

# Mreže inteligentnih kamera

---

**Mendelski, Vedran**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2016**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:551137>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-09-20**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**

**Sveučilišni preddiplomski studij**

**MREŽE INTELIGENTNIH KAMERA**

**Završni rad**

**Vedran Mendelski**

**Osijek, 2016.**

## Sadržaj

1. UVOD.....	4
1.1. Zadatak završnog rada .....	5
2. PAMETNE KAMERE.....	6
2.1. Uvod.....	6
2.2. Razlike između pametne i obične kamere.....	6
2.3. Arhitektura inteligentnih kamera .....	7
2.4. Razvoj pametnih kamera.....	9
3. MREŽE INTELIGENTNIH KAMERA.....	11
3.1. Mrežne pametne kamere .....	11
3.2. Distribuirane pametne kamere .....	12
3.3. Distribuirano prepoznavanje pokreta .....	13
3.4. Mreže samopodesivih inteligentnih kamera.....	15
3.4.1. Pet stupova samopodesivosti .....	17
3.4.2. Rekonfiguracija kao kontinuirani ciklus.....	19
4. PRIMJENA MREŽA INTELIGENTNIH KAMERA .....	24
4.1. Medicina.....	24
4.1.1. Poboljšanje funkcije zglobova .....	26
4.1.2. Rehabilitacija .....	26
4.1.3. Nadzor na daljinu.....	26
4.1.4. Procjena rizika povrede.....	27
4.2. Komunikacija sljedeće generacije.....	28
4.2.1. 3D rekonstrukcija početnog prikaza .....	29
4.2.2. Pasivna 3D rekonstrukcija .....	30
4.2.3. Aktivni optički sistemi.....	31
4.3. Video nadzor i potvrda cilja.....	31
4.4. Bežične mreže inteligentnih kamera za nadzor javnih mjesta .....	35
4.5. SWEETcam sistem.....	41
5. ZAKLJUČAK.....	44
LITERATURA .....	45
SAŽETAK .....	46

ŽIVOTOPIS..... 48

# 1. UVOD

Moderno doba dovelo je do razvitka sustava tehničke zaštite, ponajviše sustava za video nadzor. Postupnim prelaskom s analognih na digitalne sisteme, te velikim razvojem IT industrije i mrežnih komunikacija, dovelo je do razvoja nove generacije pametnih mrežnih kamera i omogućilo je stvaranje cjelovitog digitalnog koncepta. Zbog odličnih karakteristika, kao što su izvrsna kvaliteta slike, detekcija pokreta u slici, detekcija ostavljenih predmeta, video prijenos s digitalnim potpisom i izvanrednih integracijskih mogućnosti mrežne kamere postaju standard u području sustava video nadzora. Mreže inteligentnih kamera su distribuirani, ugrađeni sistemi koji izvršavaju računalne zadatke koristeći višebrojne kamere. Ovaj novi pristup se razvio zahvaljujući prednostima u ove četiri discipline: računalni vid, senzori slike, ugrađeno procesiranje i mrežni senzor. Obrada slika u mreži inteligentnih kamera predstavlja različite probleme. No, vjeruje se da ugrađene pametne kamere predstavljaju ključni dio za buduće ugrađene sisteme računalnog vida i da će inteligentne kamere postati vitalna tehnologija za mnoge nove aplikacije. Osim objašnjenja koncepta samih kamera i njihovih mreža, detaljno će se obraditi i njihova široka primjena u raznim dijelovima industrije. Mreže inteligentnih kamera su prije svega dizajnirane u svrhu predaje podataka i prepoznavanja te analize objekata ili značajnih aktivnosti, prije nego jednostavnog snimanja slike ili videa. Svoju široku primjenu nalaze najvećim dijelom u medicini, komunikaciji i nadzoru. Velik dio istraživanja se odnosi na već postojeće sisteme koje koriste mrežu inteligentnih kamera te što je sve potrebno kako bi ti sistemi samostalno i efikasno funkcionirali. No, drugi dio istraživanja je fokusiran na otkrivanje novih sistema koji bi imali naprednije značajke poput samostalnog napajanja i samougađanja te ugradnje tih sistema u već postojeće uređaje, kako na javnim mjestima tako i u uređaje za osobnu upotrebu. Spajanjem bežičnih modula i mikrokontrolera tj. obrađivačkih jedinica dolazi do razvoja bežičnih platformi za video nadzor koji predstavljaju najnoviju tehnologiju u mreži inteligentnih kamera. Zbog planiranja energetske učinkovitosti, metode poput premještanja kontrole zadataka i dostupnih resursa uvelike utječu na poboljšanje potrošnje energije. Najvažniji dio mreža inteligentnih kamera su algoritmi za obradu koji čine glavnu razliku između pametnih i običnih kamera te koji se redovno moraju ažurirati i ugađati.

## **1.1. Zadatak završnog rada**

Sustavi umreženih kamera koji prikupljaju i pohranjuju zapise u različitim okruženjima (kako privatnim, tako i javnim) danas su sveprisutni i nalaze vrlo široku primjenu (npr. sigurnosne primjene, nadzor okoliša i sl.). Budući da je procesiranje i analiza podataka prikupljenih umreženim kamerama iznimno zahtjevan zadatak, sve se više napora ulaže u različite razine automatizacije ovakvih sustava. Značajan razvoj u područjima ugrađenih računalnih sustava, senzora slike, računalnog vida i bežičnih komunikacijskih mreža omogućio je razvoj sustava "inteligentnih" međusobno umreženih kamera. Potrebno je sustavno analizirati mreže inteligentnih kamera, vodeći računa o različitim aspektima ovakvih sustava: problematici dizajna hardvera i softvera i systemske razine, arhitekturi i konfiguraciji, energetske učinkovitosti, načinu procesiranja vizualnih informacija, metodama i tehnikama komunikacije, problematici sigurnosti i privatnosti. Analizirati mogućnosti primjene, te detaljnije razraditi neke od mogućih scenarija implementacije.

## **2. PAMETNE KAMERE**

### **2.1. Uvod**

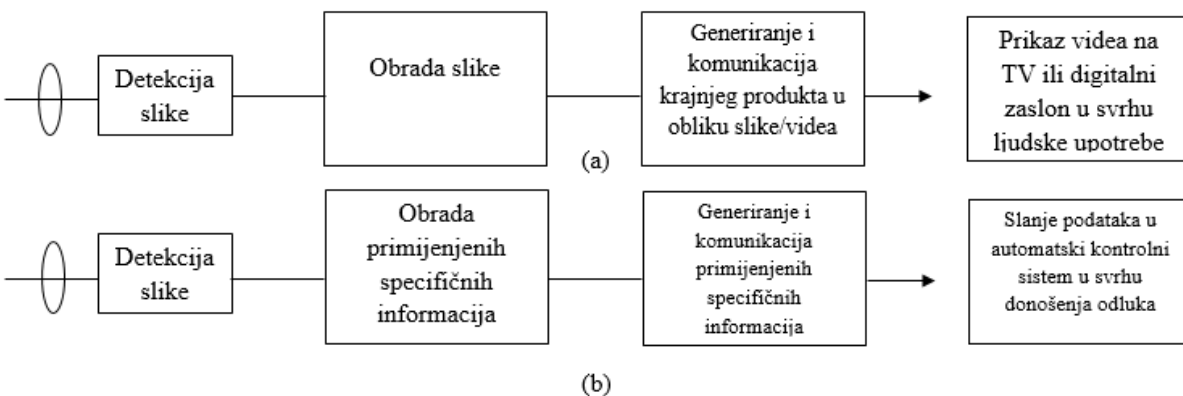
Što je pametna kamera? Različiti istraživači i proizvođači kamera nude različite verzije definicije. Izgleda da nema za stalno utemeljena i dogovorena definicija, kako u video nadzoru tako ni u industriji optičkih strojeva. Ta dva područja su najrašireniji i najrazvijeniji dijelovi u kojima se koriste pametne kamere. No, za svrhe ovog rada, pametne kamere definiramo kao optički sistem u kojima je primarna funkcija proizvodnja visokog nivoa razumijevanja slike tj. scene ili generiranje specifičnih informacija i podataka koji su korišteni u autonomnim i inteligentnim sistemima. Glavna ideja pametnih kamera je pretvorba podataka u znanje putem procesiranja informacija gdje je to moguće.

Pametna kamera je „pametna“ zato što procesira primijenjene specifične informacije, čiji je cilj, ne da omogući bolju kvalitetu slike za ljudsko oko, već da shvati i opiše što se događa na slici u svrhu lakšeg donošenja odluka u automatskom sistemu za upravljanje. Na primjer, pokretom aktivirana kamera za nadzor snima video neke scene, detektira kretnju u području interesa, te aktivira alarm kada detektirani pokret zadovolji određeni kriteriji.

### **2.2. Razlike između pametne i obične kamere**

Važne razlike između pametne i obične kamere, kao što su osobne kamere i fotoaparati, možemo podijeliti na dva dijela. Prvi dio pronalazimo u arhitekturi sistema kamere. Pametna kamera obično ima posebnu jedinicu za obradu slike koja sadrži jedan ili više procesora snažnih performansi. On služi za pokretanje inteligentnih algoritama za obradu informacija, kojima je glavni cilj izvlačenje informacija i saznanja iz slika. Jedinica za obradu slika u normalnim kamerama je obično jednostavnija i slabija te za glavni cilj ima poboljšanje kvalitete slika. Druga važna razlika između pametne i normalne kamere je u glavnim produktima kamere. Produkt pametne kamere koji je dobiven iz slike ili detaljnog opisa scene, šalje se u automatski kontrolni sistem, dok za normalne kamere glavni produkt je obrađena verzija slike spremna za ljudsku upotrebu (Sl.2.1.). Zbog tog razloga, normalne kamere imaju velike zahtjeve i potrebe kako bi se

zadovoljila dobra rezolucija slike i sl. dok pametne kamere mogu imati veoma mal promet podataka i niske zahtjeve jer u nekim slučajevima produkt pametne kamere može biti „1“ - detektirana kretnja ili „0“ - nema kretnje.



Sl.2.1. Razlike između normalne (a) i pametne kamere (b) [2]

### 2.3. Arhitektura inteligentnih kamera

Pametne kamere su omogućene u VLSI (engl. *very large scale integration*) tehnologiji i u ugrađenim sistemima. Moderni ugrađeni procesori omogućuju visoku razinu obrade. Obrada slike se vrši u tri jedinice za obradu: senzor slike, jedinica za obradu i jedinica za komunikaciju. Senzor slike, koji je ugrađen u CMOS (engl. *complementary metal-oxide-semiconductor*) ili u CCD (engl. *charge-coupled device*) tehnologiju, predstavlja izvor podataka u procesu obrade istih unutar pametne kamere. Jedinica za osjet čita podatke sa senzora slike i često izvodi prvi dio obrade, kao što je prilagodba svjetline i boje. Glavna obrada slike se odvija u jedinici za obradu, koja prima sliku od jedinice za osjet, izvodi analizu slike u realnom vremenu te prebacuje obrađene podatke do jedinice za komunikaciju. Ta jedinica omogućuje razna sučelja za spajanje kao što su USB, Ethernet ili Firewire. Ove jedinice mogu biti smještene na razne platforme, od SoC (engl. *system on chip*) platforme s jednim procesorom do platforma s većim brojem procesora. FPGAs (engl. *field programmable gate arrays*), DSPs (engl. *digital signal processors*) i/ili mikroprocesori su popularne platforme za obradu. Pametne kamere dostavljaju obrađene podatke promatrane scene.

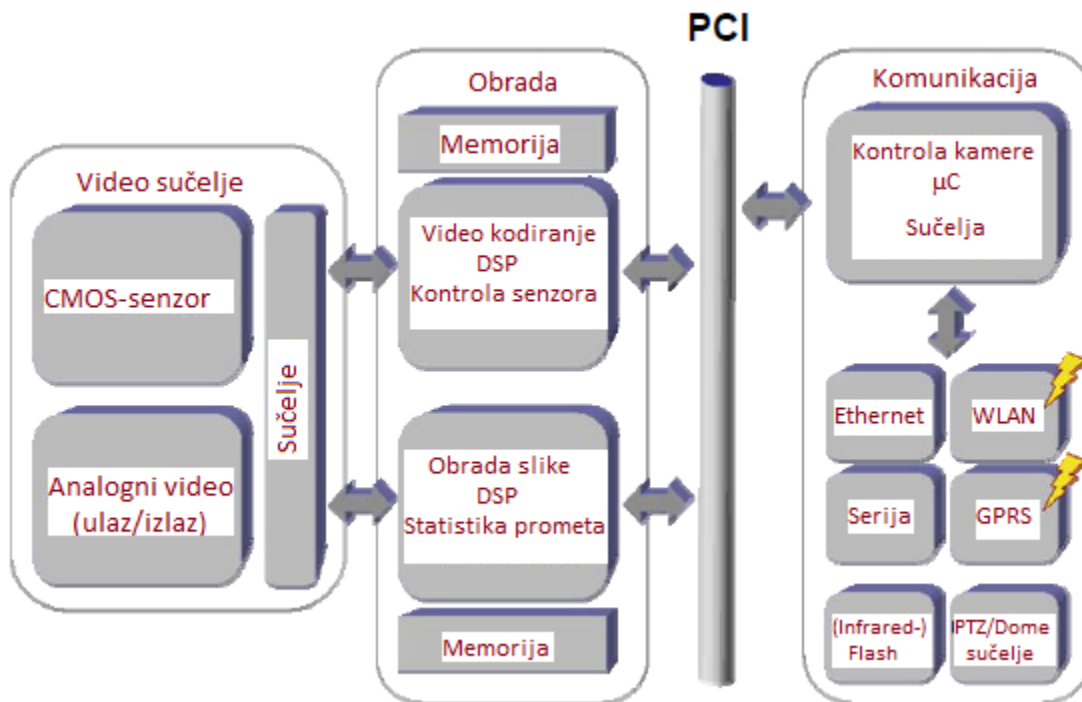


Sasvim je uobičajeno da dostavljeni podatci zavise od arhitekturi kamere i njezinoj primjeni i skoro svaka pametna kamera trenutno dostavlja različite podatke [1].

Pametna kamera provodi razne algoritme za obradu slika kao što su detekcija kretnje, razdvajanje, praćenje, prepoznavanje objekata itd. One obično dostavljaju geometrijske značajke u boji, objekte rastavljene na dijelove ili donose važne odluke kao što je upozorenje vozačima da voze u krivom smjeru ili prepoznavanje sumnjivih objekata. Kao i računala, pametne kamere se s vremenom usporavaju zbog slabljenja memorije i velike obrade podataka u procesorima. U svrhu ubrzavanja obrade koristi se privremena memorija koja sprema često korištene vrijednosti i povećava prosječan učinak memorijskog sistema. Međutim, algoritmi za obradu, kao što su algoritmi za sažimanje videa, koriste veliku količinu podataka koja nije često korištena tako da privremena memorija nije toliko od koristi. Zbog navedenih razloga, softver mora biti pažljivo usklađen kako bi se iskoristilo najviše od privremene memorije. U najgorem slučaju, memorijski sistem mora biti potpuno redizajniran kako bi se omogućila potrebna količina memorije.

Pored memorije, snaga procesora je ključni resurs za obradu podataka. Svaka jedinica za obradu ima različite zahtjeve za obradu. Obrada slike niskog nivoa kao što je promjena boje i dodavanje filtera radi na samostalnim elementima slike po određenoj šablona. Te obrade su često izvođene na dodijeljenim hardverskim dijelovima kao što su ASIC (engl. *application-specific integrated circuits*), FPGAs, ili na posebnim procesorima. Obrade slike visokog nivoa se izvode na više značajki ili objekata što smanjuje potrebnu količinu podataka ali značajno povećava složenost operacija. Ovi složeni zadatci za obradu zahtijevaju nepravilan kontrolni tok podataka te najbolje rješenje za njihovo izvođenje su programirani procesori. Zavisno o složenosti algoritma za obradu slike, ugrađuju se višejezgreni procesori ili čak više njih.

Standardizirano sučelje za komunikaciju služi za prijenos obrađene slike. Kamere s povezanim sučeljem kao što su Ethernet, gigabit Ethernet ili Firewire omogućuju potrebnu memoriju za prijenos podataka o slici u realnom vremenu. Nedavno su se razvile pametne kamere s bežičnim sučeljima koje koriste protokole za mrežni senzor kao što je ZigBee. Ti protokoli malih memorija omogućuju prijenos u realnom vremenu pri niskoj potrošnji energije.



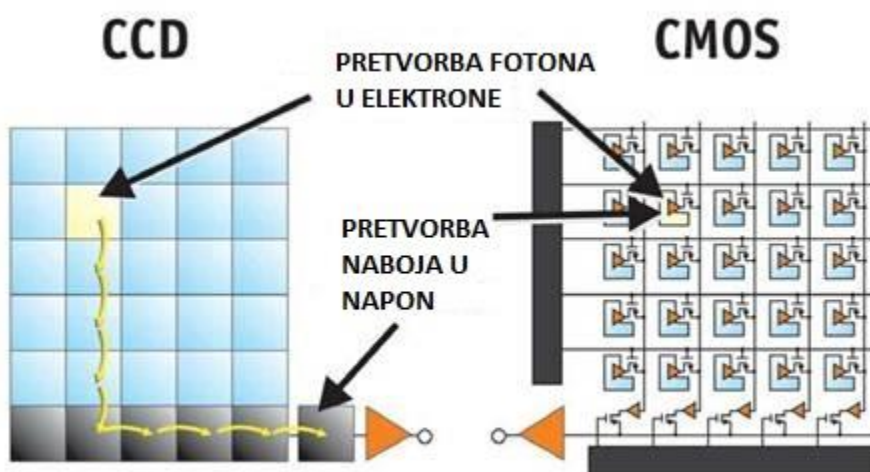
Sl.2.2. Arhitektura pametne kamere [1]

## 2.4. Razvoj pametnih kamera

Razvoj pametnih kamera je započeo ranih 90-tih godina kada je osobno računalo postalo popularno te kada su uređaji za „hvatanje“ slika postali dostupni. Kamere s CCD tehnologijom u ranim 70-tim su bile analogne. Kasnije tehnologije obrade digitalnog signala (DSP- engl. *digital signal processing*) pogurale su analogne CCD kamere u digitalno doba s poboljšanom kvalitetom slike ali izlazno sučelje tih kamera će uvijek biti analogno (npr. NTSC/PAL signali). Razvoj fotoaparata je omogućilo spajanje CCD kamera s analognim izlazom i računala te digitaliziranje i obradu slike putem računala. To je označilo početak mreže inteligentnih kamera u kojoj kamera izvodi „hvatanje“ slike a računalo provodi inteligentnu obradu podataka kao što je detekcija kretanje i prepoznavanje oblika. Prve aplikacije su se pojavile u poljima nadzora i industrijske optike. Razvoj CMOS (CIS) senzora slike u kasnim 90-tim odigralo je važnu ulogu u razvoju pametnih kamera i njihovih mreža ali i omogućilo je da pametne kamere budu manje i jeftinije. U usporedbi s CCD tehnologijom, CIS senzor slike ima nekoliko prednosti: manja veličina, smanjena cijena proizvodnje, niža potrošnja snage, mogućnost izgradnje kamere na čipu, mogućnost ubacivanja

inteligentnih krugova za obradu na senzorski čip i uvelike pojednostavljeni sistemski dizajn kamere.

Većina CIS senzora je izrađena istim postupkom kao i poluvodički čipovi (CPU, memorije itd.) što nam govori da većina proizvođača poluvodičkih čipova može proizvesti CIS senzore te se tako potiče natjecanje i smanjuje cijena samih senzora. Nasuprot tome, CCD senzori su pravljani koristeći postupak izrade posebnih čipova i postoji samo par takvih proizvođača u svijetu, većinom u Japanu. Set čipova CCD kamere se sastojao od najmanje 3 ili 4 čipa: CCD red elemenata slike, CDS (engl. *Correlated Double Sampling*), generator vremena i ADC (engl. *Analog-to-Digital Converter*) [1]. U slučaju CIS kamere, sve te funkcije se mogu integrirati na jedan čip i tako tvoreći pravu kameru na čipu. To značajno pojednostavljuje sistemski dizajn kamere i uvelike smanjuje cijenu. U usporedbi s CCD setom čipova, postoji mnogo izvora gdje se CIS senzor može kupiti, čak dio po dio, što omogućava mnogim istraživačima, studentima i proizvođačima kamera da sami razviju pametnu kameru. Vjerojatno najvažnija prednost CIS senzora je mogućnost da posjeduje red senzora slike i inteligentne krugove za obradu slike jedan kraj drugog na istom čipu.



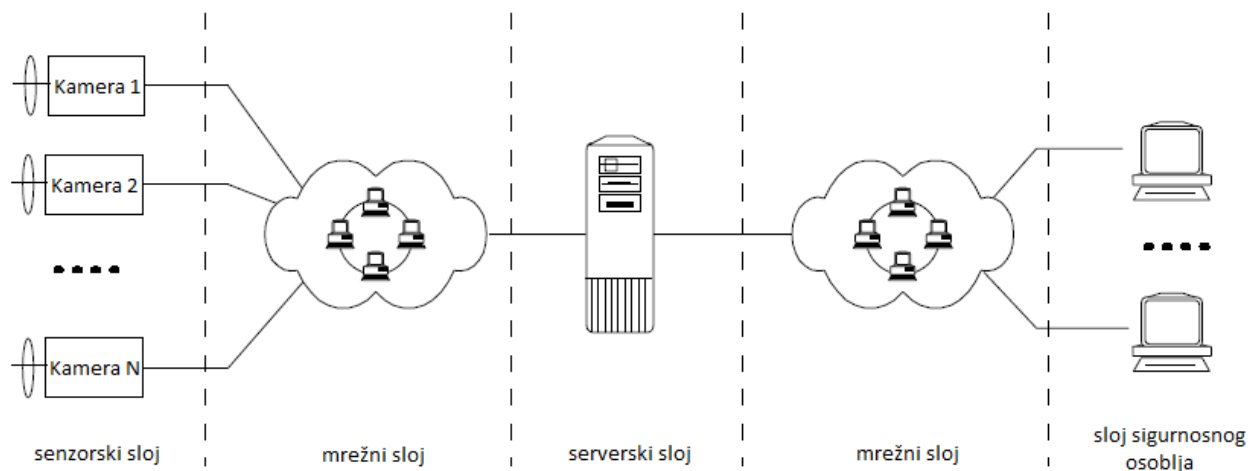
S1.2.3. Razlika u arhitekturi CCD i CMOS senzora

### 3. MREŽE INTELIGENTNIH KAMERA

#### 3.1. Mrežne pametne kamere

Usb kamere, Firewire kamere i mrežne kamere omogućuju digitalnim slikama da izravno budu poslana s kamere na osobno računalo ili na ugrađeni hardver za obradu te tako izbjegavajući gubitak signala uzrokovan ili DAC-om (engl. *digital to analog conversion*) unutar mnogih CCTV (engl. *closed circuit television*) kamera ili ADC-om (engl. *analog to digital conversion*) unutar raznih fotoaparata. 2G CCTV sistem je mrežni sistem za video nadzor tj. NVSS (engl. *network based video surveillance*). NVSS s ugrađenim inteligentnim značajkama za nadzor može se smatrati kao mreža virtualnih pametnih kamera. NVSS je tvoren od 4 glavna sloja: senzorski sloj, mrežni sloj, sloj centralnog računala i sloj učenog sigurnosnog osoblja (Sl.3.1.).

Razni studiji su zaključili da je dugotrajno i pažljivo promatranje preko kamera, od strane osoblja, iznimno teško i zahtjevno te da se zbog toga pojavljuju određene pogreške i propusti. Zbog tih razloga razvija se sljedeća generacija sistema za video nadzor – inteligentni sistem za video nadzor tj. IVSS (engl. *intelligent video surveillance system*) [2]. Taj sistem će pokušati riješiti probleme tako da omogućava automatizirani video nadzor i sposobnost prijevremenog uočavanja zločina. IVSS će ponovno pokrenuti algoritam za obradu podataka (ASIP) te tako značajno smanjiti opterećenje u NVSS sistemu tj. u sloju osoblja i što je najvažnije, stare CCTV kamere će zamijeniti pametnim kamerama. Upotreba pametnih kamera će uvelike smanjiti opseg problema zbog povećanog broja kamera u sistemu i pojačanim sistemom za nadzor jer slanje slike mrežom nije efikasno kao što je slanje rezultata nakon trenutačne analize i obrade slike.



Sl.3.1. Četiri sloja mrežnog sistema za video nadzor (NVSS) [2]

### 3.2. Distribuirane pametne kamere

Kao i u mnogim drugim primjenama, distribuirani sistem je mnogo efikasniji od centralizirane arhitekture. Video kamere generiraju velike količine podataka. Ukoliko prenosimo neobrađeni video do servera, mreža mora omogućiti potrebnu širinu za prolaz podataka. Nadalje, sam server mora moći podnijeti tako veliku količinu podataka i prenositi ih s mrežnog sučelja kroz memoriju, u procesor i izvan do spremišta.

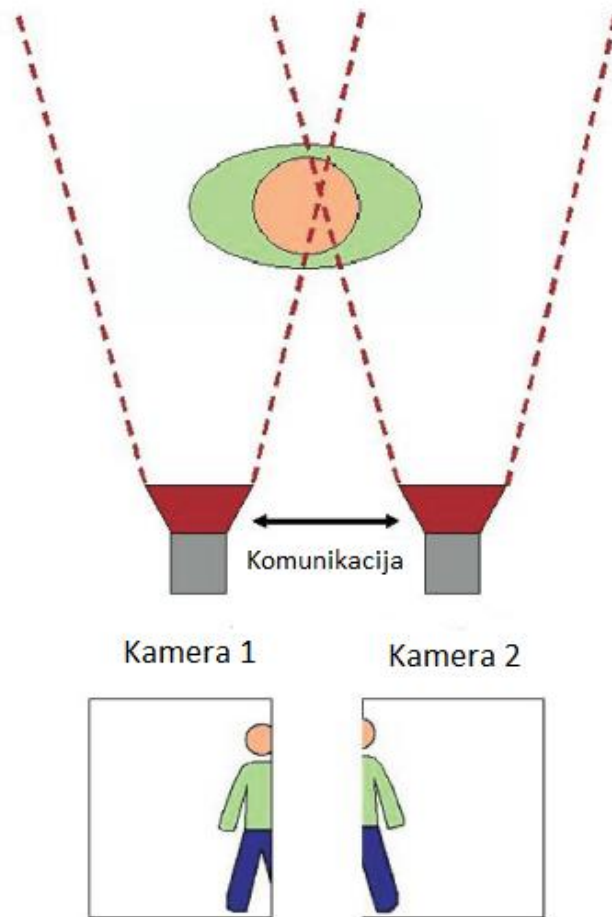
Pomicanje videa kroz mrežu također troši veliku količinu energije. U mnogim sistemima, komunikacija je od 100 do 1000 puta skuplja što se tiče energije nego sama obrada podataka. Realni sistemi kamera ne smiju previše zagrijavati okolinu. Iako podatci moraju biti uspoređeni na nekoliko kamera da bi se video analizirao, ne moraju sve kamere komunicirati jedne s drugima. Ukoliko možemo isplanirati da prijenos podataka bude samo između procesnih kamera, možemo osigurati da podatci teku samo na te kamere. Takva mreža može zaštititi fizički raspodijeljene kamere na način da bi se predviđena veličina mreže mogla iskoristiti efikasno. Još jedan razlog za ugrađivanje distribuirane mreže kamera je realno vrijeme. Vrijeme potrebno da informacija dođe do servera i nazad pridonosi kašnjenju donošenja odluke. Distribuirani sistem može osigurati da su samo bitne kamere uključene u donošenje odluke.

VSAM (engl. *virtual storage access method*) projekt je jedan od prvih sistema za nadzor koji se služio distribuiranim senzorima za obradu tj. SPU-ovima (engl. *sensor processing unit*),

koji mogu biti promatrani kao jedan tip ugrađenih kamera. Te jedinice su sposobne detektirati i pratiti objekte, klasificirati objekte u pokretu u kategorije kao što su „čovjek“ ili „vozilo“ te identificirati jednostavno ljudsko ponašanje kao što je šetanje. Mellet i Bove su razvili set kamera koji zajednički izvodi optičke zadatke. Fleck je predstavio sistem za nadzor koji se sastojao od distribuirane mreže pametnih kamera koji je omogućio praćenje i prisluškivanje veći broj osoba u realnom vremenu. Njihov tragač većeg broja objekata je baziran na filterima za boje. Praćenje poziva i prisluškivanje je ostvareno pomoću zajedničkog rada više pametnih kamera koje su bazirane na 3D modelu promatrane scene. Bramberger je predstavio drugačiji pristup praćenja pomoću više distribuiranih pametnih kamera. U ovom pristupu, praćenje se izvodi tako da se doslovno prati promatrani objekt tj. kada objekt napusti polje pregleda kamere, zadatak praćenja je da se prebaci na sljedeću kameru koja promatra objekt. Prisluškivanje je automatizirano između susjedskih kamera unutar mreže. Velipasalar je razvio „jedan po jedan“ arhitekturu sistema za praćenje. Ovaj sistem koristi više kamera za praćenje bez vraćanja informacija na centralni server.

### **3.3. Distribuirano prepoznavanje pokreta**

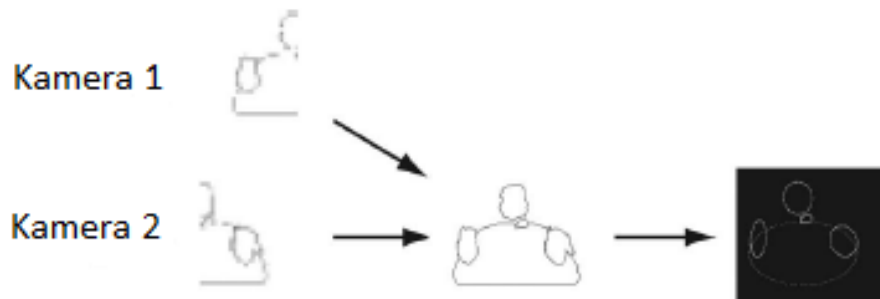
Kako bi lakše shvatili strukturu distribuiranog sistema pametnih kamera i izbora s kojima se proizvođači susreću, odabrali smo za primjer distribuirani sistem za prepoznavanje pokreta. Ovaj sistem je dizajniran za jedan čvor kamera te prvo je smišljen algoritam za jedan čvor kamera pa teko onda odlučeno kako će se on distribuirati u sistem. Na slici 3.2., se vidi subjekt uhvaćen na distribuiranom sistemu pametnih kamera. Niti jedna kamera nema cijeli pogled na subjekt pa se kao rezultat toga moraju kombinirati podatci s više kamera da bi se izgradio kompletan model subjekta. Mogli bismo postali neobrađene sažete video okvire između čvorova ali to bi tražilo veliku širinu mreže i ne bi imalo prednosti za naše znanje o podacima. U mnogim optičkim algoritmima izvodimo više faza analize te tako proizvodimo povećano shvaćanje svakog video signala.



Sl.3.2. Subjekt za prepoznavanje pokreta se kreće kraj zida kamera [1]

Ako se obrada može izvesti bez spajanja rezultata više kamera, ta faza se može napraviti lokalno i shvaćanje scene se može poslati drugoj kameri za spajanje. Kao što je prikazano na slici 3.3., jedna kamera izvlači konturu subjekta i šalje ju drugoj kameri koja onda završava konstrukciju modela spajajući dva rezultata tj. u našem slučaju generira oblik subjekta iz konture. No, komunikacijski uzorci između kamera ne smiju biti fiksni. Ukoliko se subjekt kreće, ne samo da neke kamere gube i dobivaju subjekta u vidnom polju već se i cjelokupna uloga čvora kamera mora promijeniti. Ukoliko kamera izgubi subjekta iz vidnog polja, uglavnom želimo maknuti tu kameru u računanje i stvaranje slike o subjektu. Nadalje, izbor koja će kamera izvesti zadnju fazu prepoznavanja može varirati. U primjeru na slici 3.3. izbor glavne kamere je proizvoljan jer svaka kamera ima jednak pogled na subjekta. No, zbog gore navedenog razloga želimo moći mijenjati

fokus naših kamera tj. koja će kamera izračunati i obraditi subjekta s obzirom kako se subjekt kreće.

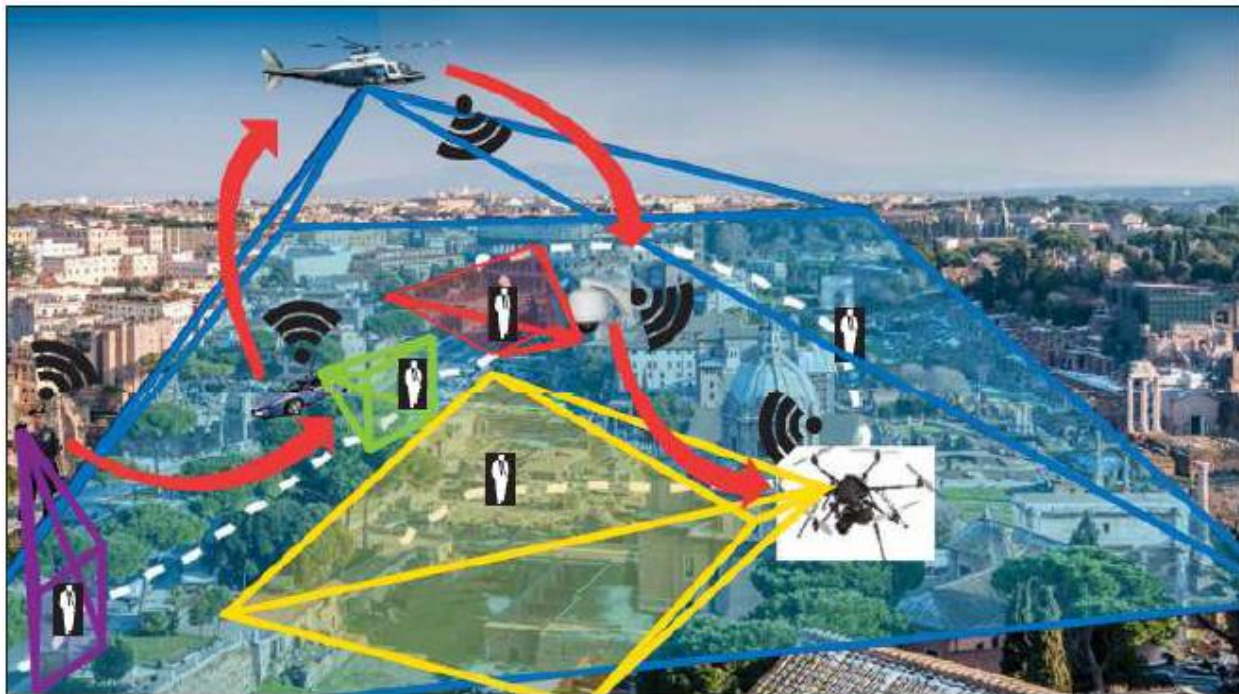


Sl.3.3. Stvaranje kompletnog modela subjekta s više kamera [1]

### 3.4. Mreže samopodesivih inteligentnih kamera

Sa povećanim brojem sofisticiranih uređaja za osjet, obradu i komunikaciju podacima, inteligentne kamere su značajno povećale sposobnost snimanja i analiziranja scene. Mreže inteligentnih kamera mogu ubrzo postati vitalni dio u nekim područjima primjene kao što su operacije spašavanja, upravljanje katastrofama te očuvanje i nadzor divljine. Mnoge od ovih primjena su dinamične te tako zahtijevaju od kamera da se prilagođavaju promjeni uvjeta. Samopodesivost omogućuje takvu prilagodbu gdje kamere zajedno jedna s drugom formiraju autonomnu mrežu koja može klasificirati dosad neviđene uvjete i upravljati s trenutnim resursima. Karakteristike mreže mogu varirati zavisno o primjeni, no samopodesivost obično uključuje izbor kamere, upravljanje njezinim vidnim poljem (FOV – engl. *field of view*) te dodjelu zadataka [3].





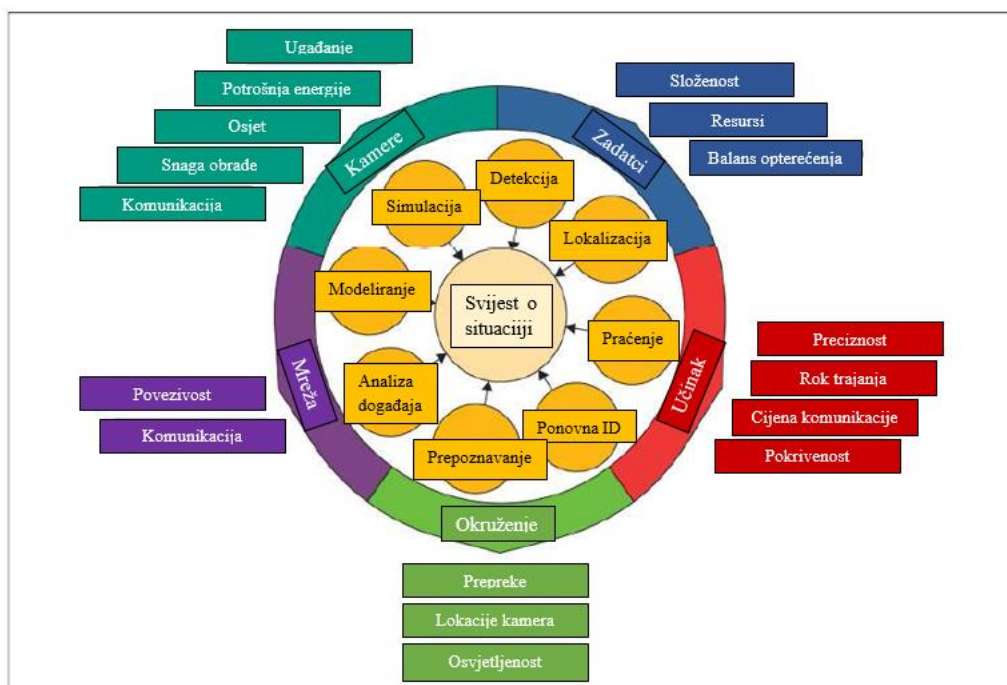
Sl.3.4. Jednostavni scenarij za samopodesivu mrežu inteligentnih kamera [3]

Na slici 3.4. kamere na zračnom vozilu bez posade promatraju široko područje i predviđaju željene zadatke te prilagođavaju postavke kako bi postigli odgovarajuću kvalitetu usluge (QoS – engl. *quality of service*). Kamere na zemljanom vozilu bez posade koriste informacije iz zračnog vozila da bi se približili sceni kako bi prepoznali osobe, geste i objekte. Manje kamere na vozilima mogu tada snimiti visoko kvalitetne slike mete iz blizine koje onda policajci koriste u prepoznavanju i istrazi.

Na slici 3.4. se vidi scenarij koji uključuje detekciju, lokalizaciju i reidentifikaciju. Veliki broj senzora omogućava potpunu pokrivenost promatranog područja s različitim vidnim poljima (trapez). Suradnja između kamera omogućava pokretanje video analitičkog zadatka na najprimjerenijem senzoru. Veća vidna polja (FOV) mogu pratiti pokretnu metu te ju u isto vrijeme identificirati i analizirati njezino ponašanje. Neprestana podjela informacija (crvene strelice) omogućava distribuciju znanja (npr. opis mete) između kamera koje onda omogućavaju željenu kvalitetu usluge (QoS) video analitičkog zadatka u ovom scenariju bez preklapajućih vidnih polja. Mreža kamera ima nekoliko zahtjeva za samopodesivost te svaki dio samopodesivog kruga ima svoje zahtjeve za mnogobrojne kamere.

### 3.4.1. Pet stupova samopodesivosti

U mreži inteligentnih kamera, samopodesivost je zajednički i autonomni proces traženja određenog stanja mreže koji je optimalan za tadašnje kriterije. Možemo navesti pet stupova samopodesivosti: kamere, mreža, okruženje, zadatci i učinak.



Sl.3.5. Osnovni elementi samopodesivih mreža inteligentnih kamera [3]

Slika 3.5. nam prikazuje 5 elemenata za izgradnju samopodesivosti koje svaka mreža pametnih kamera mora uzeti u obzir. Okruženje, mrežna povezivost, karakteristike svake kamere posebno, zahtjevi zadataka i ciljevi učinka utječu na suradnju inteligentnih kamera dok one pokušavaju postići maksimalnu svijest o situaciji.

## **Kamere, mreža i okruženje**

Prvi stup, kamere, definira svaku kameru da bude samopodesiva s obzirom na svoju fizičku lokaciju te s obzirom na resurse povezane s potrošnjom energije (baterija), osjetom (vrsta senzora ili FOV), obradom (procesor i memorija) i komunikacijom (protokol).

Mreža definira povezivost između kamera u smislu kako komuniciraju i kako dijele vidna polja. Povezivost se može promijeniti s obzirom na karakteristike kamere, broj kamera i širinu komunikacijskog kanala. Stoga, svaki protokol koji upravlja komunikacijom i obradom mora uzeti u obzir različite aspekte. Neki od njih su: optimalno dijeljenje komunikacijskog kanala, čuvanje od pogrešaka u prijenosu, usmjerenje informacija o učinkovitosti energije i komunikacijska podrška između većeg broja uređaja.

Treći stup, okruženje, uključuje promatranje lokacije ili kontrolnih točaka koje kamera uvijek mora pokrivati te promatranje svakog statične ili pokretne prepreke koja bi mogla blokirati vidno polje.

## **Zadatci**

Svaka pametna kamera surađuje s drugim kroz odluke vezane za zadatke i operacije. Odluke vezane za zadatke izvršavaju dodijeljene zadatke kao što je procjena izgleda i pozicije pokretne mete. Operacijske odluke rezultiraju u dijeljenju informacija svim kamerama u svrhu rješavanja određenog zadatka i omogućavanja suradnje inteligentnih kamera kao što je planiranje video analitičke procedure. Stoga, elementi samopodesivih zadataka uključuju ograničavanje resursa kao što su energija, cijena obrade te balans opterećenja zadatcima između kamera. Balans opterećenja zahtjeva promjenu zadataka s obzirom na složenost i potrebne resurse. Za primjer možemo navesti kada neka mreža promjeni zadatak prepoznavanja ponašanja sa zadatkom detektiranja objekta, izvlačenja značajki i prostorno-vremenskog zaključivanja. Iako promjena procedura u teoriju zvuči lagano i odgovarajuće, potreba za promjenom složenih zadataka komplicira proceduru mreža pametnih kamera.

## Učinak

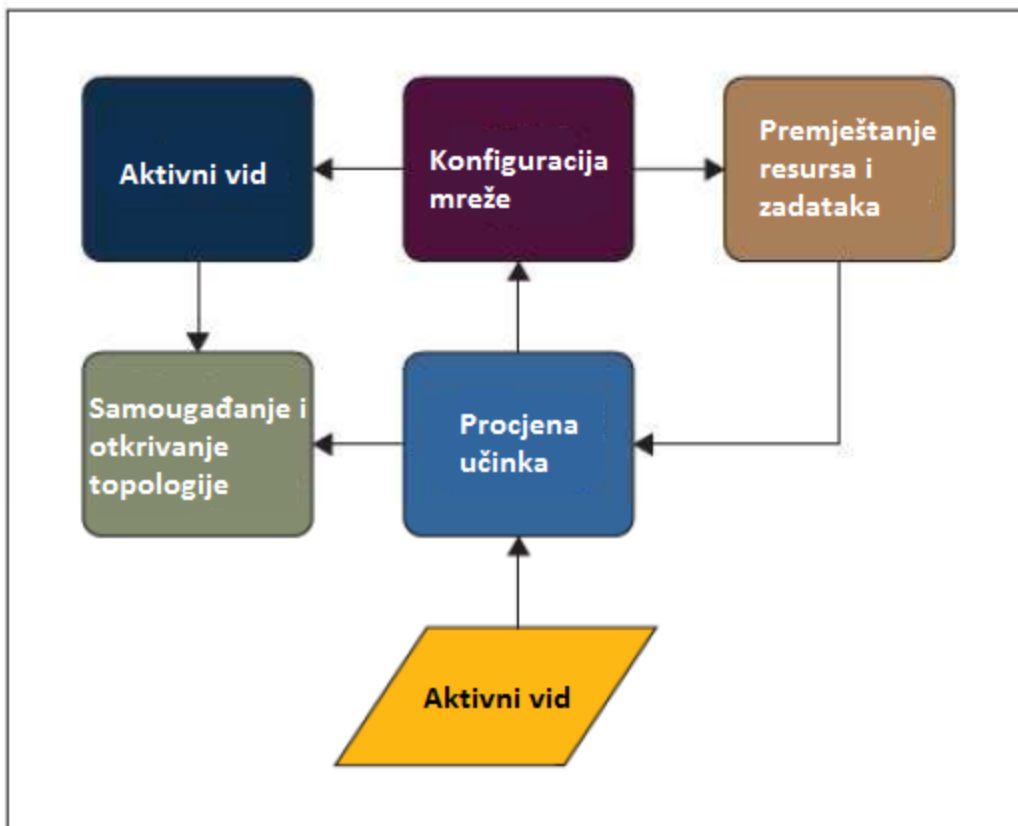
Kriteriji učinka se mjeri pomoću uspješnosti samopodesive strategije. Tipični učinak se mjeri preciznošću i potrebnom vremenu za završetak zadatka, potrošenoj energiji, cijeni komunikacije i roku trajanja svake kamere ali i čitave mreže. Svi se ti kriteriji oslanjaju na svojstvo mreže da neprestano optimizira svijest o situaciji i da bude otporna na greške.

Optimalno stanje mreže ovisi o strukturi mreže i stanju svake kamere pojedinačno no, optimizacija često uključuje promjenu algoritama i hardverskih parametara. Parametri algoritma uključuju hvatanje i obradu okvirnih stopa, rezoluciju slike, nivo sažimanja i definiciju zadatka. Hardverski parametri uključuju broj kamera koje sudjeluju i poziciju svake kamere te njihova vidna polja. Promjena vidnog polja uključuje optimizaciju vanjskih parametara kamere, kao što su orijentacija i povećanje te unutarnjih parametara kao što su leća i fokus. Optimizacija također ovisi o kriteriju kvalitete slike, kao što je minimalna rezolucija promatrane mete i njezine orijentacije s obzirom na kameru.

Mreže inteligentnih kamera se moraju nositi s multifunkcionalnošću, ograničenjem širine komunikacijskog kanala i vremenskim karakteristikama mreže. Struktura mreže se promjeni kada se kamera pokrene, ugasi zbog uštede energije te napusti ili uđe u mrežu za vrijeme dok radi. Zbog tih razloga, svojstva samopodesivosti se moraju prilagoditi nemogućim uvjetima dok obavljaju zadatke koji nisu uvijek unaprijed određeni. Na primjer, mreža inteligentnih kamera mora ažurirati svoju konfiguraciju te istovremeno procjenjivati požar u gorućoj zgradi te pratiti kretanje vatrogasaca i stanara koji napuštaju zgradu.

### 3.4.2. Rekonfiguracija kao kontinuirani ciklus

Slika 3.6. prikazuje neprekidni ciklus koji opisuje glavne faze omogućivanja zajedničke rekonfiguracije. Ciklus se sastoji od otkrivanja topologije, samougađanja, premještanje resursa i zadataka te aktivnog vida. Primarni cilj samougađanja odnosno rekonfiguracije je dinamično određivanje susjeda svake kamere tako da one mogu surađivati jedna s drugom. Efektivna rekonfiguracija ovisi o svojstvima mreže da li može koristiti samougađanje i otkrivanje topologije radi izvlačenja i ažuriranja njezine strukture.



Sl.3.6. Kontinuirani ciklus rekonfiguracije u mreži inteligentnih kamera [3]

### Samougađanje

Samougađanje uključuje geometrijsku analizu koja se odvija pomoću unutarnjih i vanjskih informacija kamere. Vanjske informacije kamere određuju 3D lokaciju i orijentaciju kamere unutar globalnog koordinatnog sustava. Pristupi za samougađanje mogu varirati u odnosu na vidno polje, čvorove ili preklapajuće kamere. U većini slučajeva, samougađanje počinje na jednoj kameri u koordinatnom sustavu te se serijski nastavlja kroz mrežu sve uz stratešku suradnju kamere odnosno pomoću informacija o njihovoj lokaciji i orijentaciji.

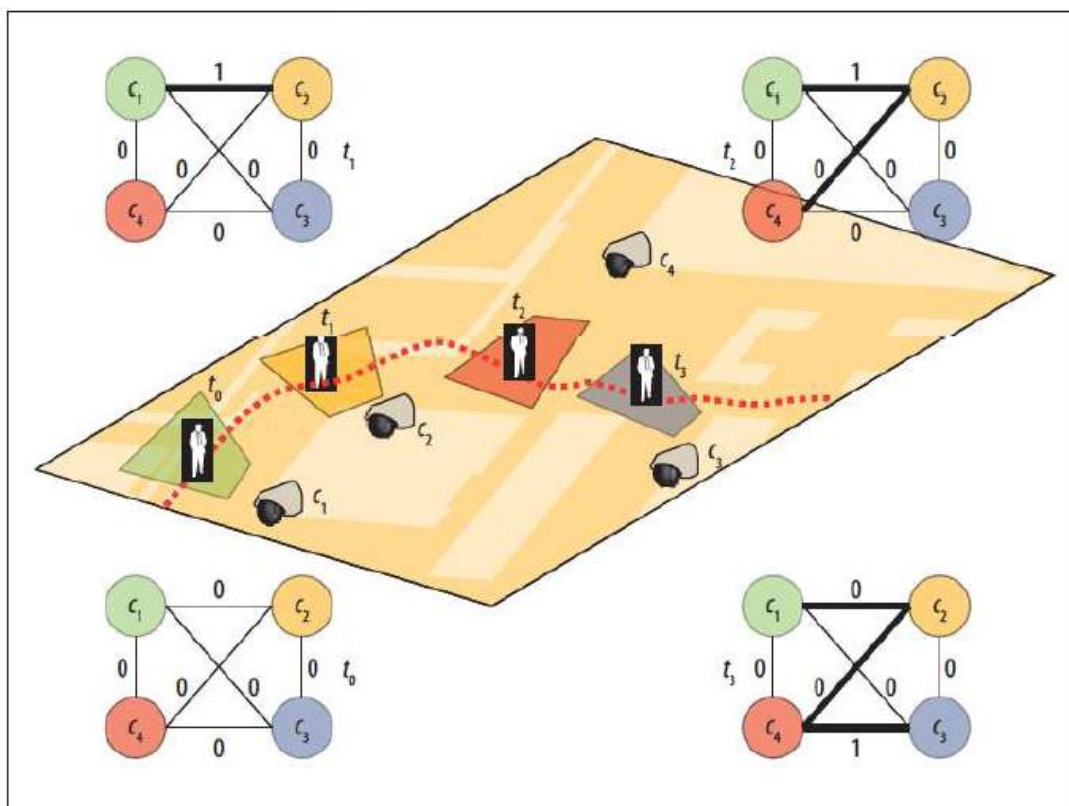
Za kamere s preklapajućim vidnim poljima, zajednička kalibracija usklađuje slike s više vidnih polja, izvlačeći opisne značajke sa svakog vidnog polja te ih potom šalje kroz mrežu. Da bi se našao pogodan par, kamere surađuju tako da uspoređuju obrađene opise s opisima koje prime kroz mrežu. U svrhu definiranja potencijalnog para, kalibracijski algoritmi određuju sličnosti

između vidnih polja. Da bi se smanjila lista mogućih kandidata, koriste optimizacijski proces da proberu najbitnije sličnosti.

Kada su kamere s nepreklapajućim vidnim poljem, nepromatrano područje između vidnih polja uvelike kompliciraju ugađanje. Jedan pristup za olakšano ugađanje u ovim slučajevima je tako da mreže koriste kretnje mete ali ova strategija pretpostavlja da se meta kreće konstantno kroz vidna polja kamera, što nije uvijek točno.

### Otkrivanje topologije

Mreža ima nekoliko mogućih strategija za pronalazak topologije odvojenih kamera, uključujući i analiziranje obrazaca kretanja, primjenjujući tehniku reidentifikaciju za lociranje mete u pokretu i određivanje sličnosti u različitim vidnim poljima. Praćenje meta kroz mrežu odvojenih kamera zahtjeva mehanizme za prebacivanje kontrole zadatka za praćenje s jedne kamere do druge te za dodjeljivanje određene kamere određenoj meti.



Sl.3.7. Reidentifikacija mete između odvojenih vidnih polja [3]

Na slici 3.7. akcijski mehanizam može upravljati prebacivanjem i kontrolom zadatka za praćenje svaki puta kada meta napusti vidno polje kamere koja ga trenutno prati. Kamere koje mogu pratiti metu će signalizirati da su u mogućnosti odnosno da je meta u njihovom vidnom polju. Direktno na primjeru na slici 3.7. vide se kamere  $c_1$  do  $c_4$  koje surađuju pri praćenju mete. Kako meta napušta vidno polje kamere  $c_1$  u trenutku 0 ( $t_0$ ),  $c_1$  prebacuje kontrolu kameri  $c_2$  koja smanjuje opterećenje između kamera, prikazano podebljanom linijom u  $t_1$  grafu. Kako meta nastavlja prolaziti kraj četiri kamere, prebacivanje kontrole za praćenje je način koji pomaže u određivanju topologije mreže [3].

### **Premještanje resursa i zadataka**

Mreže inteligentnih kamera s ograničenim resursima moraju upravljati baterijom odnosno njezinom izdržljivošću, širinom komunikacijskog kanala i snagom procesiranja. Što je mreža veća, sve je važnija kontrola resursa. Kamere moraju smanjiti snagu procesiranja i to postižu prebacivanjem video analitičkih zadataka na kamere koje su pod manjim opterećenjem. Rekonfiguracija mora utvrditi koje je područje bitno za nadgledat te koliko kamera se mora uključiti. Istraživači su predstavili velik broj rješenja za ovaj problem koje sadrže razne modele vidnog polja.

Upravljanje resursima mora promijeniti parametre svake kamere i cijele mreže da bi se prilagodili dinamičnosti scene i dostupnosti resursa. Optimizacija resursa se koristi za povećanje učinka mreže no to rješenje je još uvijek u razvoju i istraživanju. Sva moguća rješenja usklađuju potrošnju energije s željenim učinkom tako da se resursi premjeste na mjesto zadatka ili da se optimizira komunikacija video podacima. Optimizacija u realnom vremenu je ključna za održavanje mreže i produljivanje njezinog životnog vijeka.

Premještanje ili planiranje zadataka je ključni dio ciklusa zbog toga jer zadatci mogu biti složeni i brojni. Glavna ideja je dodjeljivanje ciljeva svakoj kameri tako da im se omogućava suradnja u svrhu ostvarivanja glavnog cilja mreže. Sve strategije premještanja moraju uzeti u obzir ograničenja resursa svake kamere čime određuju najpogodniju za izvršenje danog zadatka.

Isključivanje nepotrebnih kamera zbog uštede energije redefinira topologiju i zahtjeva odgovarajuće premještanje zadatka u realnom vremenu.

### **Aktivni vid**

Aktivni vid uključuje neprestane interakcije između inteligentnih kamera i okruženja u svrhu odlučivanja što promatrati i kako poslagati prioritete između zadataka. Kamere mogu aktivno promijeniti unutarnje i vanjske parametre (translaciju, rotaciju, širinu, nagib i povećanje) zbog prilagođenja njihovih vidnih polja određenom zadatku, kao što je povećanje preciznosti u lokalizaciji objekta. Kamere mogu proširiti vidno polje i nagnuti se da bi se povećao dio slike u kojem se nalazi meta te povećati lice mete ili registracijsku oznaku. Također mogu podesiti unutarnje parametre zbog povećanja kvalitete slike, npr. povećanje parametra šarenice kada meta uđe u sjenovito područje.



## **4. PRIMJENA MREŽA INTELIGENTNIH KAMERA**

Kamere korištene u raznim poljima mogu biti bazirane na dva sistema, s ili bez markera. Sistemi s markerom koriste kamere za praćenje pozicije fiksiranih markera tj. određenih anatomskih dijelova na ljudskom tijelu. Iako je ova metoda veoma korištena u mnogim istraživanjima i razvojnim projektima, stavljanje markera na subjekta uvelike ograničava praktičnost. S druge strane, sistemi koji ne koriste markere primamljivu alternativu zato što uključuje manje pripreme pri skupljanju podataka. No u ovoj tehnologiji teže je definirati biomehaničke funkcije subjekta zbog ne detaljnog označavanja anatomskih dijelova na ljudskom tijelu.

### **4.1. Medicina**

Kako vidimo u tablici 4.1. kamere bez markera mogu naći razne primjene koje se oslanjaju na kvantitativno mjerenje i inteligentno odlučivanje o ljudskim pokretima. U mnogim medicinskim aplikacijama, prednosti u pristupačnim, ali efikasnim preciznim metodama snimanja pokreta bi mogle pomoći pri tranziciji mjerenja ljudskog pokreta iz istraživačkog okruženja do stvarne primjene u medicinskim centrima, sportskim objektima i domovima. S ovim novim metodama za snimanje pokreta, ne stručnjaci mogu mjeriti pokrete cijelog tijela s minimalnim tehničkim treningom, što sisteme čini veoma pogodnim za kliničku praksu ili sportske treninge. Snimanje kao i brojanje koordiniranih pokreta zasebnih dijelova tijela omogućuje novi pogled na status funkcija, tretmana i rehabilitacije te rizik od ozljede [4].

Tab.4.1. Primjena mreže inteligentnih kamera bez markera u medicini [4]

Opis sustava	Primjena	Značajke i doprinos
Snimanje pokreta bez markera koristeći osam sinkroniziranih VGA kamera (640 x 480 elemenata slike, >100Hz)	Proučavanje pokreta u svrhu određivanja faktora rizika za sportske ozljede	Stvaranje 3D modela subjekta koristeći laserski skener i ujednačavanje modela s vizualnom konturom iz mreže kamera. Mjerenje kinematike gornjeg dijela tijela pri brzim pokretima i pri svjetlosnim uvjetima te stvaranje 3D modela subjekta
Sinkronizirane web kamere (640 x 480 elemenata slike, 25Hz)	Procjenjivanje hoda i pozicijske tranzicije u pacijentov dom	Rekonstruiranje 3D modela iz silueta Mjerenje parametre hoda i prepoznavanje pozicija stajanja i sjedenja.
Jedna kamera (1000 x 1400 elemenata slike, 25Hz)	Analiza pozicijske tranzicije	Praćenje dijelova tijela koristeći teoriju maksimalne vjerojatnosti iz Gauss-Laguerre transformacijske domene. Računanje 2D putanja ljudskih zglobova
Kamera dubine iz jednog kinetičkog uređaja (640 x 480 elemenata slike, 30Hz)	Mjerenje kinematike ruku	Označava ruke pomoću algoritma za konture i onda procjenjuje položaj članaka na prstima koristeći algoritam za modele Mjeri pokrete prstiju u realnom vremenu
Kamera dubine iz jednog kinetičkog uređaja (640 x 480 elemenata slike, 30Hz)	Pomaže pacijentu pri kontroli trupa za vrijeme hodanja	Mjeri poziciju zglobova gornjeg dijela tijela koristeći metodu praćenja kostura Daje povratnu informaciju za nagib trupa

#### **4.1.1. Poboljšanje funkcije zglobova**

Primarni cilj tretmana nakon lokomotorne ozljede ili bolesti je poboljšanje funkcije zglobova povezanih s prirodnom kretnjom. Generalno, početna dijagnoza i tretmani nakon nje za ove ozljede su ručne procedure. Fizioterapeut ili koristi jednostavne uređaje, kao što su goniometre, za mjerenje pasivne kretnje zglobova ili promatra kako pacijent izvodi određeni zadatak, uglavnom povezan s dnevnim aktivnostima. Istraživanja su pokazala da mjerenje broja aktivnih kretnji može povećati osjetljivost procjene koja može biti dijelom zaslužna za razvoj ortopedije, neurologije i gerijatrije. Mrežni sistemi kamere što analiziraju ravnotežu pri šetanju će popraviti detekciju i osjetljivost brojanja ozljeda i omogućiti pažljiviju njegu. Sposobnost mjerenja pokreta u medicinskim centrima, sportskim objektima i domovima omogućuje fizioterapeutima i trenerima da preciznije identificiraju bitne parametre kretnje.

#### **4.1.2. Rehabilitacija**

Protokoli za rehabilitaciju za mnoga zdravstvena stanja, uključujući lokomotorne ozljede i neurološke povrede, uzima u obzir fizikalnu terapiju koja cilja da pacijent povрати funkcionalne pokrete. Fizioterapeuti često preporučuju umjerenu tjelevoježbu za one koji imaju rizik od padanja. Integriranjem jednostavnog sistema za snimanje pokreta s fizioterapeutskim protokolima bi pomoglo pri praćenju napretka i za dobivanje povratne informacije pacijenta. Iako sadašnja izvedba sistema s više kamere je dovoljno jednostavna za pomoć pri rehabilitaciji u posvećenim objektima, takav sistem još uvijek zahtjeva složenu ugradnju te ga ograničava za upotrebu u kućama. S pristupačnim videom i dubinsko-osjetljivim kamerama, sistem bi uskoro mogao biti od koristi i u kućnoj rehabilitaciji.

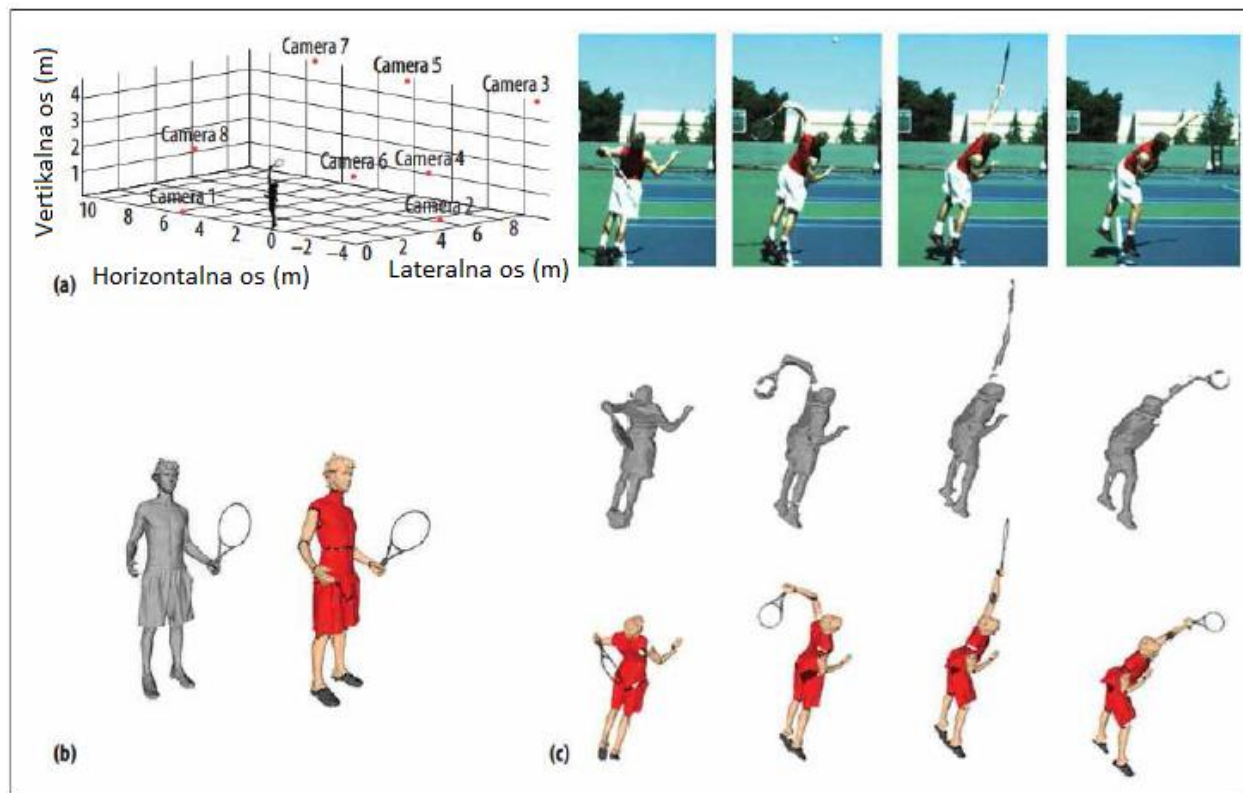
#### **4.1.3. Nadzor na daljinu**

Snimanje pokreta bi također moglo biti dio nadzora na daljinu, omogućujući fizioterapeutima praćenje napretka pacijenta s dijagnosticiranim zdravstvenim stanjem ili zbog gledanja pacijenta u slučaju novih nezgoda i bolesti. Zbog toga što češće mjere podatke, takvi uređaji bi mogli pridonijeti boljem tretmanu pacijenta. Procjena je jeftinija i preciznija jer je

pacijentovo stanje proučava u njegovom tipičnom okruženju. Sistem snimanja pokreta može pomoći pri gledanju starijih i nemoćnih osoba zbog padova ili drugih abnormalnih pokreta.

#### 4.1.4. Procjena rizika povrede

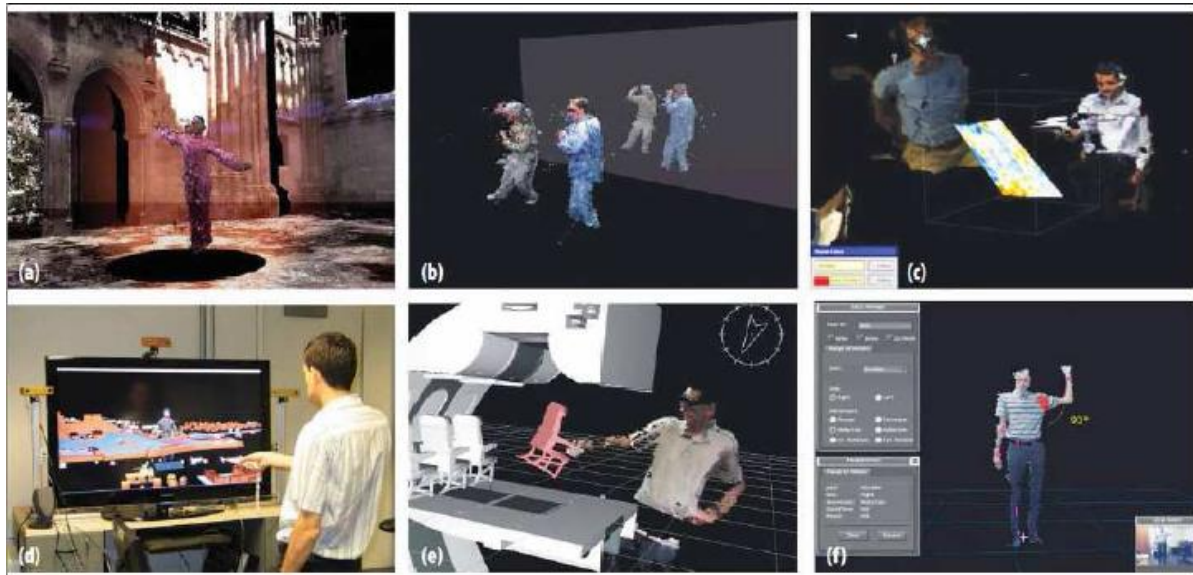
Lakoća upotrebe sistema bez markera također može olakšati procjenu rizika sportske povrede. Primjer se vidi na slici 4.1. koja uspoređuje kinematiku gornjih udova i kinematiku između tri tipa teniskih servera da predloži povećani rizik ozljede ramena i leđa. Drugi istraživači su koristili 3D metodu snimanja pokreta za mjerenje kretnje donjih udova i torza te za demonstraciju kako rezultati mjerenja mogu pomoći fizioterapeutima da analiziraju faktore rizika zbog ozljede križnih ligamenata pri trčanju i okretanju.



Sl.4.1. Primjena metode za snimanje pokreta bez markera za analizu teniskih servisa [4]  
(a) Konfiguracija mreže pametnih kamera u okolini, (b) 3D laserska slika subjekta (lijevo) i odgovarajući model u dijelovima s izraženim zglobovima (desno), (c) praćenje pokreta atletičara

## 4.2. Komunikacija sljedeće generacije

Još jedno važno područje primjene za mreže pametnih kamera bez markera je komunikacija sljedeće generacije tj. teleimercija (engl. *teleimmersion*), koja omogućava zemljopisno udaljenim korisnicima međusobnu komunikaciju kroz njihove 3D avatare. U tablici 4.2. vidimo neke projekte koje predstavljaju komunikaciju sljedeće generacije. Ona naglašava mane sadašnje 2D videokonferencije kao što su nemogućnost zadržavanja kontakta oči u oči te precizno snimanje dinamike izraza i gesta lica. Mreža pametnih kamera koristi slike visoke rezolucije, strateški postavljene ekrane za prikaz udaljenih korisnika i omogućuju odgovarajuću okolinu za stvaranje iluzije kontinuiteta između fizikalne i virtualne stvarnosti. Istraživači su naveli neke mane 2D tehnologije služeći se preklapanjem više kamera poslaganih u linearni red tako da mogu dostaviti puno video podataka s višestrukih točaka vida kako bi napravili detaljan 3D model [4]. Složeniji red kamera bi mogao snimiti ogromne 3D scene na nekim zabavnim događajima poput koncerata, sportskih događaja i modnih revija.



Sl.4.2. Aplikacija teleimercije na Kalifornijskom Sveučilište, Berkeley [4]

*Aplikacija koristi zvučne kamere i Kinect te uključuje (a) udaljeno plesanje, (b) učenje tai chi-a, (c) učenje geoloških znanosti, (d) virtualna arheologija, (e) dizajniranje s udaljenosti i (f) telemedicina*

Tab.4.2. Primjena mreže inteligentnih kamera bez markera u teleimerciji [4]

<b>Opis sistema</b>	<b>Primjena</b>	<b>Značajke i doprinos</b>
3D prisutnost: 16 HD kamera	Videokonferencija	Rekonstrukcija hibridnog 3D sustava iz vizualne ljuske i osnovnog zvuka.
Berkeley teleimercija: 16 do 48 VGA kamera (640 x 480 elemenata slike)	Tai chi, umjetnost, arheologija, geološke znanosti, telemedicina	Rekonstrukcija 3D sustava slika s neobičnom reprezentacijom višeskalne mreže. Prilagodljivo 3D video kodiranje s kontrolom detalja i boja.
Blue-c: 16 VGA kamera (640 x 480 elemenata slike)	3D ogledalo, virtualni butik, sajam auta, umjetnost	Prvi potpuni 3D teleprisutni sistem s aktivnim LCD panelima. 3D rekonstrukcija iz silueta s prilagodljivom 3D transmisijom
Sistem od pet Kinect kamera	Videokonferencija, interakcija 3D modela	Efikasna kompresija 3D geometrijske mreže. 3D prijenos podataka s ispravkom pogrešaka pomoću UDP-a.
Sistem od osam kamera od $1 \times 10^6$ elemenata slike	3D LIDAR (engl. <i>light detection and ranging</i> ) model	Rekonstrukcija 3D poliedra iz više silueta. Telekonferencija oči u oči
Početni prikaz: tri IR kamere, tri XGA kamere u boji i jedna Kinect kamera	Videokonferencija	3D rekonstrukcija s raštrkanim kamerama baziranim na IR obrascu projektiranja. Telekonferencija oči u oči.

#### 4.2.1. 3D rekonstrukcija početnog prikaza

Čak i složeni redovi kamera snimaju scenu iz jedne lokacije pa ne mogu potpuno izgraditi 3D oblike i strukture. Nasuprot tome, sistem više kamera nudi fleksibilnost u odabiru početnog prikaza te tako stvara sistem bez markera za snimanja pokreta omogućujući 3D video početnog prikaza. Ugrađivanjem ovog sistema u 3D modele i njihovu virtualnu okolino, može pojačati osjećaj prisutnosti i promovirati blisku komunikaciju između geografski udaljenih korisnika. Prva 3D rekonstrukcija početno prikaza ljudskog subjekta koristeći se sistemom više kamera je bila

1997. Od tada, istraživači su razvili mnogo sustava s više kamera koristeći se raznim tehnologijama za snimanje za pasivnu ili aktivnu 3D rekonstrukciju. U pasivnim sistemima, kamere snimaju scenu iz više uglova dok računalo pokreće optički algoritam za obradu slike koji rekonstruira scenu. Aktivni sistemi, s druge strane, koriste laser ili strukturu svjetla kako bi postigli aktivnu iluminaciju koja pojednostavljuje proces 3D rekonstrukcije.

#### **4.2.2. Pasivna 3D rekonstrukcija**

Većina pasivnih 3D rekonstrukcija se bazira na kombinaciji triju metoda. U prvoj metodi, rekonstrukciji iz silueta, sistem skuplja 3D informacije iz vizualnih sjenki tako da generalizira veze između subjektivih silueta i središta kamere. Iako je ta metoda veoma brza u obradi podataka, teško se pouzdati u siluete u nekim složenijim okolinama i samo konveksne površine se mogu rekonstruirati iz vizualnih sjenki. Blue-c, sagrađen 2003., je bio prvi teleimercijski sistem baziran na siluetama cijelog tijela.

Voksel rekonstrukcija koristi algoritme koji prave 3D oblike tako da izdvajaju i rezbare slike scene s više kamera zavisno o gustoći slike. Voksel je grafička jedinica u 3D mreži koja predstavlja osnovnu jedinicu za građu mreže. Ovaj pristup omogućuje proizvoljnu geometriju i topologiju ali vokseli visoke rezolucije su veoma skupi za obradu. Sistem 3D prisutnosti za videokonferenciju, razvijen 2003. koristi hibridni pristup, kombinirajući voksel rekonstrukciju i dubinsku zvučnu procjenu.

U rekonstrukciji slike, sistem koristi gustu zvučnu mrežu iz više pari zvučnih kamera za rekonstrukciju scene. Taj pristup može riješiti konkavne površine, ali obrada može biti nepouzdana što se tiče teksture i sklona pogreškama oko zatvarajućih granica. 2001. godine, istraživači na Pensilvanijskom Sveučilištu su razvili teleimercijski sistem u kojem se preklapaju tripleti zvučnih kamera te tako snimaju gornji dio tijela udaljenih korisnika. Teleimercijski sistem na Kalifornijskom Sveučilištu u Berkeleyju je iskoristio prednosti sličnog zvučnog sistema kako bi generirao pogled na cijelo tijelo u 360 stupnjeva. Na slici 4.2. vide se ostale primjene teleimercijske tehnologije u Berkeleyju [4].

### **4.2.3. Aktivni optički sistemi**

Aktivne 3D kamere postaju važna tehnologija za buduće 3D teleimercijske sisteme. Kamere za mjerenje leta kao što su Swiss Ranger i Microsoft Kinect 2.0 koriste udaljenost točaka u scenama tako da mjere vrijeme potrebno svjetlu da pređe od jednog IR odašiljača nazad do senzora kamere nakon refleksije od 3D površinu. Kamere za projekciju, kao što je Microsoft Kinect 1.0 koriste obrazac svijetla projektirane strukture za rekonstrukciju nepoznate geometričke površine. Kamere za strukturu svjetlom, većinom Kinect, dobile su mnogo pozitivnih komentara jer omogućuju jeftinu i efikasnu obradu scene ljudskog subjekta koji se nalazi u robusnoj, mračnoj ili bilo kakvoj drugoj otežavajućoj okolini. Veliki minus kod aktivnih kamera je manjak hardverske sinkronizacije za omogućavanje korištenja više početnih točaka jer može doći do interferencije putanja aktivne svjetlosti pri odbijanju od istu površinu.

### **4.3. Video nadzor i potvrda cilja**

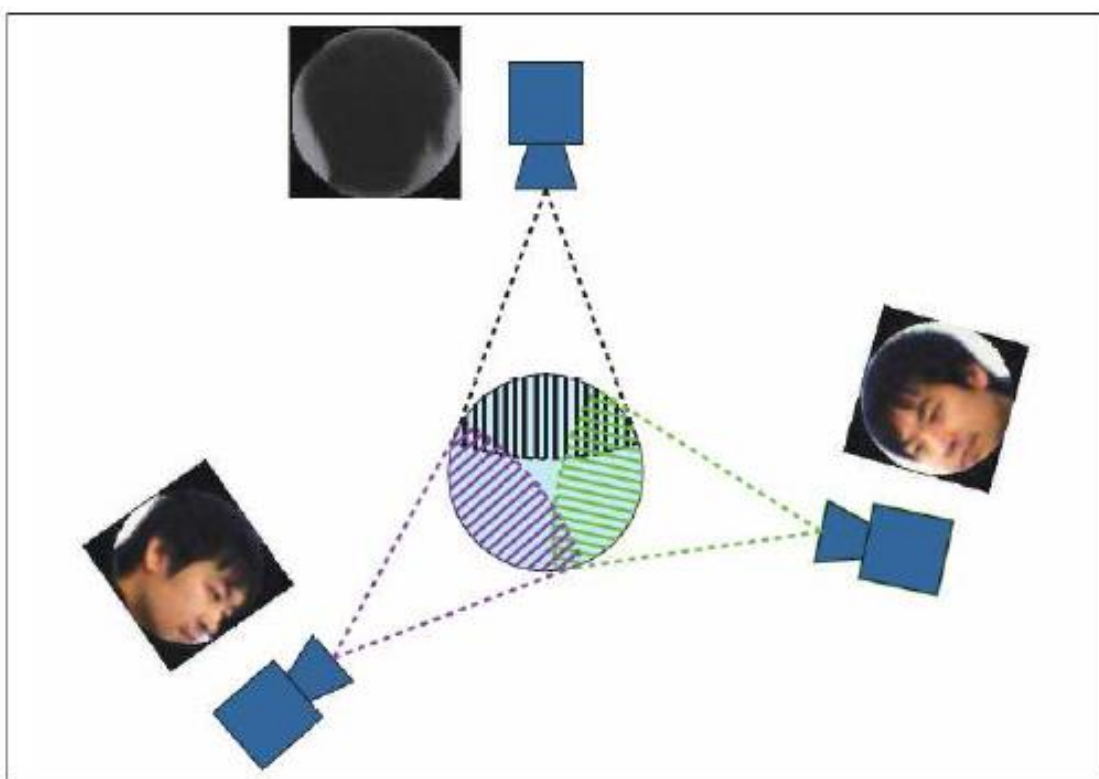
U sistemima za video nadzor, mreža inteligentnih kamera pomaže pri identifikaciji lica i spola, aktivnom prepoznavanju i detekciji anomalija. Standardni sistem za video nadzor se sastoji od četiri faze obrade: detekcije, lokalizacije, praćenja te potvrde i prepoznavanja. U tablici 4.3. možemo vidjeti neke istraživačke sisteme koji potpomažu ove faze. U fazi detekcije, sistem koristi pozadinu da uoči subjekta u svakom položaju. Nakon toga obrađuje točnu lokaciju subjekta na zemlji (lokalizacija) iz koordinata slike, koja je bazirana na perspektivnom modelu kamere. U fazi praćenja, sistem pretpostavlja subjektovu lokaciju iz prethodnih slika. U fazi potvrde i prepoznavanja, sistem identificira subjekta te ga detektira i prati.



Tab.4.3. Primjena mreže inteligentnih kamera bez markera u video nadzoru [4]

<b>Opis sustava</b>	<b>Primjena</b>	<b>Značajke i doprinos</b>
Sistem križnog potvrđivanja: tri statične kamere na širokom prostoru	Pratnja vozila i potvrda	Integrirani jednofazni poredak za pratnju i potvrdu. Naglašavanje značajki baziranih na 3D strukturi i prirodi kretnje.
Flexiview: preklapanje statičkih kamera-ping pogled u vanjskoj okolini	Prepoznavanje ljudskih pokreta i 4D virtualna realizacija	Generiranje avatara koji indiciraju lokaciju i glume ljudske akcije. Vremenske i prostorne značajke iz silueta za prepoznavanje akcija.
Sistem za pratnju i prepoznavanje: 5 sinkroniziranih statičkih kamera u vanjskoj okolini	Pratnja i prepoznavanje lica	Otkrivanje automatskih značajki s algoritmom za praćenje
Sistem detekcije događaja: dvije statičke kamere u vanjskoj okolini	Detekcija abnormalnosti i generiranje događaja	Hidden Markov model za klasifikaciju objekata i detekciju padova. Primjena videa za efikasnu komunikaciju.
Sistem za pratnju i osjet: osam PTZ (engl. <i>pan-tilt-zoom</i> ) kamera (320 x 240 elemenata slike)	Zajednička pratnja i osjet	Kontrola raspršenih PTZ kamera za pokrivanje maksimalne površine i mete. Algoritam za rašireno praćenje baziran na Kalman filteru.
Sistem za ponovnu identifikaciju: dvije Kinect kamere	Identifikacija osoba	Identifikacija bazirana na razlikama. Pojačano praćenje i razdvajanje boja i dubina mape.

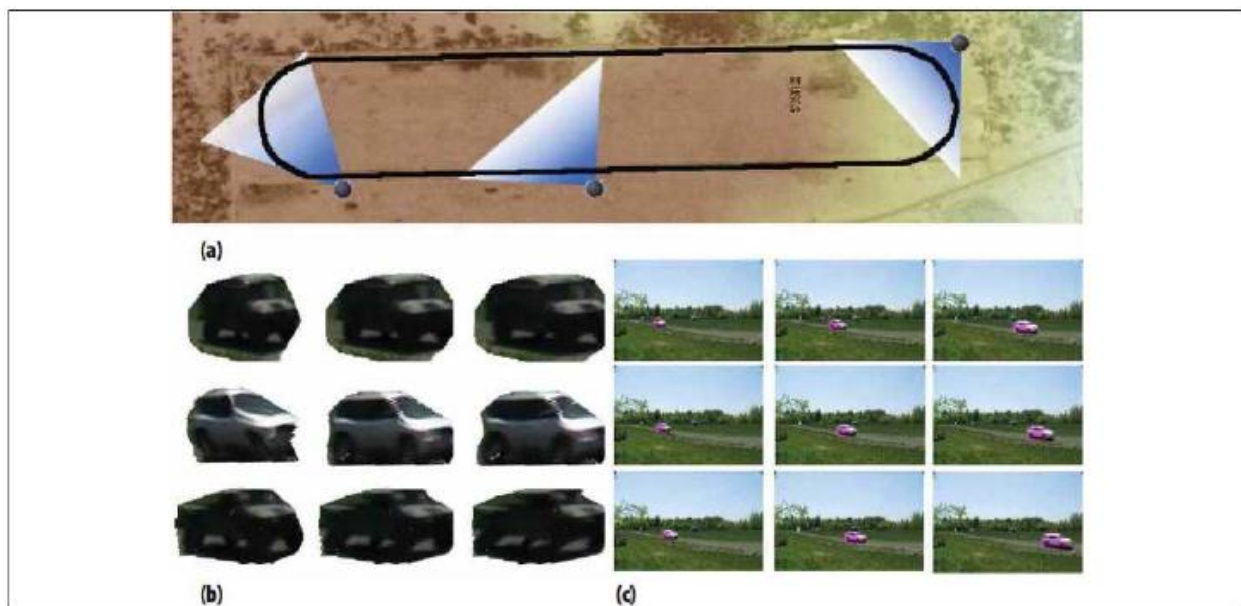
Tehnologije snimanja pokreta su korisne za podržavanje ovih faza zato što razdvajaju fizičke aktivnosti od proizvoljnih točaka vida kako u unutarnjoj tako i u vanjskoj okolini. Mreže video nadzora na širokom području obično imaju rijetko raširene kamere zbog cijene ugrađivanja i ograničene širine komunikacije te tako otežavaju konstantno praćenje subjekta kroz mrežu. U takvim mrežama, video nadzor na nepreklapajućim područjima zahtjeva da algoritmi moraju moći slati značajke kroz cijelo područje. Stoga je presudno da se izvade značajke iz subjekta koji je potencijalna meta za praćenje s više kamera. Koristeći te robusne značajke, sistem može povezati iste identifikacije i preko nepreklapajućih područja. Najnovija istraživanja su pokazala da se pretpostavljanje lokacije razlikuje u više pogleda zato što je transformacija projekcije iz 3D koordinata u 2D koordinate slike nelinearna. Sistem obrađuje finalnu lokaciju objekta u pokretu tako da spaja pretpostavljene projektirane lokacije iz više kamera.



Sl.4.3. Snimanje sferne 2D slike s tri kamere te spajanje na 3D sfernu površinu [4]

U jednom sistemu, algoritam za 3D praćenje i prepoznavanje lica koristi reprezentaciju sfernih harmonika (SH) da bi smanjio razlike pogleda s više kamera. SH reprezentacija se sastoji od SH zajedničkih jednostavnih funkcija definiranih preko sfere jedinice. SH komponente su

izračunate projektiranjem površine 3D sfere lica na jednostavne funkcije. Slika 4.3. pokazuje rekonstrukciju 3D sfere lica iz tri kuta, koju algoritam koristi za računanje SH komponenti. Glavna prednost ovog pristupa je konstrukcija 3D značajki iz 2D lica što izbjegava određivanje modela što često uzrokuje pogreške u kalibraciji i procjeni pozicije.



#### Sl.4.4. Pratlja i potvrda preko nepreklapajućeg područja kamera [4]

(a) Shematski prikaz područja s tri kamere, (b) 3D struktura tri vozila s teksturnim mapama i (c) rezultat praćenja

Slika 4.4. prikazuje rezultate sistema koji koristi lokalne značajke u 3D prostoru. Sistem spaja praćenje i potvrdu kao jedinstvenu fazu i provodi detekciju za vrijeme praćenja. Zbog toga što je objekt ograničen na 2D položaj, pretpostavke kretnje su pojednostavile praćenje jer se broj parametara smanjio. Svaka kamera konstantno osvježava model prikaza objekta te prenosi nove podatke drugim kamerama. Ako su sličnosti na kamerama previše različite, kamera dodaje novi identitet u model. Većina sistema u tablici 4.3 su relativno novi, naglašavajući da se tehnologija bez markera tek razvija u video nadzoru i praćenju. To će se vjerojatno nastaviti jer 3D modeli pokreta su mnogo pouzdaniji od 2D modela kako u detekciji tako i u prepoznavanju ljudskih aktivnosti.

Vanjski video nadzorni sistem, Flexiview omogućuje 4D virtualnu realizaciju 3D informacija o vanjskim scenama, kao što su zgrade, velika područja i ostali statički objekti, dodajući dinamiku u obliku pješaka koji sudjeluju u sceni [4]. S obzirom na mnoštvo informacija

u mreži inteligentnih kamera, jedan od ciljeva Flexiview-a je da analizira scenu i proizvede točan zaključak o videu za virtualnu realizaciju.



Sl.4.5. Flexiview sistem [4]

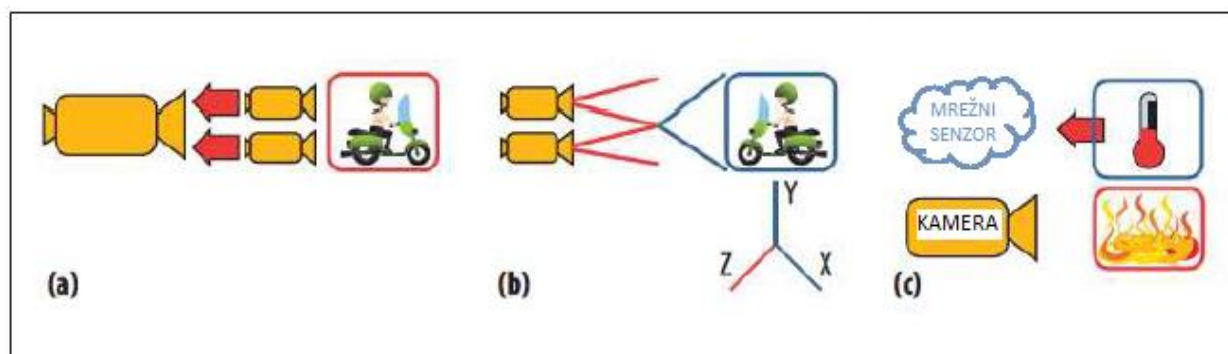
*Iz više 3D pogleda scene na sveučilište Maryland (lijevo), sistem generira 4D virtualni realizaciju (desno). Ove scene su bazirane na videu iz četiri kamere.*

Kao što se vidi na slici 4.5., sistem uključuje pješake u 3D virtualnu scenu kao avatare što oponašaju ljudske aktivnosti bazirane na video snimljenom iz više uglova i kamera u istom vremenskom intervalu. Razumijevanje ljudskih aktivnosti u Flexiview-u je postignuto obradom vremenski i prostornih značajki iz silueta pješaka sa svakog segmenta videa.

#### **4.4. Bežične mreže inteligentnih kamera za nadzor javnih mjesta**

Zbog povećanja potrebe sigurnosti na javnim mjestima, razni projekti se fokusiraju na prepreke u razvojnim sistemima za nadzor javnih mjesta. Mnoga rješenja uključuju bežične kamere, koje su postale sve jeftinije i pristupačnije i imaju bolju mogućnosti balansiranja procesne snage i korištenja energije. Te bežične kamere mogu funkcionirati kao cjelina, tvoreći bežičnu

mrežu vizualnih senzora (WVSN – engl. *wireless visual sensor network*) čiji dijelovi, osim vidnog senzora, imaju sposobnost obrade, spremanja i komunikacije [5]. Zbog potrebe balansiranja performansi i potrošnje energije, dolazi do razvoja SWEETcam (engl. *Solar Wi-Fi Energy Efficient Tracking camera*) sistema.



Sl.4.6. Dizajni bežičnih mreža vizualnih senzora (WVSN) [5]

Na slici 4.6. pod a) vidi se višeslojna mreža koja koristi dvije vrste kamera da bi se smanjio teret obrade podataka. Druge mreže, pod b), koriste kamere s preklapajućim poljima vida za bolju procjenu aktivnosti objekta u 3D prostoru. Mreže pod c) se oslanjaju na višemodalni senzor za poboljšanu procjenu situacije, koristeći na primjer i slike vatre i podatke o temperaturi. Izbor komunikacijske tehnologije u WVSN-u je veoma bitan. Mnoge bežične pametne kamere koriste Zigbee sistem (IEEE 802.14) zbog njegovog svojstva niskog korištenja snage. Ostale kamere s većim zahtjevima obično koriste Wi-Fi (IEEE 802.11). Prepoznavanje objekta i praćenje ponašanja su dvije glavne strategije računalnog snimanja u mnogim aktivnim WVSN dizajnima.

Tab.4.4. Primjena WWSN-a za nadzor javnih mjesta [5]

(fps, frames per second; DTN, delay-tolerant networking; MAC, media access control; SoC, system on chip; WWSN, wireless visual sensor network; WWSNP, wireless video sensor node platform)

Sistem	Učinkovitost energije	Višemodalni senzor	Potrebna količina energije	Bežična veza	Računalni vid	OS	Preklapanje kamera	Sigurnost
Citric Napajanje baterijom 15 fps na 1280 x 1024 ili 30 fps na 640 x 480	Uspavani čvorovi bude se na zvuk; Učinkoviti senzor slike i radio	Zvuk	Obrada slike u mreži; mala veličina slike	802.15.4	Stisnut osjet; razdvajanje okvira, odvajanje pozadine, više kamera po objektu	Ugrađeni Linux	DA	Enkripcija podataka na čvorovima, komunikacijski protokol
HuSIMS Napajanje mrežom Fps na 320x240	Uspavani čvorovi; kamere s malom snagom obrade, senzori učinkovite snage	Detektori dima, svjetla, vlage i temp.	Obrade slike u mreži, povezani čvorovi, odvojeni mrežni senzori s niskom razinom energije	WiMAX 4G	Alarmi za neuobičajeno ponašanje	Veliki sustav sa semantičkom obradom podataka	NE	Komunikacijski protokol
OmniEye Napajanje baterijom 30 fps na 640 x 480	Uspavani čvorovi bude se na zvuk; Učinkoviti senzor slike i radio, MAC sloj	Temp., svjetlo i zvuk	Obrada slike u mreži, bilješke o obradi podataka	802.11	JPEG kompresija (70%), prilagodljivo razdvajanje pozadine	μLinux	DA	Enkripcija podataka na čvorovima, komunikacijski protokol
Wi-FLIP Napajanje baterijom Prijenos 640x480 slike svakih 15 sekundi	Uspavani čvorovi, niski nivo i pametna obrada slike	Svjetlo	Male slike, niska stopa okvira	802.15.4	Detekcija koristeći se Gaussovima diferencijama	TinyOS	NE	Komunikacijski protokol
CamInSens Napajanje mrežom Rezolucija nije opisana	Raspršena obrada, Mica kamere s niskom potrošnjom energije	Svjetlina, temp., lom svjetlosti	Raširena 3D obrada slike	802.11	Nije opisano	TinyOS i veliki sustav za upravljanje	DA	Komunikacijski protokol

DTN-Citric Napajanje baterijom Rezolucija nije opisana	Isto kao Citric	Zvuk	Raširena obrada i spremanje u mreži	802.15.4	Neodređeno razdvajanje pozadine	Ugrađeni Linux	DA	Komuni- kacijski protokol
Flexi-wvSNP Napajanje baterijom, 15 fps na 640x480	Uspavani čvorovi, učinkovit SoC procesor	Zigbee mrežni senzor	Prebaci- vanje između radija	802.11, 802.15.4	Nije opisano	SoC vatrozid	NE	Komuni- kacijski protokol
MeshEye Napajanje baterijom Fps na 30x30 plus 640x480	Uspavani čvorovi i učinkovit MAC sloj,	Nema	Raširena obrada u mreži	802.15.4	Razdvajanje pozadine po okvirima	ARM7 mikro- kontroler	NE	Komuni- kacijski protokol

### Energetska učinkovitost

Tablica 4.4. je prikaz trenutnih sistema za nadzor uz pomoć bežičnih inteligentnih kamera. Sistemi predstavljaju nedavne istraživačke projekte ugrađene u nadzorne aplikacije. Sistemi u tablici 4.4. koriste razne strategije za upravljanje snagom. Neke imaju stanja koja koriste malo energije za vrijeme mirovanja dok druge koriste senzore s učinkovitijim korištenjem energije. Senzor slike s učinkovitim iskorištavanjem energije može biti dizajniran s analognim strujnim krugom u svrhu niže potrošnje energije. No, niža potrošnja energije dolazi uz cijenu; u Wi-FLIP sistemu, vidimo nižu stopu snimanja slika u svakoj kameri. U nadzornim sistemima sa preklapajućim kamerama, čvorovi kamera mogu signalizirati susjednim čvorovima da se upale ili ugase s obzirom na putanju praćenog objekta. Da bi se smanjila potrošnja energije, mnoge platforme pametnih kamera moraju raditi s videima manje rezolucije dok u nekim platformama učinkoviti mrežni protokol, kao što je MAC (engl. *media access control*) sloj, doprinosi niskoj potrošnji energije. Većina sistema ima baterijsko napajanje, i niti jedan sistem, osim SWEETcam, ne koristi obnovljiv izvor energije kao što je sunčeva svjetlost [5].

## **Višemodalni sustav**

Koristeći višemodalni sustav, odnosno veći broj senzora, može omogućiti dodatne informacije o događaju što pomaže u sprečavanju lažnih detekcija. Sistem za praćenje ljudskih situacija (HuSIMS – engl. *human situation monitoring system*) koristi veliki broj senzora u gradovima da bi detektirao požare u zgradama. Video senzori uočavaju abnormalno kretanje za vrijeme požara te dimni senzori potvrđuju da je vatra uistinu problem. Senzori mogu biti na čvorovima ili na njihovim mrežama kako je u sistemu OmniEye. Citric i DTN (engl. *delay-tolerant networking*)-Citric koriste zvučne podatke kako bi odlučili u kojem energetsom stanju čvor mora biti.

## **Potrebna količina energije**

Kako svaki čvor kamere generira video visoke rezolucije, slanje kompletnih podataka sa svih kamera istovremeno je izvan mrežnih granica. Mnogi sistemi koriste obradu podataka u mreži prije slanja istih na server te tako završavajući lokalnu obradu na svakom čvoru odvojeno. Mnogi moderni sistemi danas koriste obradu podataka zasnovanu na virtualnom oblaku kako bi riješili analizu videa i detekciju anomalija. Koristeći povezane čvorove u gusto naseljenim senzorskim mrežama doprinosi smanjivanju količine video podataka koje čvor mora poslati. Neki sistemi koriste više kanala da bi se ubrzao protok podataka.

## **Bežična veza**

Ukoliko veliki sistem za nadzor opterećuje obližnju mrežu, bežične veze kao WiMAX mogu održati visoki nivo performansi putem komunikacijskog kanala tako da obližnji Wi-Fi ili Zigbee mreže ne koriste taj kanal. I OmniEye i MeshEye koriste svoje MAC sloj protokole za povišenje performansi u velikim, gustim čvorovima. Kada je bežična komunikacija isprekidana, DTN tehnike su često učinkovite. U DTN sistemima, kao što je DTN-Citric, podatci se mogu skupiti lokalno prije nego su sigurno poslani preko mreže.



## **Računalni vid**

Većina sistema koji koriste obradu podataka u čvorovima se oslanjaju na odvajanje pozadine u svrhu detekcije objekta u pokretu s jednom kamerom u realnom vremenu. Izbor algoritma za oduzimanja pozadine uvelike ovisi o računalnim i osjetnim mogućnostima sistema. Zaklanjanje objekta je česti problem za sisteme s jednom kamerom. U WWSN-u, različite kamere mogu pratiti isti objekt tako da kada je on zaklonjen za jednu kameru, druge kamere ga nastave pratiti. Na jednostavnom primjeru sa dvije kamere, jedna kamera izračunava putanju objekta i aktivira drugu kameru kada objekt postane zaklonjen. Citric koristi više kamera i raspršeno prepoznavanje objekta kako bi se objekt pratio i nakon što postane zaklonjen vidnom polju jedne kamere. HuSIMS koristi jednostavan algoritam za prepoznavanje ponašanja objekta iz rezultata praćenja objekta i njegove pozicije tijekom vremena. Tehnika se zasniva na mreži s više kamera, u kojoj svaka kamera obrađuje opažanja i prenosi isto drugim kamerama. Zbog interne komunikacije, kamere donose zaključak o aktivnosti objekta.

## **Operacijski sustav**

Linux je postao popularni operacijski sustav za bežične nadzorne sisteme zbog njegovog nezavisnog hardvera. Linux se također koristi za ugrađene aplikacije te došlo je do razvoja raznih preinaka sustava Linux kako bi se ugodili zahtjevi za sisteme u realnom vremenu. Ukoliko čvor pametne kamere ima ograničene skladišne mogućnosti, potreban je manji operacijski sustav kao što je TinyOS. Neki nadzorni sistemi, kao što je HuSIMS, stvorili su veliki softver za upravljanje koji istovremeno može obraditi podatke s više izvora i s velikog broja čvorova.

## **Preklapanje kamera**

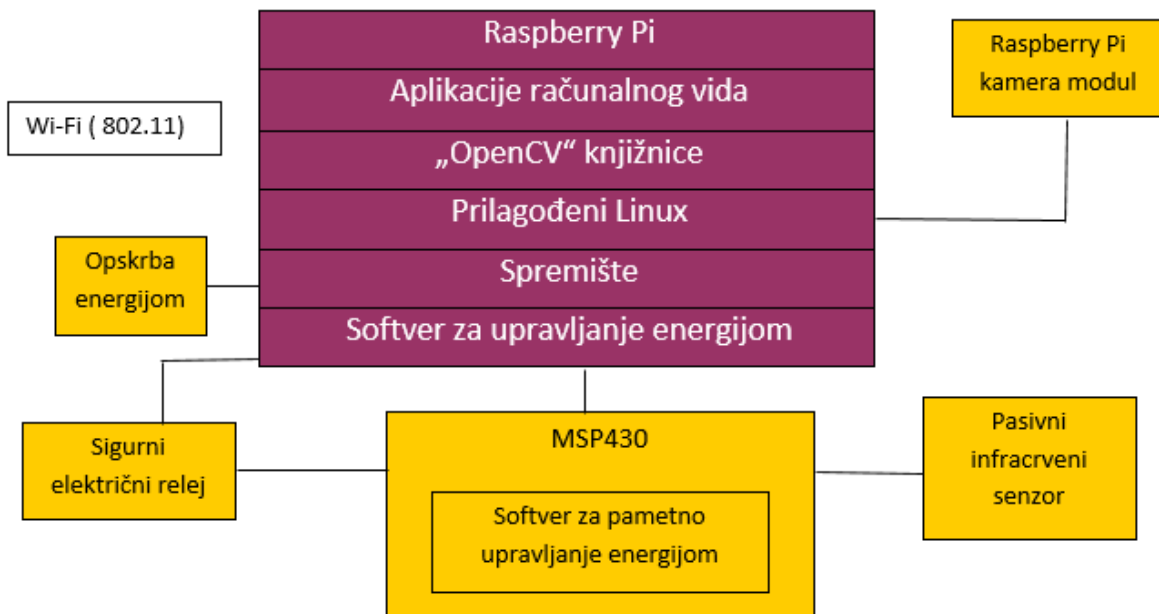
Kamere sistema Citric uključuju višak pokrivanja u svoju video analizu. Ukoliko je objekt u vidnom polju dvije kamere, svaka kamera može pratiti objekt u 3D prostoru. Praćenje objekta s jednog videa na drugi bez preklapanja kamera je puno teže i zahtjeva puno složeniju tehniku računalnog vida.

## Sigurnost

Sigurnost je velika briga u dizajnu WWSN-a. Bežični nadzorni sistemi moraju zaštititi bilo kakve podatke koje mogu otkriti privatne informacije o objektu i okruženju koji se prate, od onih koji njuškaju po komunikacijskom mediju ili pokušavaju provaliti u lokalno spremište podataka ili u udaljeno spremište odnosno server. Kako vidimo u tablici 4.4, mnogi sistemi nemaju lokalnu enkripciju podataka te tako se oslanjaju samo na sigurnosne servise komunikacijskog protokola. Takve odluke su u svrhu smanjenja potrošnje energije umjesto veće funkcionalnosti. Drugi sistemi, kao što je Citric, koriste enkripcijske alate da bi lokalno osigurali podatke prije nego ih pošalju mrežom.

### 4.5. SWEETcam sistem

SWEETcam (engl. *Solar Wi-Fi Energy Efficient Tracking camera*) sistem je jedini koji se napaja obnovljivim izvorom odnosno sunčevom energijom [5]. Slika 4.7. pokazuje SWEETcam arhitekturu. Koristi prednosti Raspberry Pi-a kao što je operacijski sustav Linux i hardverska nezavisnost. MSP430 ima neobičnu malu potrošnju energije i u uspavanom i radnom stanju.



Slika 4.7. Arhitektura SWEETcam sistema [5]

## **Hardver i softver**

SWEETcam koristi popularni Raspberry Pi računalni sistem na jednoj ploči, koji pokreće Linux i ima impresivne serijske komunikacijske mogućnosti. Raspberry Pi ima 700 MHz ARM procesor i odvojenu grafičku karticu za obradu videa što mu omogućava pokretanje složenih računalnih algoritama kako bi radio brže od svih sistema iz tablice 4.4. Zbog toga što Raspberry Pi ima prilagođeni Linux OS, možemo koristiti razne knjižnice računalnog vida koje su već razvijene za Linux sisteme.

## **Bežična veza**

SWEETcam koristi 802.11 Wi-Fi bežični protokol zbog toga što nam treba velika količina energije za prijenos podataka odnosno visoko-rezolucijskih slika i videa. Zigbee (ili IEE 802.15.4) bi možda bio jeftiniji i imao veću učinkovitost energije, no Zigbee ne može isporučiti dovoljnu količinu energije te ima slab komunikacijski domet. SWEETcam trenutno koristi Roving Networks RN-174 WiFly modul, koji koristi samo 4 $\mu$ A za vrijeme uspavanog stanja, što je vrlo malo te je SWEETcam iznimno učinkovit na području potrošnje energije.

## **Senzor slike**

SWEETcam koristi Raspberry Pi modul kamere, koji može uslikati 1920 x 1080 slike u boji na 30 fps. Taj senzor slike može također koristiti CSI izlaz na kameri, što eliminira potrebu za korištenjem USB mrežne kamere te uvelike smanjuje potrošnju energije. Za obradu slike, SWEETcam koristi „OpenCV“ knjižnicu te pomoću prilagođenog C++ računalnog jezika, možemo se koristiti tom knjižnicom.

## **Mikrokontroleri**

Zbog toga jer oslanjanje na isključivo hardvere niske potrošnje nije dovoljno, SWEETcam koristi samoobnovljive mikrokontrolere radi uštede energije. SWEETcam koristi MSP430 mikrokontroler kako bi sigurno pokrenuo i ugasio Raspberry Pi. Okidač čeka signal da je proces gašenja bio uspješan prije nego li ugasi napajanje sistema. Također stavlja sistem u način spavanja ako pasivni infracrveni senzor pokreta ne detektira kretanje. Kroz serijsko sučelje, MSP430 može

primiti poruku od Raspberry Pi-a da spusti razinu detektiranja. Na primjer, ukoliko divlja životinja pokreće alarm, MSP430 može biti u načinu spavanja sve dok ne bude potrebno da opet bude osjetljiv na pokret.

## Obrada slike



Sl.4.8. SWEETcam algoritam za detekciju objekata [5]

Na slici 4.8. se vidi modul za obradu slike koji odvaja pozadinu i pomoću kontura klasificira objekte. Kada je sistem pokrenut, modul za detekciju neprekidno snima pri rezoluciji od 1280 x 720 te smanjuje slike na rezoluciju od 426 x 240 zbog obrade. Modul za obradu slike odvaja pozadinu i pronalazi konture te zatim ih stavlja u okvire koji prate pokrete kontura. Da bi se uklonila buka i lažna detekcija, obrada ubacuje korak koji ignorira sve objekte ispod zadane veličine. Klasifikacija objekta je jedna od najsloženijih zadataka u sistemima računalnog vida jer se koriste utrenirane tehnike za klasifikaciju objekta koje su bazirane na prijašnje snimljenim bazama podataka. Da bi se smanjila složenost i povećala fleksibilnost, klasifikacija objekta u SWEETcam sustavu je bazirana na ranijoj kalibraciji dimenzija traženog objekta. Zbog te jednostavnosti, taj mehanizam detekcije zahtjeva još jedan dodatni senzor da bi se izbjeglo lažno detektiranje. Istraživanje nadzora računalnim vidom se razvija u smjeru karakterizacije ponašanja zbog toga što traženje obrazaca u kojima se objekti kreću omogućava preciznije zaključke o ponašanju objekta bez kompromitiranja privatnosti.

## 5. ZAKLJUČAK

U ovom radu je dobiven zadatak koji je obuhvaćao pregled mreža inteligentnih kamera te njihovih glavnih sastavnica. Pomoću usporedne metode objašnjena je razlika između inteligentne i obične kamere te arhitektura sistema pametnih kamera. Spomenut je i ubrzani razvoj pametnih kamera te njihovo ugrađivanje u mreže inteligentnih kamera. Nadalje, istraženo je kako se pametne kamere ugrađuju u mrežne sustave te što je sve potrebno da bi ta mreža funkcionirala. Donesen je zaključak o pet stupova samopodesivosti koji je nužan uvjet za samostalni rad mreže inteligentnih kamera. Uz to sve, bitan dio za ispravan rad mreže je rekonfiguracija, koja ima veoma važnu ulogu u održavanju čitavog sistema. Zaključeno je da mreže koje se same rekonfiguriraju za vrijeme obavljanja većeg broja zadataka imaju posebne zahtjeve, kao što su pravovremeno premještanje zadataka s ograničenim resursima, dijeljenje podataka o vidnim poljima kroz mrežu te međusobna suradnja između mnogobrojnih uređaja. Mreže samopodesivih pametnih kamera su vitalni dijelovi u suradnji i zajedničkom odlučivanju velikog broja aplikacija i uređaja. Sljedeća stavka je primjena mreža inteligentnih kamera u kojoj se nalazi podjela tehnologije na sisteme s markerima i bez njih. Iz danog istraživanja se vidi da je tehnologija bez markera velika prednost unutar aplikacija za hvatanje pokreta, kao što je nadgledanje pacijenata izvan bolnice, realistična „licem u lice“ komunikacija preko kontinenata i nadzor velikih površina. Daljnjim razvojem inteligentnih kamera dolazi do pojave bežičnih mreža vizualnih senzora za nadzor, koji moraju naći odgovarajući način rada koji će savršeno izbalansirati potrošnju energije i specifikacije za rad uzimajući u obzir i sami dizajn. Detaljnim istraživanjem da se zaključiti da je SWEETcam najbolji bežični sistem za nadzor koji pokušava riješiti problem učinkovitosti energije pomoću obnovljivih izvora odnosno solarnog panela. Smatra se da je to budućnost nadzora javnih prostora, ne samo zbog ekonomičnosti već i zbog odličnih performansi, dizajna te bežične veze. Ovo istraživanje je zaključilo da će se bežične mreže vizualnih senzora rapidno širiti zbog smanjenja troškova obrade i povećanja snage procesora, odnosno obrađivačkih jedinica. Postupkom spajanja prednosti računalnog vida, ugrađene obrade podataka, senzora slike i mreže, istraživači idu u smjeru pojednostavljenja te automatiziranja analize velike količine mrežnih podataka. Iz toga se zaključuje da će ubrzo svaka kamera za osobnu upotrebu imati neku vrstu obrađivačke jedinice koja će na licu mjesta obavljati jednostavne zadatke kao što su prepoznavanje lica ili pokreta, registracijskih tablica ili čak ljudskog ponašanja.

## LITERATURA

- [1] B.Rinner, W. Wolf „An Introduction to Distributed Smart Cameras“, Proc. IEEE, Vol.96, No.10, str. 1565-1575, kolovoz 2004.
- [2] Y.Shi, S.Lichman „Smart Cameras: A Review“
- [3] Juan C., SanMiguel, K.Shoop, A.Cavallaro, C.Micheloni, G.L.Foresti „Self-Reconfigurable Smart Camera Networks“ IEEE Communications Magazine, str.67-73, lipanj 2014.
- [4] C.Chen, J.Favre, G.Kurillo, T.P.Andriacchi, R.Bajcsy, R.Chellappa „Camera Network for Healthcare, Teleimmersion, and Surveillance“ IEEE Communications Magazine, str.26-36, lipanj 2014.
- [5] K.Abas, C.Porto, K.Obraczka „Wireless Smart Camera Networks for the Surveillance of Public Spaces“ IEEE Communications Magazine, str.37-44, lipanj 2014.

## **SAŽETAK**

Inteligentne kamere su kamere koje mogu izvršiti zadatke daleko složenije od jednostavnog slikanja ili snimanja. Zahvaljujući ugrađenoj jedinici za inteligentnu obradu slike i algoritma za prepoznavanje obrazaca, pametne kamere mogu detektirati kretnju, mjeriti objekte, čitati registracijske tablice vozila i čak prepoznati ljudsko ponašanje. One su glavna komponenta aktivnog i automatiziranog kontrolnog sistema mnogih aplikacija i one će igrati veliku ulogu u našem svakodnevnom životu u bliskoj budućnosti. Opisana je njihova uloga u mreži inteligentnih kamera te detaljno istražene funkcije, način rada, prednosti i nedostatke te primjenu mreža inteligentnih kamera. Ovaj rad daje sveobuhvatan pregled tehnologija i aplikacija pametnih kamera. Ovdje su analizirani razlozi iza brzog razvoja pametnih kamera te je raspravljeno o različitim kategorijama na koje se dijele te je dan pregled na njihovu arhitekturu sistema. Također su istraženi njihovi inteligentni algoritmi, značajke i primjene. Na kraju je zaključeno sa raspravom o njihovim problemima u dizajnu, izazovima i budućim tehnološkim smjerovima.

Ključne riječi: inteligentne kamere, mreža, prepoznavanje obrasca, primjena, računalni vid, video nadzor, ugrađeni sistemi

## **SMART CAMERA NETWORKS**

### **ABSTRACT**

Smart cameras are cameras that can perform tasks far beyond simply taking photos and recording videos. Thanks to the purposely built-in intelligent image processing and pattern recognition algorithms, smart cameras can detect motion, measure objects, read vehicle number plates, and even recognize human behaviors. They are essential components to build active and automated control systems for many applications, and they will play significant role in our daily life in the near future. It is described about their role in smart camera networks and closely examined network's functions, mode, advantages and disadvantages, and application. This paper aims to provide a first comprehensive review of smart camera technologies and applications. Here,

the reasons behind the recent rapid growth of the smart cameras are analyzed, different categories of them are discussed and their system architectures are reviewed. It is also examined their intelligent algorithms, features and applications. Finally paper is concluded with a discussion on design issues, challenges and future technological directions.

Keywords: smart cameras, network, pattern recognition, application, computer vision, video surveillance, embedded systems.



## **ŽIVOTOPIS**

Vedran Mendelski je rođen u Slavonskom Brodu, 09. ožujka 1995. godine. Osnovnu školu „Vjekoslav Klaić“ je pohađao u Garčinu u razdoblju od 2001. do 2009. godine. Nakon završene osnovne škole upisao je Klasičnu Gimnaziju Fra Marijana Lanosovića u Slavonskom Brodu, koju je završio 2013. godine. Iste je godine upisao sveučilišni studij elektrotehnike na fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku.