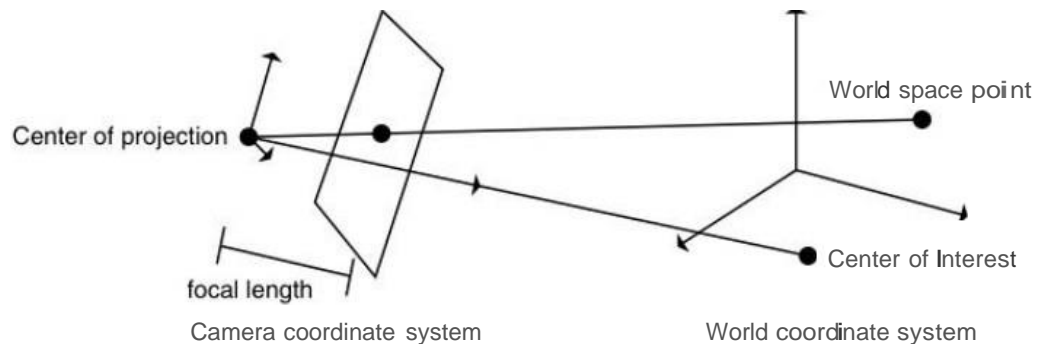
- Oblik i veličina markera zavisi od : (i) rezolucije kamera koje se koriste za akviziciju i (ii) vrste karaktera/segmenta karaktera (manji markeri se koriste za lice i šake, na primer).
- Pasivni markeri se stavljaju direktno na telo karaktera ili na specijalno dizajnirano *mocap* odelo.
- Broj markera u sceni nije limitiran, što omogućava veoma visok nivo detalja.
- Obično se koriste isključivo u zatvorenim prostorijama gde se svetlost može kontrolisati.



# Optički MOCAP sistemi sa aktivnim markerima

- U aktivnom MOCAP sistemu markeri su specijalne LED diode, kod nekih sistema diode se pale sve odjednom, a kod drugih pale jedna po jedna – postoji problem identifikacije svakog od markera.
- Modulacijom amplitude ili frekvencije svake LED omogućava laku identifikaciju svakog markera.
- Naprednije aktivne tehnike dozvoljavaju korišćenje i izvan zatvorenih prostorija.

# Rekonstruisanje pozicije markera u 3D u datom vremenskom trenutku



# Optički MOCAP sistemi sa markerima

- Barem dve kamere moraju da vide jedan isti marker da bi se mogla odrediti tačna 3D pozicija markera, iako se preferira da se ima 3 ili više kamere koje vide marker radi povećanja tačnosti. <http://www.dpm.ftn.uns.ac.rs/predmeti/Reverzibilno%20in%C5%BEenjerstvo%20i%20CAQ/Predavanje%202%20i%203%20-%20Metode%203D%20digitalizacije.pdf>  
str. 34
- Veliki problem kod optičkih markera je okluzija i kada ni dve kamere ne mogu da vide određeni marker, koji je, recimo, zaklonjen delom tela.
- Iako postoje napredne tehnike za uređivanje i rekonstrukciju nedostajucih podataka, kada previše markera ima okluziju i kada se to desi u dužem vremenskom periodu, tokom snimanja, teško je popraviti to.
- Međutim, kada nema okluzije, generalno, sadašnji napredni optički sistemi su definitivno superiorni u odnosu na sve druge.
- Konfiguracije markera su vrlo fleksibilne i pored proizvođačkih, mogu se koristiti i sopstveno dizajnirani markeri.

# Optički MOCAP sistemi sa markerima

- *Real-time* vizualni *Feedback* (povratna informacija) u toku *Capturing* procesa, kod optičkih sistema je obično limitiran do određene mere.
- Snimljeni podaci moraju da se procesiraju da bi se dobile 3D trajektorije zadovoljavajuće tačnosti i pouzdanosti.
- Rotacija pokreta može se odrediti u realnom vremenu, ali se i ona obično određuje kao *post processing step*.

# Optički MOCAP sistemi sa markerima

- Prednosti:
  - Akvizirani podaci su velike tačnosti.
  - *Capture Rate* je visok.
  - Više objekata može biti praćeno istovremeno.
  - Veliki broj različitih markera može biti korišćen.
  - Veliki *Capture Volume*.
- Mane:
  - Potrebno je znatna naknadna obrada podataka.
  - Rotacije pokreta moraju da se izračunaju na osnovu pozicija u *post processing step*-u.
  - Okluzija
  - Osvetljenost mora da bude kontrolisana pogotovo kod pasivnih sistema.
  - *Hardware* je obično prilično skup.

# Marker-less optički MOCAP sistemi

- Sve veći razvoj kompjuterske vizije omogućio je pojavu sve boljih rešenja optičke MOCAP tehnologije bez markera.  
Learnable Triangulation of Human Pose (accurate marker-less motion capture) <https://www.youtube.com/watch?v=z3f3aPSuhqg>
- Ovakvi sistemi ne zahtevaju nikakvu specijalnu dodatnu opremu za praćenje karaktera, osim kamera.
- Pokret karaktera se snima pomoću nekoliko video kamera istovremeno da bi se pomoću algoritama kompjuterske vizije uradila 3D rekonstrukcija i identifikacija 3D karaktera koji se prati tokom vremena.
- Najčešće se radi dekompozicija 3D modela karaktera na više delova za koji se odvojeno radi *Motion Tracking* i potom se sve sklapa zajedno.
- Ovakvi sistemi iako nisu zahtevni sa strane potrebnog hardvera, jako su zahtevni sa strane vremena obrade i još uvek nisu u potpunosti u *Real-Time*-u.

# Hibridni optički MOCAP sistemi



- Kombinacija *Marker-Less* i *Marker Based* pristupa gde se dodaju kamere koje samo snimaju objekte bez markera.

# VICON MOTION CAPTURE SYSTEM

- *Vicon Motion Capture* sistem spada u optičke sisteme za akviziciju pokreta bazirane na pasivnim markerima.
- Temporalna rezolucija (*Temporalna rezolucija* se odnosi na to koliko često senzor prikuplja snimak) je do 200Hz.

