



Autonomna vozila: početak i primena robotizovanih vozila u saobraćaju



Sadržaj:

Uvod.....	3
Istorijat.....	5
Prednosti.....	9
Propisi i legalizacija.....	10
Naučne discipline.....	12
Sistemi zasnovani na znanju.....	12
Ekspertski sistemi.....	16
Robotika.....	18
Uvod.....	18
Veštačka inteligencija i paradigme.....	18
Tehnologije.....	22
Senzori.....	22
<i>Saobraćajno komunikacioni sistemi</i>	25
Komunikacija vozilo-vozilo (V2V).....	29
LiDAR sistemi.....	30
Terenski zasnovani LiDAR sistem.....	30
Kako ustvari LiDAR radi? (Nauka iza tehnologije).....	30
Komponente LiDAR-a.....	31
Upravljački algoritam autonomnog vozila.....	33
Arhitektura robotskog softvera.....	35
Komponente sistema autonomnog vozila.....	39
Projekti.....	44
<i>Google vozila</i>	44
BOSS.....	46
Drugi projekti.....	48
Predlog podsistema autonomnog vozila.....	52
Zaključak.....	54
Reference.....	56

Uvod

Kao što je poznato u svetskim okvirima, tendencije u daljem tehnološkom razvoju i razvitku u svim granama industrije jesu razvoj robotike i same veštačke inteligencije. S obzirom da se već godinama unazad napredovalo u razvitku robotike i ljudske svesti o njima, trenutni period je takav da se došlo i do komercijalizacije i same upotrebe pojedinih veštačko inteligentnih mašina u ljudskom okruženju. Jedna od ključnih ideja i primena robota u ljudskim životima jeste i upotreba robotizovanih vozila (eng. *driverless cars*) ili autonomnih vozila (eng. *autonomous cars*) u saobraćaju [1]. Evidentan je rast kretanja ljudi prevoznim sredstvima (ličnim vozilima i javnim prevozom), samim tim i veći je rizik od saobraćajnih nezgoda, potrebno je više resursa za sve veći broj vozila, zbog povećanja obima saobraćaja javljaju se i saobraćajne gužve, a samim tim i vreme provedeno u saobraćaju znatno veće itd. su neka od ključnih pitanja saobraćaja današnjice. Da li se pojavom autonomnih vozila, mogu rešiti neki od gore pomenutih aspekata?! Koji će biti uticaj takvih vrsta vozila? Tu je i problematika gledano sa stanovišta legalno pravnih aspekata, sa ključnim pitanjima: ako dođe do nesreća, koga kriviti; koji će biti uticaj na osiguravajuće kompanije; smanjenje stope zaposlenosti, npr. taksi udruženja; neophodno je povećanje broja stručnjaka iz oblasti tehnologija koje su neophodne u projektu autonomnih vozila, ovo su samo neka od pitanja koja se postavljaju i koja pokreću „Pandorinu kutiju“ autonomnih vozila na ulicama...

Bitan faktor kao naučne discipline u projektu autonomnih vozila ima ju veštačka inteligencija (robotika), sistemi zasnovani na znanju i ekspertni sistemi, kao i mnogi drugi sistemi kao što su na primer fazi logika koja pripada *knowledge based* sistemima i sl. Bez ovih naučnih disciplina i sistema ne bi bilo moguće stvoriti takvu tehnologiju koja bi mogla da sačinjava jedan ovakav sistem kao što je autonomno vozilo ili ceo sklop sistema saobraćaja bez direktnog uticaja čoveka na upravljanje u realnom vremenu [2].

Da bismo shvatili pravi koncept autonomnog vozila potrebno bi bilo malo izložiti osnovne principe robotike i sistema zasnovanih na znanju. Kroz ovaj rad biće objašnjen princip i jedne i druge discipline u konceptu vozila kojima nije potreban ljudski vozač. Izvori znanja su bitni u pogledu sistema, znanje je teško prikupljati direktno – ono se dobija obrađivanjem sirovih opažanja i informacija iz domena koji se posmatra. Osnovni izvor znanja je: ljudski um, dok se kao sekundarni izvor znanja uzimaju podaci i informacije iz okruženja. Ovi drugi izvori su u konceptu autonomnih vozila najbitniji, s obzirom da se nalaze u prirodnoj i urbanoj sredini iz koje moraju prikupljati informacije da bi bili u mogućnosti da se bezbedno kreću. U slučaju autonomnih vozila možemo pričati o znanju domena, koje je specifično za određeni domen koji je u ovom slučaju saobraćaj.

Autonomna vozila, takođe znana kao automatizovana vozila, ili neformalno kao robotizovana vozila ili samovozeća vozila, su motorna vozila koja mogu samostalno da se kreću (tj. bilo koja osoba da sedi na vozačevom mestu, a i ne mora, sve funkcije u realnom vremenu vožnje prebačene su na takozvani *Vehicle Automation System*). Autonomna vozila su vozila kojima nije potreban vozač i takođe se nazivaju i robotizovana vozila. Ovakva vrsta vozila ima mogućnost da vrši sve funkcije upravljanja i kretanja koje inače vrši čovek u komercijalnim vozilima dok upravlja istim, takođe, sama

detektuju-vide sredinu u kojoj saobraćaju, dok je „vozač“ potreban samo da odabere destinaciju i ne mora da vrši bilo kakvu operaciju tokom vožnje [3].

Sistem kao celina autonomnog vozila tumači informacije i procesira ih da bira puteve, brzinu koja je dozvoljena i prepreke na koje može naći. Mape koje koriste moraju biti konstantno ažurirane, jer putevi kao i zakoni o saobraćaju mogu biti često menjani.

Autonomno vozilo može samostalno upravljati pomoću video kamere, radarskih senzora i laserskih daljinomera na osnovu kojih može i da "vidi" druge "učesnike" u saobraćaju, kao i detaljne mape. *Google's street view* podaci omogućavaju automobilu da planira svoje puteve gledajući raskrsnice i puteve unapred. Vozilo pomoću ultrazvučnih senzora i kamera beleži informacije koje prikuplja neprekidno iz okruženja. Obradom slike sa video kamera upravljački sistem autonomnog vozila detektuje položaj vozila u odnosu na vodeće linije na kolovozu, a u sadejstvu sa ostalim senzorskim sistemima upravljački sistem određuje rastojanje između uočenih vozila kao i međusobne relativne brzine. Sve ovo je ono što čini vozilo da bude bez vozača-čoveka [4].

"Eksperimentalni automobil je imao vozača za volanom i softverskog inženjera u putničkom sedištu koji je pratio program koji omogućava automobilu da samostalno upravlja vozilom prometnim ulicama i putevima".¹

Autonomna vozila opažaju njihovo okruženje pomoću tehnologija kao npr. što su radar, lidar (ladar), *GPS* i „mašinska vizija“. Napredni sistemi upravljanja tumače prikupljene senzorne informacije da bi indetifikovali odgovarajuće navigacione putanje, kao i prepreke i relevantne signalizacije. Pojedina automatizovana vozila mogu da ažuriraju njihove mape na osnovu ulaza informacija iz senzora omogućavajući im da se kreću kroz nepoznate sredine koje nisu bile prvobitno upisane u mape ili je došlo do nekih promena kasnije.

¹ *Sebastian Thrun*-a, softver inženjer kompanije Google, koji je bio tvorac Google projekta autonomnog vozila, kao i mnogih drugih projekata autonomnih vozila

Istorijat

Prvo predstavljanje i uopšte pojavljivanje nekog vida autonomnih vozila je bilo na izložbi *Normana Bel Geddesa "Futurama"* pod pokroviteljstvom GM-a na svetskom sajmu još davne 1939-e godine, gde je predstavio vrstu električnog automobila pokretanog pomoću objedinjenih strujnih kola u kolovozu i pomoću upavljača radio vezom [1].

Početakom 80-ih godina XX veka Mercedes Benz je predstavio svoju viziju robotizovanog kombija, slika 1a i 1b, dizajniran od strane *Ernst Dickmannsa* i njegovog tima na *Univerzitetu Bundeswehr University Munich* u Minhenu, postigao je brzinu od 100 km/h na putu bez saobraćaja. Nakon ovog projekta, Evropska komisija je započela finansiranje **EUREKA Prometheus Project** o autonomnim vozilima u iznosu od oko 800 miliona evra u periodu od 1987-1995 godine [5].



Slika 1a: Mercedesov robotizovani kombi iz 80-tih



Slika 1b: Unutrašnjost robotizovanog kombija

Takođe tokom 80-tih godina prošlog veka, kompanija Martin Marietta je osnivač autonomnog zemljanog vozila (*Autonomous Land Vehicle - ALV*) [6] i na **DARPA** konkursu za razvijanje koncept vozila u Sjedinjenim Američkim Državama postigla je prvu drumsku-pračenu demonstraciju koja je koristila laserski radar razvijan od strane *Environmental Research Institute of Michigan*, „mašinska vizija“ razvijano od strane *Carnegie Mellon University and SRI* i autonomnu robotsku kontrolu vozila razvijanu od strane *Carnegie Mellon and Martin Marietta* za prvo kontrolisano robotsko vozilo koje se kretalo do 30 km/h, slika 2. 1987 godine, *HRL Laboratories* (bivši *Hughes Research Labs*) prikazala je prvu *off-road* mapu i sensor-based autonomnu navigaciju na ALV-u, vozilo se kretalo preko 600 m brzinom od 3 km/h na kompleksnom terenu strmih padina, kontlina, sa velikim kamenjem i vegetacijom.



Slika 2: DARPA ALV

1991 godine, Kongres SAD-a je doneo nalog **ISTEA** transport autorizaciju, koji je naložio **USDOT**-u da „demonstrira automatizovan sistem vozila i autoputa“ do 1997. Savezna uprava zadužena za autoputeve prihvatila je taj zadatak, prvo sa serijom *Precursor Systems Analyses* potom sa osnivanjem *National Automated Highway System Consortium (NAHSC)*. Ovaj troškovno deljen projekat predvođen je od strane *FHWA* i *General Motors*, sa *Caltrans*, *Delco*, *Parsons Brinkerhoff*, *Bechtel*, *UC-Berkeley*, *Carnegie Mellon University*, i *Lockheed Martin* kao dodatnim partnerima.

Obimno sistemsko inženjerstvo kulminiralo je 7 avgusta 1997. u projekat **DEMO '97**, slika 3, kada je prikazana demonstracija kolone od oko dvadesetak vozila, što automobila, autobusa i kamiona, koji su se samostalno kretali na prometnom putu I-15 u San Dijegu. Ovu prezentaciju je pratilo hiljade posmatrača, a takođe je i privuklo veliku medijsku pažnju.



Slika 3: DEMO '97, kolona vozila u demonstraciji automatizovanog sistema vozila i autoputa

Na ovom projektu učestvovali su i drugi proizvođači poput Toyote i Honde. Iako uspešan projekat, koji je bio čak i pripreman za komercijalizaciju, program je otkazan krajem 90-tih, zbog smanjenja budžeta istraživanja na *USDOT*-u. Ukupna sredstva za program bila su oko 90 miliona dolara.

1994 godine, blizanci robotizovana vozila **VaMP** (slike 4a i 4b) i **Vita-2** (slika 5) od *Daimler-Benz* i *Ernst Dickmanns* sa Univerziteta *Bundeswehr University Munich*, prešla su skoro više od hiljadu kilometara na Pariskom autoputu sa tri trake u standardnom gustom saobraćaju pri brzini od oko 130 km/h. Oni su demonstrirali slobodnu vožnju autonomnog vozila u slobodnim trakama, u konvoju i pri autonomnim promenama traka sa obe strane preticanjem drugih vozila u saobraćaju upravljanim od strane ljudi [7].



Slika 4a: Mercedes-Benz S klasa, VaMP



Slika 4b: Unutrašnjost VaMP Mercedes S klase



Slika 5: Mercedes-Benz S klasa, Vita-2

1995 godine, Dickmannsova reprojektivana Mercedes S klasa je prešla skoro 1600 km dug put od Minhena (Bavarska, Nemačka) do Kopenhagena (Danska) i nazad, koristeći tehnologije *saccadic computer vision and transputers*. Vozilo je postiglo brzinu od 175 km/h na nemačkom autoputu, sa oko 95% autonomne vožnje, bez ljudske intervencije. Ponovno vožen u redovnom saobraćaju preticajući ostala vozila i obavljanju redovnih manevara tokom kretanja. Tokom istraživanja, ostvarena autonomija od 158 km je višestruko nadmašila i najoptimističnije pretpostavke.

Takođe tokom 1995 godine, projekat *Carnegie Mellon University Navlab*-a ostvario je 98.2% autonomne vožnje na 5000 km dugom putovanju širom zemlje, koji je bio poznat pod nazivom "*No Hands Across America*". Ovaj automobil je, međutim bio polu-autonomno po svojoj prirodi: koristeći neuralne mreže da kontroliše upravljač, dok su komande gasa i kočnice bile kontrolisane od strane čoveka.

1996. godine, *Alberto Broggi* sa *University of Parma* pokrenu je **ARGO** projekat [8], koji je radio na omogućavanju modifikovane verzije *Lancia Thema* da prati normalu (farbanu) oznaku linije puta na neizmenjenom autoputu. Kulminacija projekta je bilo putovanje od 2000 km tokom 6 dana na autoputevima severne Italije nazvan **MilleMiglia in Automatico**, sa prosečnom brzinom od 90 km/h, 94% vremena vozilo je bilo u punom automatskom modu, sa najdužim automatskim kretanjem od 54 km. Vozilo je posedovalo samo dve jeftine crno bele video kamere na vozilu, i koristilo je stereoskopske algoritme osmatranja da razume okruženja.

Prednosti

Očekivane prednosti autonomnih vozila mogu biti:

- Manje saobraćajnih nezgoda, zahvaljujući povećanoj pouzdanosti autonomnih sistema i u vremenskom smanjenju reakcije u odnosu na ljudske vozače.
- Povećanje putnih kapaciteta i smanjenja zagušenja saobraćaja zbog smanjene takozvanih *safety gaps* sigurnosnih razmaka između vozila i sposobnosti da se bolje upravlja protokom saobraćaja.
- Oslobađanje vozača u vozilima od poslova vožnje i navigacije, što doprinosi smanjenju vremena utrošenog na upravljanje vozilom.
- Veća dozvoljena ograničenja brzine za autonomna vozila.
- Uklanjanje prepreka o stanju vozača, npr. limit godina, ljudi sa invaliditetom, ljudi sa psihofizičkim problemima, pod dejstvom alkohola ili na drugi način uskraćeni da mogu da upravljaju vozilom.
- Smanjenje potrebe za parking prostorom blizu mesta odredišta, jer autonomna vozila mogu da odvezu putnike do samog odredista i odu da se parkiraju negde dalje, pa da kasnije kada je potrebno dođu po njih.
- Eliminisanje vozača, jer ljudi nisu više u obavezi da odvezu vozilo gde treba, ovo se posebno odnosi i biće relevantno za kamione, taksi vozila i auto-uslužna vozila.
- Smanjenje prostora za parkiranje vozila.
- Smanjenje potrebe saobraćajne policije.
- Smanjenje potrebe za osiguranjem vozila.
- Smanjenje fizičkih oblika saobraćajne i putne signalizacije, s obzirom da autonomna vozila mogu informacije dobiti i elektronskim putem, iako saobraćajni znaci mogu biti potrebni zbog ljudskih vozača...

Konceptom autonomnih vozila dolazi do smanjenja broja zaposlenih koji nisu visoko kvalifikovani poput vozača javnog prevoza, ali će se javiti potreba visoko kvalifikovanih ljudi koji će biti ključni za dalje unapređenje i razvoj tehnologija i sl. Time dobijamo stepen razvoja ljudi i potrebe za njihovim usavršavanjem i razvojem.

Zagovornici autonomnih vozila tvrde da će ova vrsta vozila poboljšati opštu bezbednost na putevima, smanjiti emisiju štetnih gasova i omogućiti veću autonomiju kretanja osobama sa invaliditetom.

Sa druge strane protivnici ove tehnologije smatraju upravo suprotno – da je ona nebezbedna i još uvek nedovoljno proverena i dokazana u realnim saobraćajnim uslovima.

Propisi i legalizacija

Od kraja 2000-ih, značajni pomaci načinjeni su u tehnologiji i zakonodavstvu koje se odnosi na autonomna vozila. Brojne velike kompanije su napravile upotrebne prototipove autonomnih vozila, uključujući *Google*, *Continental Automotive Systems*, *Nissan*, *Toyota* i *Audi*. U junu 2011, država Nevada je prva koja je u svojoj nadležnosti u Sjedinjenim Američkim Državama donela i objavila zakon koji se odnosi na upotrebu autonomnih vozila. Već februara 2013., tri američke države su zakonom dozvolile kretanje autonomnih vozila, pomenuta Nevada, kao i Kalifornija i Florida. U Sjedinjenim Američkim Državama, kodeksi o vozilima generalno ne dozvoljavaju, ali ni nužno ne zabranjuju, visoko automatizovana vozila. Da bi se razjasnio legalan status autonomnih vozila i na drugi način da se regulišu ovakva vozila, pomenute države su usvojile specifične zakone o upotrebi autonomnih vozila.

Američka država Nevada kao što je već pomenuto postala je prva država na svetu u čijoj nadležnosti je dozvoljeno učestvovanje autonomnim vozilima na javnim putevima. Prema zakonu, odeljenje za motorna vozila države Nevade (*NDMV*) je odgovorno za uspostavljanje bezbednosti i standarda, takođe je i odgovorno za određivanje područja gde se autonomna vozila mogu testirati pre upotrebe. Zakon je stupio na snagu 1. marta 2012. godine.

Zakon Nevade definiše autonomno vozila kao „motorno vozilo koje koristi veštačku inteligenciju, senzore i koordinate sistema globalnog pozicioniranja, da bi se samostalno kretalo bez intervencije čoveka-vozača“. Zakon takođe prihvata da čovek neće biti u obavezi da obraća pažnju dok se autonomno vozilo samostalno kreće. Pored ovoga, zakon obavezuje da mora postojati osoba „za volanom“ i jedna osoba na suvozačevom mestu tokom testiranja.

U maju 2012., *NDMV* je izdalo prvu dozvolu za samoupravljujuće vozilo *Toyota Prius* modifikovanu od strane *Google* sa njihovom eksperimentalnom tehnologijom „bez vozača“. *Google* autonomni sistem dozvoljava čoveku da preuzme upravljanje vozila u bilo kom trenutku pritiskom na papučicu kočnice ili pomeranjem volana. Registarske tablice izdate u Nevadi imaju crvenu pozadinu sa znakom „∞“ na levoj strani, slika 6, što po mišljenju *NDMV* najbolji znak da se pokaže da je to vozilo budućnosti.



Slika 6: Tablice autonomnog vozila

1. jula. 2012. godine, država Florida je druga koja je dozvolila upotrebu autonomnih vozila donošenjem zakona. Zakon države Floride pojašnjava da „Država ne zabranjuje i specifično ne reguliše testiranje ili samostalno funkcionisanje vozila na javnim putevima“.

25. septembra 2012. godine, guverner države Kalifornija *Jerry Brown* je potpisao zakon kojim se dozvoljava legalizacija autonomnih vozila u toj državi, koji takođe zahteva od Odeljenja za motorna vozila Kalifornije (*CDMV*) izradu propisa do 2015. U Kaliforniji, predloženi zakon će zahtevati da vozač i dalje bude prisutan za volanom, u slučaju da iznenada funkcije autonomnog vozila otkazu i da je neophodno da čovek preuzme komande, što ograničava beneficije koja autonomna vozila mogu pružiti nelicenciranim vozačima.

Tokom 2013.-2014., države Kolorado i Mičigen planiraju da predstave nacрте zakona o autonomnim vozilima, s tim što je u februaru 2013 prva verzija nacрте zakona u Koloradu odbijena. Slične zakone takođe u planu imaju države Arizona, Oklahoma i Havaji.

Autonomna vozila još uvek nisu dostupna tržištu i kupcima, ali se očekuje da će u bliskoj budućnosti biti. Proračuni su da će već između 2015. i 2019. godine komercijalizacija uzeti maha, prvenstveno kao vozila javnih službi, kasnije kao i privatna vozila.

Naučne discipline

Sistemi zasnovani na znanju

Sistem zasnovan na znanju su sistemi zasnovani na računaru koji koriste i generišu znanje iz podataka, informacija i drugog znanja. U stanju da razumeju informacije koje se obrađuju i mogu donositi odluke na osnovu njih za razliku od tradicionalnih računarskih sistema koji ne znaju ili ne razumeju podatke/informacije koje oni obrađuju. Sistem sadrži izvor znanja – bazu podataka, bazu znanja koja je skladište postojećeg znanja i generisanja novog znanja koje se prikuplja – to jest, mehanizam zaključivanja, rasuđivanja i objašnjavanja.

Termin znanja² možemo definisati kao čovekovo razumevanje predmetne materije, prikupljeno odgovarajućim proučavanjem i iskustvom, vezano je za pojedinu osobu i zasnovano je na učenju, razmišljanju i pravom razumevanju problemske oblasti. Izvodi se iz informacija na sličan način na koji se informacije izvode iz podataka. Može se smatrati sintezom i integracijom opažajnog procesa čoveka, koje pomaže čoveku da izvlači zaključke od značaja. Obično je lično, subjektivno, i prirođeno mu je svojstvo lokalnosti – više se nalazi „u glavama zaposlenih“ nego što objektivno postoji. Pogodnim obradama iz podataka i informacija generišemo strukturirane informacije od značaja koje su od pomoći pri odlučivanju i povećavanju stručnosti u rešavanju problema. Radi se o takvom nivou obrade koji čini sadržaj od značaja i primenjivim. Odgovarajućom obradom generišemo izveštaje koji su od pomoći u odlučivanju, pojmove za učenje i modele za rešavanje problema.

Baza znanja BZ – ključna komponenta sistema zasnovanih na znanju: kvalitet i upotrebljivost sistema direktno su povezani sa bazom znanja u sistemu. Baza znanja sadrži sve tipove domenskog znanja u datoj formi, kao i metaznanje.

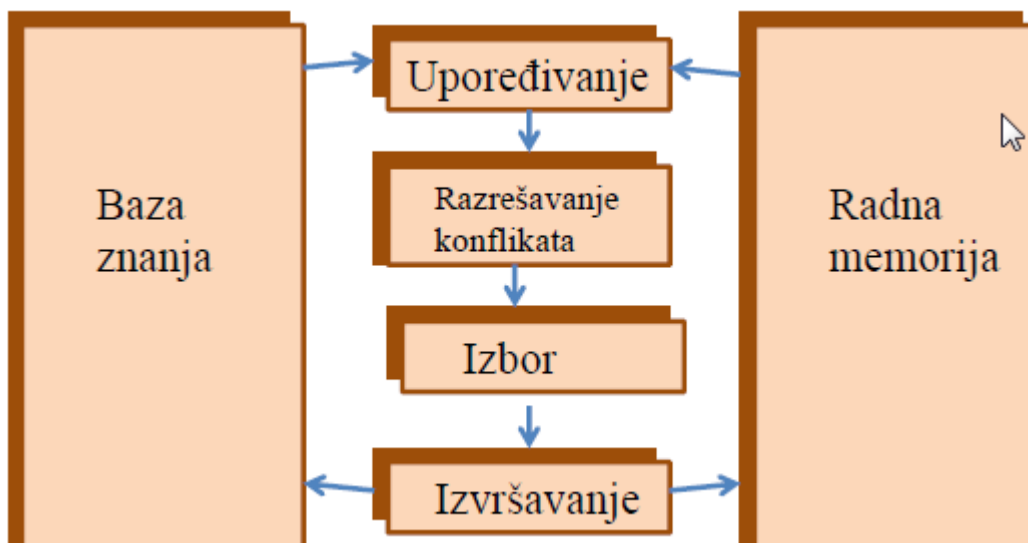
Mašina zaključivanja - MZ - je softverski program koji se poziva na postojeće znanje, manipuliše znanjem po potrebi, i donosi odluke o akcijama koje treba preduzeti. MZ zaključuje na osnovu znanja iz baze znanja i tako što poredi to znanje i znanje koje prikuplja u realnom vremenu. Kroz ove postupke MZ ispituje postojeće činjenice i pravila i dodaje nove činjenice kada je moguće. Dakle, MZ ne samo da se poziva na postojeće znanje u BZ, već donosi zaključke i uvećava bazu podataka novim saznanjem kada je to potrebno. MZ odlučuje o redosledu zaključivanja.

Dva su uobičajena pravila za izvođenje novih činjenica iz pravila i poznatih činjenica:

- *modus ponens*: je strategija zaključivanja koja se može opisati ovako: *Pravilo tvrdi da kada je poznato da je A tačno i da pravilo tvrdi „Ako je A, onda je B“, da je ispravno zaključiti da je B tačno.*

² Wigg (1999): Znanje može biti sabrano van čovekovog uma, a izvršni programi (softverski agenti) su u stanju da barataju verovanjima i prosuđivanjima: „znanje su istine i verovanja, uvidi i pojmovi, prosuđivanja i očekivanja, metodologije i know-how, i poseduju ga ljudi ili drugi agenti“.

- *modus tollens*: se može opisati ovako: *Kada je poznato da je B netačno i da pravilo tvrdi „Ako je A, onda je B“, onda je ispravno zaključiti da je A netačno*



Slika 7: Uobičajeni ciklus zaključivanja:

U jednostavnim, na pravilima zasnovanim sistemima dve su vrste zaključivanja: *ulančavanje unapred* i *ulančavanje unazad*. U sistemima zasnovanim na pravilima, ulančavanja unapred i unazad rade u ciklusima upravljajući i dopunjujući razmatrane činjenice i hipoteze ciljeva u radnoj memoriji. Na osnovu sadržaja radne memorije, biraju se i aktiviraju odgovarajuća pravila iz baze pravila. Sistemi zasnovani na pravilima, eng.: **rule-based systems** su sistemi koji prikupljaju i manipulišu znanjem da bi interpretirali informaciju na koristan način. Klasični primer ovih sistema su domensko specifični ekspertski sistemi koji koriste pravila da naprave izuzetke i izbore.

Ulančavanje unapred

Ulazi u sistem (SISTEMI ZASNOVANI NA ZNANJU) i podaci se skladište u radnu memoriju. Ulaz u radnu memoriju aktivira pravilo čiji uslov se poklapa sa novim podacima i ograničenjima. Aktivirano pravilo onda izvodi svoje akcije. Akcije mogu dodavati nove podatke u memoriju, te tako aktivirati još pravila, i tako dalje.

- *zaključivanje vođeno podacima*

MZ, koja koristi ulančavanje unapred, pretražuje pravila zaključivanja dok ne nađe pravilo za koje se zna da je „AKO“ deo tačan. Kada to pronade, onda se može zaključiti „ONDA“ deo, što dodaje novu informaciju na skup podataka mašine zaključivanja.

Ulančavanje unazad

Sistem (SISTEMI ZASNOVANI NA ZNANJU) treba da zna vrednost dela podatka ili hipotezu. Traži pravila čiji posledični („ONDA“) deo sadrži ove podatke. Pre nego što upotrebi pravila, sistem mora testirati njihove uslove. Ovo može imati za posledicu otkrivanje vrednosti još delova podataka, i tako dalje.

- *zaključivanje vođeno ciljem (zaključivanje vođeno hipotezom)*

Odnos ulančavanja unapred i unazad

Ulančavanje unapred se koristi kada:

- postoji dovoljno informacija o okruženju koje mogu dovesti do krajnje odluke
- postoji jedno početno stanje
- je teško formirati cilj koji bi se verifikovao
- kada je cilj nepredvidiv
- kada je cilj nevažan, već je važnije stalno poboljšavanje procesa

PRIMERI: Faza poboljšavanja kvaliteta u procesu razvoja softvera

Poboljšavanje procesa poslovanja kroz koji se ostvaruje visokonivoski cilj (Cilj je ili isuviše udaljen da bi se mogao ostvariti, ili se može ostvariti samo poboljšanim postupcima.). Ulančavanje unapred kreće od nekih činjenica i primenjuje pravila da bi se pronašli svi mogući zaključci.

Ulančavanje unazad se koristi kada:

- je cilj dat ili je očigledan
- ograničenja okruženja ili podaci nisu jasni
- relevantni podaci se moraju prikupljati tokom procesa zaključivanja
- postoji veliki broj primenljivih pravila
- su objašnjavanje i rasuđivanje važni korisniku u skladu sa prirodom primene
- ima malo ciljeva i mali broj pravila koja se bave velikim brojem činjenica (izbegava se nepotreban napor unosa velike količine podataka)

Ulančavanje unazad kreće od željenog cilja (ciljeva) i funkcioniše unazad da bi pronašlo činjenice koje podržavaju te ciljeve. Svaki sistem sa pravilima sa ulančavanjem unazad može se ponovo napisati kao ekvivalentni sistem sa ulančavanjem unapred. No, ako se unapred zna šta se traži, ulančavanje unazad može biti dobro rešenje. Koristi se u sistemima učenja, obuke i medicinske dijagnostike. Nije pogodno za primene u kojima je potrebno unakrsno pozivanje dokumenata ili eksploatacija podataka (*data mining*).

Ulančavanje unazad upravlja podciljevima automatski (što strategiju čini privlačnom). Koristi se za: rešavanje dijagnostičkih i klasifikacionih zadataka.

Sistemi zasnovani na znanju se veoma razlikuju od drugih informacionih sistema zasnovanih na računaru: sistema obrade transakcija (SOT), upravljačkih informacionih sistema (UIS), i sistema podrške odlučivanju (SPO).

Sistemi zasnovani na znanju:

- tretiraju znanje
- rade na nestrukturiranom nivou
- mogu obrazložiti svoje odluke
- mogu imati sposobnost učenja

Samoobučavanje je naučni zadatak čije rešenje omogućava sistemu zasnovanom na znanju da automatski uči iz procesa zaključivanja, izvršenih slučajeva, i okruženja. Za samoobučavanje je potreban upravljački mehanizam koji otkriva opšte pretpostavke i znanje u specifičnim podacima i u iskustvu, a sve to na osnovu valjanih statističkih i računskih principa.

Zato se sistemi zasnovani na znanju razvijaju (prave) na drugačiji način. Sistemi zasnovani na znanju moraju biti razumljivi (*user-friendly*), veliki obim znanja i upravljačka logika ne garantuju da će biti prihvaćeni od strane korisnika. Razvoj je skup, rizičan i zahteva velike napore.

Problemi sa razvojem Sistema zasnovanih na znanju:

- visoki troškovi i veliki napori
- uključivanje stručnjaka u domenu za koji se razvija sistem zasnovan na znanju
- priroda znanja
- visoki nivo rizika

Osnovne aktivnosti u razvoju sistema zasnovanih na znanju su:

1. prikupljanje znanja,
2. pronalaženje izvodivih zahteva,
3. izbor strategije i ukupnog projektovanja SISTEMA ZASNOVANI NA ZNANJU,
4. izbor ontologije i predstavljanja znanja,
5. razvoj sistema i njegova realizacija (implementacija),
6. testiranje, realizacija i obuka.

Ovih 6 aktivnosti su podeljene u 4 faze:

- analiza
- projektovanje
- detaljno projektovanje
- realizacija

Prvi ciklus razvoja

- inženjer znanja počinje da razumeva okruženje i probleme, priprema listu zahteva kroz kontakte sa stručnjakom i korisnikom
- inženjer znanja je razumeo izvodiive zahteve izražene tehničkim, ekonomskim i operacionim terminima
- inženjer znanja priprema opšti projekat sistema zasnovanih na znanju i konsultuje članove tima u vezi sa detaljnim projektom
- razvijaju se moduli, i pravi prototip
- prototip se testira u odnosu na standarde i listu zahteva, što može generisati nove (do tada skrivene) zahteve

Drugi ciklus razvoja

- prikupljanje dodatnih zahteva, dodatno projektovanje, razvoj

U proces prikupljanja znanja uključeno je više osoba: inženjer znanja, stručnjak u domenu za koji se projektuje sistem zasnovan na znanju, korisnici, i programeri.

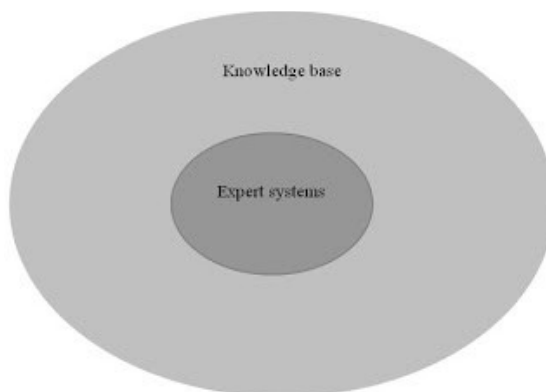
Ekspertski sistemi

Ekspertski sistem je tip aplikativnog (izvršnog) programa koji donosi odluke ili rešava probleme u određenoj oblasti koristeći znanje i analitička pravila definisana od strane eksperata u toj oblasti. Sistem zasnovan na znanju je sistem koji korsiiti znanje dobijeno uz njega da reši probleme u određenoj oblasti. Knjige i priručnici imaju ogromnu količinu znanja, ali čovek mora da čita i tumači

to znanje da bi ga koristio. Uzimajući ovo u obzir, može se reći da čovek ne može da izvrši kompleksan problem zbog raznih nedostataka kojima se čovek suočava. Nedostatak zbog nepouzdanosti, brzine i nedovoljno kapaciteta memorije će pruzrokovati čoveku da napravi grešku ili da bude neefikasan. Za ovaj slučaj ljudi mogu dizajnirati ekspertski sistem koji pružaju ljudskoj inteligenciji znanje u rešavanju određenih-specifičnih problema [9].

Ovi ekspertski sistemi i sistemi zasnovani na znanju imaju osnovna pravila kojima su oni obavezni da im pomažu u rešavanju složenih problema. Dovoljno informacija mora biti pruženo ekspertnom sistemu da bi se mogli ostvariti različiti zadaci koje bi čovek hteo da uradi. Sistemi zasnovani na znanju prikupljaju male fragmente ljudskog znanja „human know-how“ u baze znanja, koje se koriste sa razlogom kroz problem, korišćenjem odgovarajućeg znanja. Sposobnost ovih ekspertnih sistema da objasni proces rezonovanja kroz koji oni prolaze je karakteristika koju oni ne mogu da urade.

Sistemi zasnovani na znanju su generalniji nego ekspertski sistemi. Kao što se vidi na slici 8, koja ilustruje razliku, sistemi zasnovani na znanju su šireg domena nego ekspertni sistemi. Ekspertski sistemi su određenog domena nekog sistema zasnovanog na znanju, koji taj ekspertski sistem koristi za reprezentovanje znanja u rešavanju problema.



Slika 8: Odnos ekspertskog sistema i sistema zasnovanih na znanju [9].

Ekspertski sistemi su široko poznati u rešavanju složenih problema. Računari su dobri u predstavljanju brojeva, reči, čak i mapa, ali najveća poteškoća sa kojom se suočava je reprezentovanje znanja.

Neki od istaknutih ekspertskih sistema koji se koriste u robotici, samoj veštačkoj inteligenciji su [9]:

- programski jezik: Prolog (zasnovan na logici)
- programski jezik: CLIPS i Jess (CLIPS koji koristi Javu za više funkcija)
- programski jezik: ART
- ekspertni sistem: R1 (procesiranje naloga)
- Mycin (medicinski ekspertni sistem za dijagnostikovanje infekcija krvnih bolesti i preporučivanje antibiotika za lečenje)

- Dendral (prepoznavanje struktura organskih molekula od njihovih hemijskih molekula)

Naravno i ekspertski sistemi imaju svoje prednosti i mane.

Ekspertski sistemi donose sledeće dobitke:

- povećani izlaz i produktivnost,
- poboljšan kvalitet,
- smanjeno vreme zastoja,
- obuhvatanje retke stručnosti,
- fleksibilnost i pouzdanost,
- integrisano znanje,
- edukacioni dobici/olakšava obučavanje,
- povećava sposobnost rešavanja problema,
- dokumentacija znanja i olakšavanje prenosa znanja.

Prednosti ekspertskih sistema:

- baze znanja ekspertskih sistema je moguće dopuniti, ažurirati i proširiti,
- sadrži oromnu količinu informacija.

Mane ekspertskih sistema su ta da:

- nisu u mogućnosti da uče iz grešaka,
- ne mogu kreativno doći do novih rešenja za probleme.

Robotika

Uvod

Robotika predstavlja naučnu disciplinu koja se bavi izučavanjem, stvaranjem inteligentnih robota kao i razvojem i promenom novih algoritama upravljanja u robotici i rešavanjem posebnih zadataka u robotici. **Roboti** su složeni elektromehanički sistemi (fizički agenti) koji izvršavaju manipulacione i druge složene zadatke u svojoj okolini. Zbog svoje svrhe i namene oni su opremljeni **efektorima**, takozvanim izvršnim delovima, kao što su noge, ruke, zglobovi, točkovi ili hvataljke [10]... **Inteligenti robot** je mehanička tvorevina koja može autonomno funkcionisati. Zašto mehanička – zato što je napravljeno i konstruisano; tvorevina – valja o njoj misliti kao o nečemu što postoji (entitetu) sa svojom sopstvenom motivacijom, i procesima odlučivanja; autonomno funkcionisanje – može opažati, delovati, možda čak i rasuđivati ne samo izvršavati iznova i ponovo iste stvari kao kod same automatizacije. Postoje razni razlozi postojanja različitih vrsta robota, nekada je razlog nepristupačni tereni samom čoveku, nekada potreba za robotima je iz razloga što biološki sistemi nisu u mogućnosti da urade nešto na pravi način ili pak da obavljaju poslove koje živa bića ne mogu. Roboti su opremljeni **senzorima**, koji im omogućavaju da opažaju okolinu u kojoj se nalaze i da imaju interakciju sa istom. U današnjoj robotici koriste se različite vrste senzora, uključujući kamere i lasere za merenje i opažanje okruženja, kao i žiroskopi i akcelerometri za merenje kretanja samog robota.

Roboti se dele na tri osnovne kategorije:

1. Manipulatori (industrijski roboti),
2. Pokretni roboti (razne vrste pokretnih robota: zemaljska vozila, letelice i podvodna vozila),
3. Pokretni manipulator (Humanoidi) – Čovekoliki robot.

Postoje četiri glavna modaliteta vozila:

- Terenska vozila bez ljudske posade
- Bepilotne letelice
- Podvodno vozilo bez posade ili autonomno podvodno vozilo
- Površinska vozila bez posade (plovila)

Veštačka inteligencija i paradigme

U ovom radu se bavimo izačavanjem terenskih vozila bez ljudske posade (eng.: *autonomous cars* ili *self-driving cars*). Postoje tri kategorije: pokretni, čovekoliki ili oblika životinje, i minijaturni.

Inteligencija je bitan faktor kod svih tipova robota, pa i kod autonomnih vozila. Vozila bez posade zahtevaju veštačku inteligenciju (AI) iz sledećih razloga:

- *Interpretacija* informacija sa senzora: žbun ili velika stena?, Problem simbol-teren, Interpretacija terena
- Svest o situaciji/Opšta slika
- Interakcija čovek-robot
- „Otvoreni svet“ i višestruke dijagnoze otkaza i oporavak
- Lokalizacija u pređenim oblastima kada GPS (*Global Positioning System*) ne funkcioniše

- Tretiranje neizvesnosti
- Manipulatori
- Obučavanje

Kada već pominjemo i veštačku inteligenciju bitno je pomenuti koje su sve glavne oblasti AI-a:

1. Predstavljanje znanja
 - kako bi robot trebalo da predstavlja samog sebe, svoj zadatak i svet
2. Razumevanje prirodnih jezika
3. Obučavanje
4. Planiranje i rešavanje problema
 - Misija, zadatak, planiranje putanje
5. Zaključivanje
 - Generisanje odgovora kada ne postoji potpuna informacija
6. Pretraga (pretraživanje)
 - Nalaženje odgovora u bazi znanja, nalaženje objekata u svetu
7. Viđenje

Veštačka inteligencija se fokusira na autonomnost. Bitno je razlikovati pojmove **autonomnost** i **automatizacija**.

Automatizacija:

- Izvršavanje preciznih akcija koje se ponavljaju, ili niza akcija u dobro upravljivom okruženju koje se i dobro razume
- Unapred programirane akcije

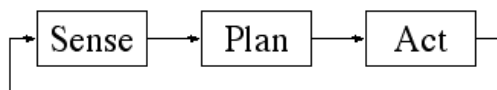
Autonomnost

- Generisanje i izvršavanje akcija radi ostvarivanja cilja ili izvršavanja zadatka, kada izvršavanje može biti ometano pojavom **nemodelovanih događaja** ili **okruženja**, što zahteva od sistema da se dinamički adaptira i da vrši ponovno planiranje.
- Adaptivnost

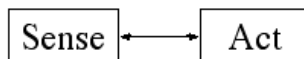
Autonomnost funkcioniše u dva sloja: reaktivno i promišljeno (eng.: *Deliberative*). Dok tri paradigme u AI određuju šta se dešava u kome sloju, one su zasnovane na tri robotske osnovne-ključne reči (3 robotska primitiva): opažanje (*sensing*), plan (*plan*), delovanje (*act*).

Najvažniji skupovi osnovnih pretpostavki i pravila čine sledeće tri paradigme, slika 9:

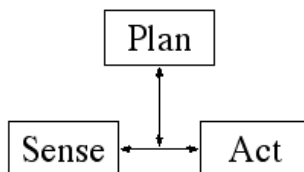
- **Hijerarhijska paradigma**
- **Reaktivna paradigma**
- **Hibridna paradigma**



Hierarchical



Reactive



Hybrid

Slika 9: Paradigme

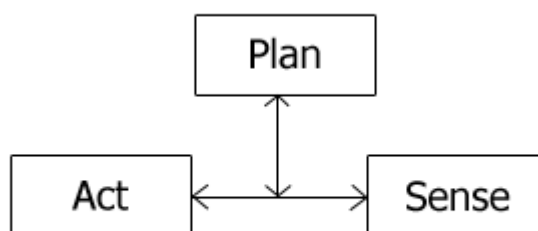
Kod autonomnih vozila primenjena je Hibridna paradigma.

Zbog nedostataka koji su se javili kod reaktivne paradigme, došlo je do potrebe da se planiranje i promišljenost vrata u robote, a da se pri tome sačuva ono što je dobro kod reaktivne paradigme: Ova paradigma je omogućavala realizaciju robota koji su radili u realnom vremenu koristeći relativno jeftine, komercijalno raspoložive procesore, bez memorije. Hibridna promišljeno/reaktivna paradigma koristi reaktivna ponašanja, ali uključuje i planiranje, realizovano bilo odozdo-na-više, ili svrha-na-dole, čime se uključuje inteligencija koja nije zasnovana na ponašanjima (*nonbehavioral intelligence*). Planiranje koje je uključeno u hibridnu promišljeno/reaktivnu paradigmu može biti, dakle, realizovano i s-vrha-na-dole, kao kod hijerarhijske paradigme, sa modelima globalnog sveta.

Smatra se da je hibridna paradigma najbolje opšte robotsko rešenje, jer:

- Korišćenje metoda asinhronne obrade (višeprocesna obrada – *multitasking*, niti – *threads*, i drugo) dozvoljava nezavisno izvršavanje funkcija promišljenosti u odnosu na reaktivna ponašanja (na primer, planer traži novi cilj, dok se robot reaktivno kreće ka trenutnom cilju)
- Dobra softverska modularnost dozvoljava podsistemima hibridne arhitekture da se mešaju i usklađuju i prilagođavaju prema potrebama za reaktivnim ili promišljenim delom arhitekture. Primene u kojima se traže čisto reaktivna ponašanja mogu aktivirati samo onaj deo arhitekture vezan za ponašanja, dok domeni koji su zahtevniji

Organizacija hibridne paradigme se svodi na, slika 10: **PLAN – PRIKUPLJANJE SENZORSKIH INFORMACIJA – DELOVANJE.**



Slika 10: Organizacija hibridne paradigme

Sama ideja hibridne paradigme je veoma laka: prvo se osmisli plan, pa se zatim prikupe senzorske informacije i deluje.

Na primer: autonomni automobil skreće levo što čini plan, prikuplja informacije okruženja u saobraćaju pomoću svojih senzora, i deluje na način na koji mu dozvoljava saobraćaj i sam sistem zasnovan na znanju unutar vozila.

Pretpostavke (dve) ideje hibridne paradigme:

- Planiranje je dugoročno i zahteva globalno znanje, te ga treba odvojiti od izvršavanja u realnom vremenu (princip softverskog inženjerstva – različite funkcije u različite objekte). Ovo je dobro za postavljanje ciljeva i izbor metoda. Dakle, promišljanje radi sa simbolima (cilj crvena grupa), dok su konačne odluke na reaktivnom nivou, reakcija radi sa sensorima i aktuatorima (na primer, crvena grupa ispoljava polje privlačenja)
- Planiranje i korišćenje algoritama globalnog modeliranja su računarski skupi, valja ih odvojiti od izvršavanja u realnom vremenu

Organizacija hibridne paradigme podeljena je u dva dela:

- reaktivni deo (**reaktor** – *reactor*)
- deo promišljanja (**promišljač** – *deliberator*)

Njihove karakteristike sa aspekta vremena su, na osnovu tri glavna dela vremena: prošlost, sadašnjost, budućnost, su:

- Reaktor: postoji u SADAŠNJOSTI (može relativno malo trajati)
- Promišljač: može rasuđivati o PROŠLOSTI i može se projektovati u BUDUĆNOST

Sam koncept autonomnog vozila baziranog na hibridnoj paradigmi, sa svim svojim tehnološkim dostignućima, postojećim projektima i idejnim rešenjima je tema ovog rada kojom ćemo se baviti u nastavku.

Tehnologije

Senzori

Razvoj i napredak pravih robota zavisi u istoj meri ne samo od upravljačkog programa već i od projektantskih rešenja poput senzora i efektora koji čine sam hardver robota. Senzori predstavljaju opazajnu spregu između robota i okruženja. Postoje dve vrste senzora: **Pasivni senzori i aktivni senzori**. Pasivni senzori, kao što su kamere, su robotski posmatrači okruženja, oni hvataju signale koje generišu drugi izvori u okruženju. Aktivni senzori, kao što je sonar, šalju energiju u okruženje, i oslanjaju se na činjenicu da se ta energija reflektuje od okruženja i vraća nazad ka senzoru. Aktivni senzori pribavljaju više informacija od pasivnih senzora.

Bez obzira da li su aktivni ili pasivni, senzori se dele na tri vrste u zavisnosti od toga da li *opazaju okruženje, lokaciju robota, ili njegovu unutrašnju konfiguraciju*.

Tipovi senzora:

- **Daljinomeri**: su senzori koji mere udaljenost do obližnjih objekata. Prve verzije daljinomera su bili *sonarni senzori*, koji su bili u upotrebi u samim začetcima robotike. Oni emituju zvučne talase usmerene ka objektima okoline, koji se reflektuju i deo zvuka se vraća u senzor. Vreme i jačina povratnog signala su pokazivali udaljenost obližnjih objekata. Ova tehnologija se još uvek ponegde primenjuje u podvodnim vozilima bez posade. Postoji još jedna tehnologija koja je preteča daljinometara a to je *stereo viđenje*. Većina današnjih terenskih vozila je opremljena daljinomerima. Ovi otički daljinomeri emituju aktivne signale (svetlost) i mere vreme dok se refleksija tog signala ne vrati u senzor. Drugi tip daljinomera koji su inače i najzastupljeniji na terenskim vozilima jesu takozvani **skenirajući lidari**, to su specijalne 1-pikselne kamere koje koriste laserske zrake, koji se usmeravaju pomoću složeno podešenih ogledala ili rotirajućih elemenata. *Radar* je još jedan tip senzora za merenje daljine koji se uglavnom koristi u podvodnim vozilima. Oni mogu da mere rastojanja od više kilometara. I kao još jedna vrsta senzora za merenje daljine su tzv. *taktni senzori*. To su ustvari senzori koji su osetljivi na dodir i mere razdaljinu na osnovu fizičkog kontakta, mogu se primeniti samo za opažanje objekata koji su veoma blizu robota [10].
- **Senzori lokacije**: su senzori koji koriste opažanje rastojanja kao prvenstvenu komponentu za određivanje lokacije. U otvorenom prostoru je **sistem globalnog pozicioniranja** (eng.: *Global Position System – GPS*) najčešće rešenje za problem lokalizacije. GPS meri razdaljinu od satelita koji emituju pulsirajuće signale. Trenutno u zemljinoj orbiti postoji 31³ satelit koji emituju pulsirajuće signale na više različitih frekvencija. GPS prijemnici mogu da utvrde udaljenost od ovih satelita analizom *pomeraja faze*. Triangulacijom signala iz više satelita, GPS prijemnici mogu da utvrde svoju apsolutnu lokaciju na zemlji sa preciznošću od nekoliko metara. Da bismo dobili preciznija merenja odnosno lokacije, koristi se **diferencijalni GPS**, koji uključuje drugi zamajski prijemnik sa poznatom lokacijom, pa se pod idealnim uslovima dobija milimetarska preciznost [10].

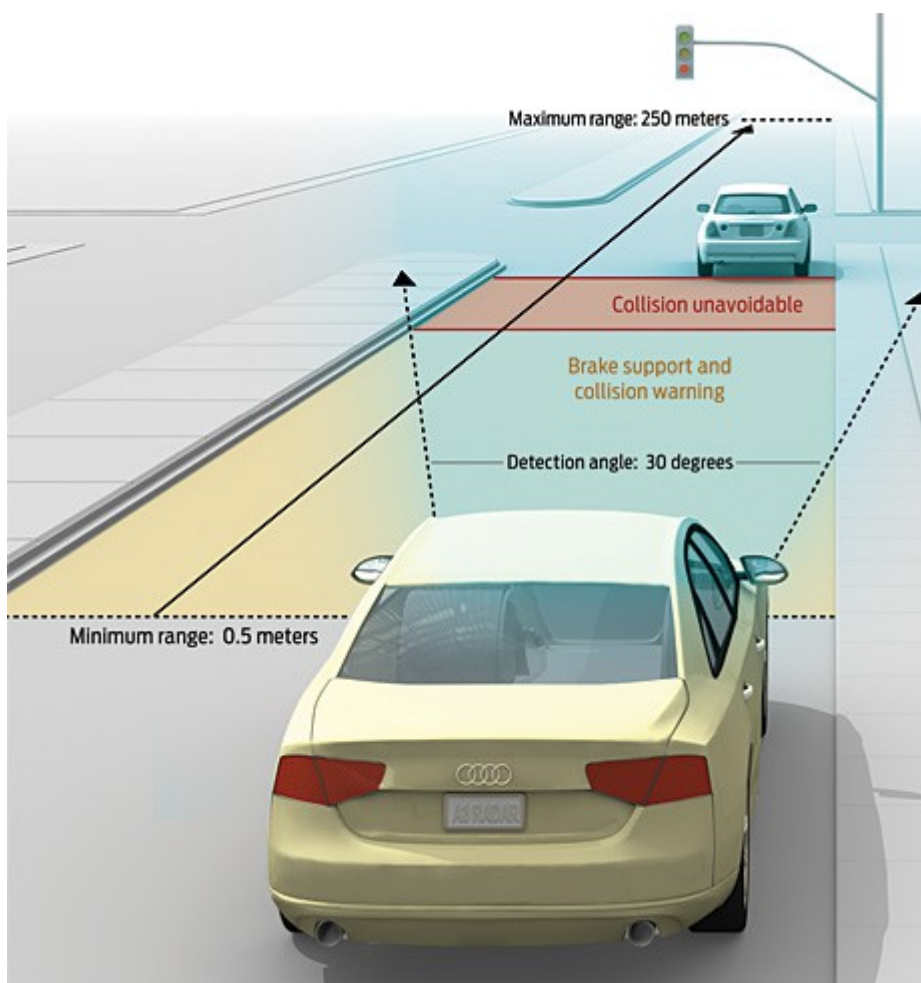
³ Podatak iz knjige: „*Veštačka inteligencija, savremeni pristup*“, Prevod trećeg izdanja, 2011.

- **Proprioceptivni senzori:** treća značajna klasa senzora, koji obavješavaju robota o vlastitom kretanju. Oni se uglavnom koriste kod čovekolikih robota i u industrijskim robotima gde se koriste za merenje precizne konfiguracije robotskog zgloba. Jedna od vrsta ovakvih senzora jesu **odometri**, koji se koriste kod autonomnih vozila za izveštavanje sistema pomoću osovinskih enkodera o obrtajima točkova, a svrha im je merenje *odometrije* – odnosno pređenog puta.

U kratkim crtama biće objašnjeni pojmovi različitih vrsta senzora koji se koriste kod autonomnih vozila, kasnije u odeljku Komponente sistema biće prikazani i u praksi.

Radar je senzor koji koristi radio talase da odredi opseg-razdaljinu, smer ili brzinu objekata. Radar je tajno razvijan od nekoliko zemalja još pre i tokom Drugog svetskog rata. Termin RADAR je nastao u Sjedinjenim Američkim Državama tokom 1940 godine od strane mornarice kao akronim za **RA**dio **D**etection **A**nd **R**anging. Moderna upotreba radara je veoma raznovrsna, primenjuje se u raznim sferama: vazduhoplovstvu, nadgledanju morskih dubina, u astronomiji, vazdušno odbrambenim sistemima, medicini... Veliku upotrebu dobija i u autonomnim sistemima za upravljanje vozilima [11].

LADAR/LIDAR LASer Detection And Ranging ili **Light Detection And Ranging** koristi lasersku svetlost da otkrije udaljenosti objekata, slično radarskim sistemima. LIDAR laseri koristi ultraljubičaste, vidljive, ili skoro blizu infracrvene svetlosti, da bi oslikali objekte i mogu se koristiti za širok spektar ciljeva uključujući nemetalne objekte, stene, kišu, hemijska jedinjenja, aerosoli, oblake, pa čak i pojedinačne molekule [11]. Uski laserski zrak može da mapira fizičke osobine objekata sa veoma viskom rezolucijom. LIDAR tehnologija se koristi u robotici za opažanje životne sredine, kao i za klasifikaciju objekata. Sposobnost LIDAR tehnologije omogućava da obezbedi trodimenzionalne mape terena, visoku preciznost udaljenosti, i brzinskim pristupom da omogući bezbedno zaustavljanje vozila sa viskom stepenom tačnosti. LIDAR se kod vozila koristi u adaptivnoj kontroli kretanja (*Adaptive Cruise Control – ACC*). Sistemi poput *Siemens*-a i *Hella* koriste LIDAR uređaje monitorane na prednjem delu vozila, kao što je na braniku, da prate rastojanje između vozila, i bilo kog vozila ispred, slika 11.



Slika 11: Šematski prikaz snopa svetlosti LIDAR-a

GPS je kao što je već pomenuto sistem zasnovan na prostoru satelitske navigacije, koji obezbeđuje tačnu lokaciju i poziciju vozila u svim vremenskim uslovima, bilo gde na zemlji. U robotici primena GPS uređaja se zasniva na samostalnoj navigaciji korišćenjem GPS senzora, koji izračunavaju geografsku širinu, dužinu, vreme i brzinu, pa na osnovu kordinata mape daju informacije sistemima unutar autonomnih vozila [12].

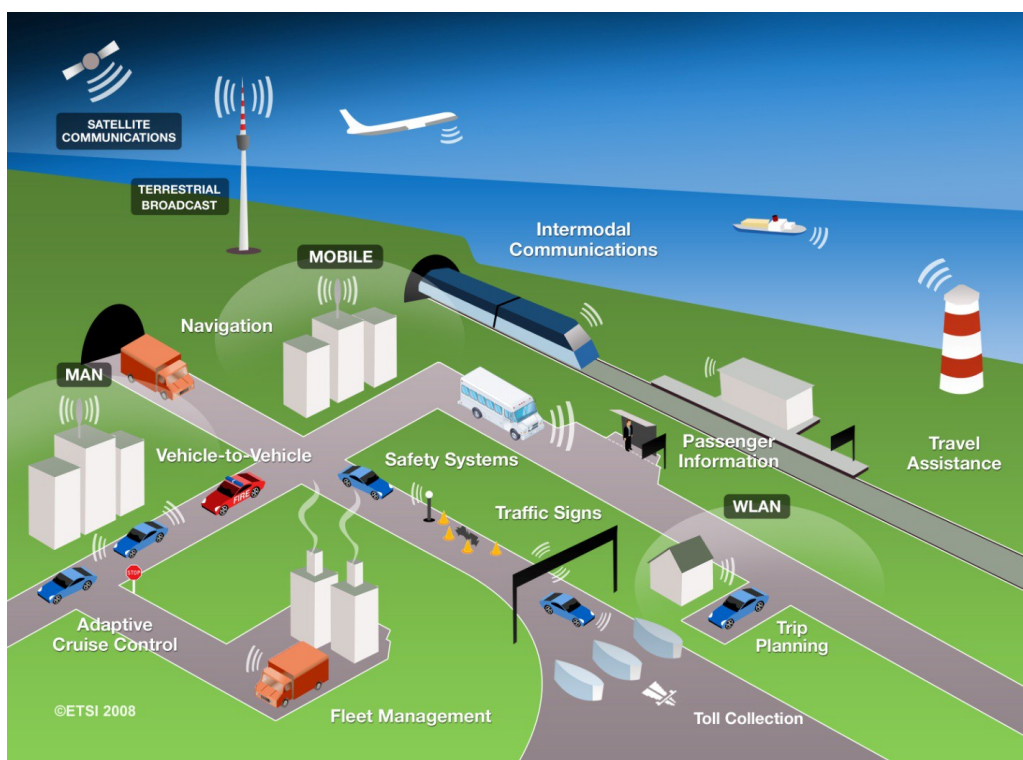
Computer Vision je polje koje obuhvata metode za dobijanje, obradu, analiziranje i razumevanje slike i, u principu, visoko dimenzionalne podatke iz realnog sveta u cilju da proizvedu numeričke ili simboličke informacije. Kao tehnološka disciplina, *Computer vision* nastoji da primenjuje svoje teorije i modele za izgradnju CV sistema. Primeri ove tehnologije se mogu naći u raznim sistemima, pa i u robotici odnosno sistemu autonomnog vozila [15].

Odometar ili odograph je instrument koji služi za da pokaže udaljenost koju je vozilo prešlo. Većina odoimetara radi brojanjem rotacije točkova, pređeno rastojanje se meri brojem obrtaja točka puta dimenzija obim gume.

Saobraćajno komunikacioni sistemi

Saobraćajno komunikacioni sistemi, eng. *Vehicular communication systems* je tip mreže u razvijanju u kojem su vozila i delovi puteva (putne jedinice) čvorišta komunikacije, pružajući jedni drugima informacije, kao što su bezbednosna upozorenja i informacije o saobraćaju. Kao kooperativni pristup, saobraćajno komunikacioni sistemi mogu biti efikasniji u izbegavanju saobraćajnih nesreća i saobraćajnih gužvi, nego bilo koje drugo vozilo koje samostalno pokušava da izbegne ovo. Saobraćajni komunikacioni sistemi su integrisani tip mreže u kojem su vozila i drugi delovi duž puta komunikaciona čvorišta koja pružaju jedni drugima informacije [16].

Generalno, saobraćajne mreže se sastoje iz dve vrste čvorova: vozila i tzv. putnih stanica. Oba ova uređaja su namenjena za komunikacije kratkog dometa eng. *Dedicated Short Range Communications (DSRC)* DSCR rade na 5,9 GHz frekvencnom opsegu sa protokom od 75 MHz i približnim dometu od 1000 metara. Mreža bi trebala da podržava privatne podatke komunikacije i javne (pre svega bezbedne) komunikacije., ali se veći prioritet daje javnoj komunikaciji. Saobraćajna komunikacija obično se razvija kao deo inteligentnih transportnih sistema, eng. *Intelligent Transport Systems (ITS)*. ITS nastoji da postigne sigurnost i produktivnost putem inteligentnog transporta koji objedinjuje komunikaciju između mobilnih i fiksnih čvorova. U tom cilju ITS se oslanja u velikoj meri na žične i bežične mreže. Slika 12 predstavlja skica fiksnih i mobilnih čvorova unutar saobraćajnog komunikacionog sistema.

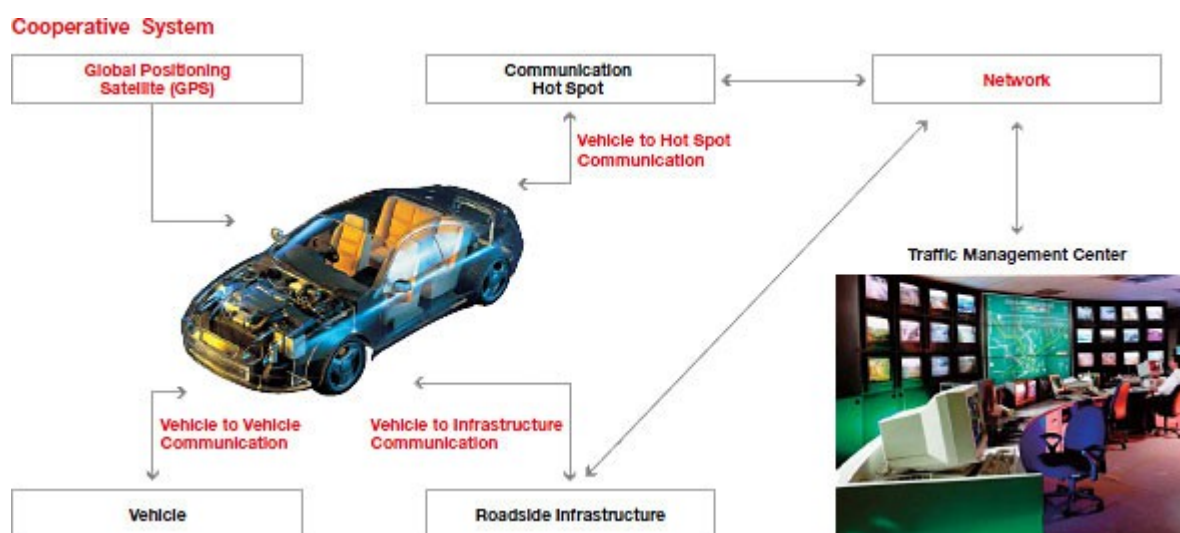


Slika 12: Mobilni i fiksni nodovi VCS-a

Glavni motiv saobraćajnih komunikacionih sistema je na prvom mestu bezbednost učesnika u saobraćaju i eliminisanje prekomernih troškova saobraćajnih sudara [14]. Prema procenama Svetske zdravstvene organizacije (WHO), saobraćajne nesreće godišnje prouzrokuju 1.2 miliona smrtnih

slučajeva širom sveta, takođe godišnje oko 50 miliona ljudi doživi povrede u saobraćajnim nesrećama. Američko ministratsvo za transport sugerise da ovaj broj može biti značajno smanji samo ako bi se u sadašnjem saobraćaju postavljali lokalni sistemi upozorenja kroz saobraćajnu komunikaciju koji se planiraju za saobraćajne komunikacione sisteme budućnosti [17].

Saobraćajna komunikacija je uglavnom motivisana željom da se sprovedu inteligentni transportni sistemi (ITS) zbog svojih ključnih prednosti u pogledu sigurnosti i jednostavnom planiranju transporta ili putovanja. Nekoliko ITS institucija posluje širom sveta da bi doneli upotrebu ITS-a u realnom svetu. U Sjedinjenim Američkim Državama glavni zagovornik ove ideje je i samo Ministarstvo za transport (USDOT). Federalno ministarstvo transporta, promovise ITS kroz ulaganja u potencijalno visoko isplativim inicijativama. Jedna od tih glavnih inicijativa Integracija saobraćajne infrastukture eng. *Vehicle Infrastructure Integration (VII)*, nastoji da poveća sigurnost obezbeđujući komunikacije između vozilo-vozilo „V2V“ i vozilo-putne stanice eng. *vehicle-to-infrastructure „V2I“*, slika 16 i dr. kroz komunikaciju krakog dometa (DSRC), slika 13.

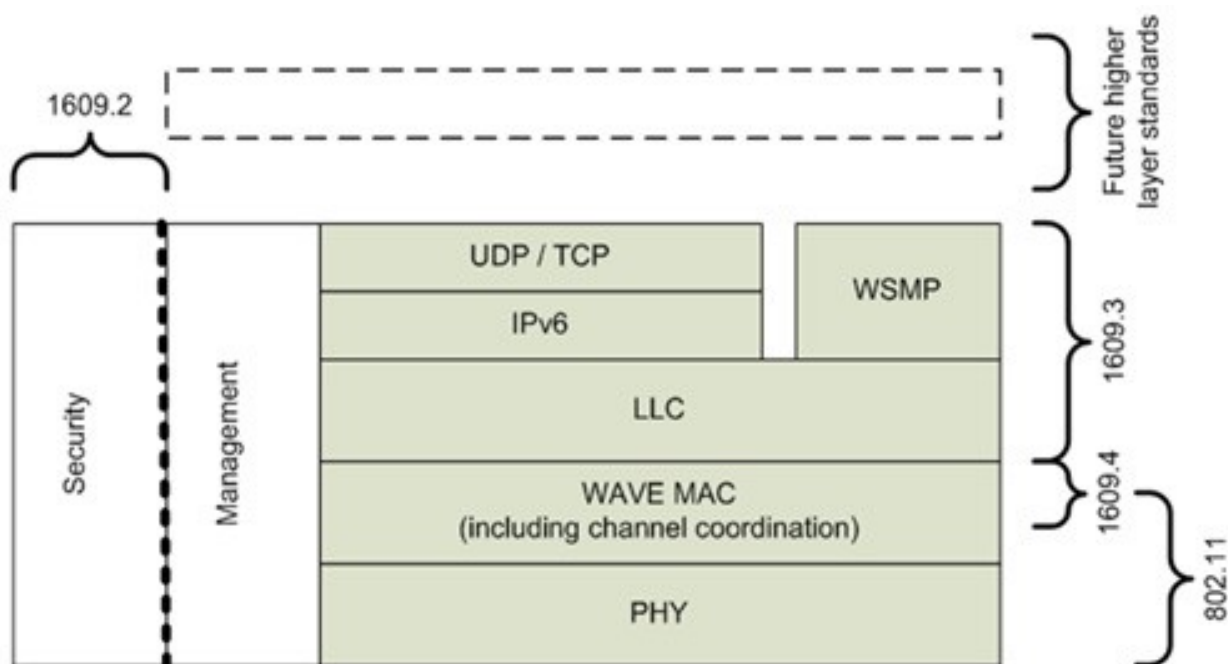


Slika 13: Šematski prikaz komunikacije kratkog dometa DSRC

Tehničke karakteristike komunikacije kratkog dometa su odvojene u dve kategorije i kao dva nacrti standarda koji daju skice za saobraćajne mreže. Ovi standardi predstavljaju kategoriju IEEE standarda za specijalni režim rada IEEE 802.11 za saobraćajni mrežu pod nazivom standard za bežični pristup saobraćajnog okruženja eng. *Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)*. 802.11p je proširenje specifikacije za 802.11 Bežični LAN srednjeg pristupnog sloja (MAC) i fizičkog sloja (PHY).

IEEE 1609 standard [18], slika 14 prikazuje familiju standarda koji se bave pitanjima kao što su upravljanje i bezbednost mreže:

- 1609.1 – *Resource Manager*: ovaj standard obezbeđuje resurse menadžera za WAVE, omogućavajući komunikaciju između udaljenih aplikacija i vozila,
- 1609.2 – *Security Service*: bezbednosni servis za aplikacije i upravljanje porukama,
- 1609.3 – *Networking Service*: ovaj standard služi za adresiranje pitanja i problema mrežnog nivoa za saobraćajnu mrežu WAVE,
- 1609.4 – *Multi-channel Operation*: ovaj standard se bavi komunikacijama putem više kanala.



Slika 14: IEEE 1609 dijagram

Obezbeđivanje sigurnosti je primaran cilj saobraćajnih komunikacionih mreža. Vozila koja otkriju neposrednu opsnost, kao što su prepreke i sl. obaveštavaju druga vozila. Elektronski senzori u svakom automobilu mogu da detektuju nagle promene u putanji ili brzini kretanja i poslati odgovarajuću poruku „susedima“. Vozila mogu obavestiti obližnja vozila o svojim pravcima kretanja i promenama da bi drugi „vozači“ mogli da donesu bolje i odgovarajuće odluke na vreme, ovo je mnogo naprednija verzija od današnjih pokazivača pravaca. U naprednijim sistemima na raskrsnicama sistem odlučuje koje vozilo ima pravo prvenstva prolaza, u zavisnosti od situacije automatski obaveštava i sve ostale učesnike u saobraćaju, samim tim ih i raspoređuje u nekakav redosled prolaska, šematski prikaz raskrsnice slika 15.

Neka od neposrednih obaveštenja su:

- Upozorenja o ulasku u raskrsnicama,
- Upozorenja o napuštanju autoputeva,
- Otkrivanje prepreka,
- Upozorenja o iznenadnom zaustavljanju,
- Izveštavanje o nesreći,
- Upozorenje o promenama traka,
- Upozorenje o ulasku na autoputeve,
- Upozorenje o dolasku vozila velikom brzinom,
- Upozorenje o nailasku na vozilo za mnogo manjom brzinom...



Slika 15: sistem koji reguliše raskrsnicu

Upravljanje saobraćajem se koristi od strane ovlašćenih struktura a kako bi se olakšao protok saobraćaja i da obezbedi kraće vreme putovanja u odnosu na gužvu. Organi zaduženi za upravljanje saobraćajem mogu promeniti i pravila saobraćaja kao što su: promena dozvoljene brzine, smerove kretanja, zaustavljanja saobraćaja, propuštanje vozila hitnih službi koja nailaze itd... zbog konkretnih situacija kao što su loše vreme, policijska potera i sl.

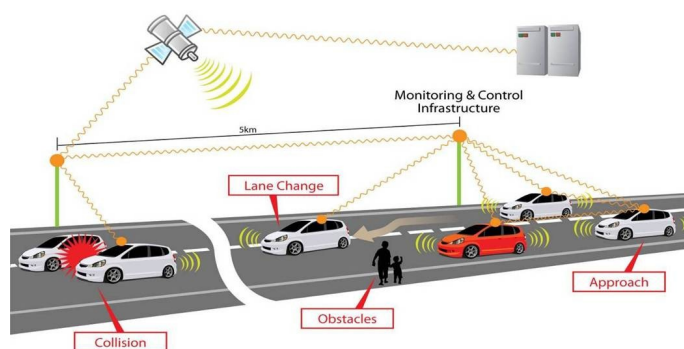
Pored puteva mogu stajati razne saobraćajne jedinice koje vozačima mogu obezbediti neophodne informacije ili informacije od pomoći za kontrolu vozila, to su takozvani *Driver assistance systems*, oni mogu biti od koristi i komercijalnim vozilima koja voze ljudi, na primer to su sistemi za: parkiranje vozila, *cruise control* (tempomat), pomoć pri kretanju u traci na uzbrdici, prepoznavanje znakova...

Saobraćajna komunikacija može služiti i prilikom primenu zakona kao dokazni materijal, ako je neko vozilo prekršilo postojeću signalizaciju ili napravilo neki drugi prekršaj. Takođe, mogu se vozilu proslediti informacije poput: upozorenja ograničene brzine, zabrane ulaska na autoputeve, isključivanje sa autoputeva ili prolaska naplatnih rampi, obaveštenja tipa stani sa strane, itd. Saobraćajna komunikacija može služiti i za nadgledanje saobraćaja i dešavanja unutar samog saobraćaja, prepoznavanje neispravnih vozila... Moguća je i naplata saobraćajnih prekršaja elektronskim putem, beleženje svih načinjenih prekršaja, itd...

Obaveštavanje vozila o benzinskim pumpama, stajalištima, servisima duž rute kretanja. U slučaju kretanja na put, trenutni pravac nije prohodan, obezbeđivanje alternativnih pravaca na osnovu određenih parametara, obaveštavanje putnika o vremenu dolaska itd... Tokom putaovanja, putnici mogu koristiti i alternativne sadržaje saobraćajnih mreža kao što su: pristup na web, email, skidanje željenih fajlova i sadržaja, zabava pa i online igranje.

Komunikacija vozilo-vozilo (V2V)

V2V (eng. *vehicle to vehicle*), komunikacija od vozila do vozila, je automobilska tehnologija projektovana da omogući komunikaciju između automobila, da mogu međusobno da „razgovaraju“. V2V je trenutno u aktivnom razvoju od strane GM-a, koji je demonstrirao sistem koristeći Kadiakova vozila. Takođe i ostali vodeći proizvođači vozila rade na V2V, kao što su BMW, Daimler, Audi, Honda, Volvo [19]. Danas postoji konzorcijum proizvođača automobila koji razvijaju ovaj koncept komunikacije pod nazivom *Car-to-Car* komunikacioni konzorcijum. Na slici 16, skicirana je komunikacija između vozila, dok je na slici 17 predstavljena vizuelna slika u realnom svetu kako vozila šalju signale jedna drugim.



Slika 16: Skica V2I i V2V komunikacije



Slika 17: Komunikacija u realnom saobraćaju

LiDAR sistemi

Kao jedan od važnijih faktora u konceptu autonomnih vozila LiDAR sistem je od bitne važnosti za samo pozicioniranje vozila i sredine u kojoj se vozilo kreće, odnosno za interakciju između samog vozila i svih objekata u njegovom okruženju. Da bi smo koncept LiDAR sistema i samih LiDAR senzora shvatili kao jedan od bitnijih faktora u autonomnim vozilima, morali bi prvo da razumemo i njihovu pozadinu, odnosno sistem ili bolje rečeno disciplinu sistema koji se zasnivaju na nekom prikupljenom znanju, ukratko sistemi zasnovani na znanju, što je već bilo pomenuto u uvodnom delu.

LiDAR, ili 3D laser skeniranje, je osmišljen 1960-ih za otkrivanje podmornica iz aviona, a rani modeli su uspešno korišćeni početkom 1970-ih u SAD, Kanadi i Australiji. Tokom preteklih deset godina došlo je do značajnijeg pomaka u u potrebi LiDAR senzora. Ovo je praćeno povećanjem svesti i razumevanjem o LiDAR sistemima u industrijama koje nisu isključivo povezane i gde je usvojena primena istih.

Terenski zasnovani LiDAR sistem

Terenski LiDAR sistemi su veoma slični LiDAR sistemima koji se koriste na letelicama, većina LiDAR sistema su napravljeni od LiDAR senzora, GPS resivera, interne merne jedinice „inertial measurement unit“ (IMU), ugrađenog računara i uređaja za čuvanje podataka. Jedina razlika između LiDAR sistema koji se koriste na zemlji i u vazduhu jeste da IMU nije potrebno za tzv. terenski LiDAR sistem koji je uglavnom montiran na stativ na kom LiDAR sensor rotira svih 360 stepeni. Pulsirajući laserski zrak se reflektuje od objekata, kao što su prednje strane zgrada koje se nalaze na pravcu kretanju laserskog zraka, bandera, vegetacije, drugih vozila, i naravno ljudi i životinja. Povratni impulsi se snimaju, a rastojanje između senzora i predmeta se obračunava. Prikupljeni podaci su u „point cloud“ formatu, što je trodimenzionalni niz tačaka, od kojih svaka ima x, y i z pozicije u odnosu na izabrani koordinatni sistem.

Kako ustvari LiDAR radi? (Nauka iza tehnologije)

Princip LiDAR sistema je zaista vrlo jednostavan. Merenje vremena koje je potrebno da obasjana mala svetlost dođe do površine i vrati se nazad do izvora. Primer: kada upalite baklju površinu koju zapravo vidite je svetlost od baklje koja se reflektuje preko te površine i projektuje na vašu mrežnjaču. Svetlost putuje veoma brzo 300.000 kilometara u sekundi, tako da pretvaranje svetlosti deluje da je trenutno. Naravno, to nije! Oprema potrebna za merenje mora da radi izuzetno brzo. Tek sa napredkom modernih kompjuterskih tehnologija to je postalo moguće.

Stvarna računica za merenje koliko daleko je povratni svetlosni foton putovao do i od objekta je prilično jednostavna (1).

$$\text{Distanca} = (\text{brzina svetlosti} \times \text{vreme leta}) / 2 \quad (1)$$

LiDAR instrument ispaljuje automatske brze impulse laserske svetlosti na površinu i do 150.000 impulsa u sekundi, senzor na instrumentu meri količinu vremena koja je potrebna da se svaki impuls odbije nazad. Svetlost se kreće konstantnom brzinom tako da LiDAR instrument može da izračuna distancu između sebe i cilja sa visokom preciznošću. Ponavljanjem toga izuzetno brzim nasleđivanjem instrument pravi složenu mapu površine koju je izmerio.

Generalno, postoje dva tipa LiDAR metoda detekcija. “Direct energy” detekcija, takođe poznata kao nepovezana, i koherentna detekcija. Koherentni sistemi su najbolji za “Doppler” ili fazno osetljiva merenja i generalno koriste optičko heterodinu detekciju. To im omogućava da rade sa mnogo manje snage, ali ima veće troškove zbog zahteva za monog kompleksnijim primopredajnicima. U oba tipa LiDAR sistema postoje dva glavna modela pulsa: mikropuls i visoko-energentni sistemi. Mikropulsni sistemi su se razvili kao rezultat moćnijih računara sa većim računarskim mogućnostima. Ovi laseri su slabije snage i klasifikavani kao “eye-safe” omogućavajući im da se koriste sa manjim merama bezbednosti. “High energy” sistemi ili visoko energentni sistemi se najčešće koriste za atmosfersko istraživanje gde se često koriste za merenje različitih atmosferskih parametara kao što su visine, slijevi i gustine oblaka, temperatura, pritisak, vetar, vlaga i tragove koncentracije nekog gasa.

Komponente LiDAR-a

Većina LiDAR koriste četiri glavne komponente [20]:

Laseri

Laseri su kategorizovani prema njihovoj talasnoj dužini. 600-1000 nm laseri se češće koriste za naučne svrhe, ali, jer oni mogu biti usmereni i lako apsorbujući za ljudsko oko, maksimalna snaga se mora ograničiti da budu takzovano „eye-safe“ bezbedni za oči. Laser sa talsnom dužinom od 1550 nm su uobičajena alternativa pošto nisu u fokusu oka i takođe su „eye-safe“ na mnogo višim nivoima snage. Ove talasne dužine se korsite za veće dometa i u svrhe manje tačnosti. Još jedna prednost 1550 nm talsanih dužina je da se ne vide pod takozvanim noćnim pogledom (night-vision) i stoga je pogodan za vojne namene.

Skeneri i optike

Brzina kojom slike mogu da se razviju je uslovljeno brzinom kojom one mogu da se skeniraju u sistem. Različite vrste metoda skeniranja su dostupne za različite namene. Njihova vrsta optike određuje koja rezolucija i opseg može biti detektovana od strane sistema.

Foto-detektori i elektronski prijemnici

Foto detektor je uređaj koji čita i beleži signal koji je vraćen ka sistemu. Postoje dve glavne vrste foto detektor tehnologija, „solid state“ detektori i foto multiplikatori.

Navigacija i sistemi pozicioniranja

Kada se LiDAR senzor postavi na mobilnu platformu kao što su sateliti, avioni ili automobili, neophodno je da se odredi i njihova apsolutna pozicija i orijentacija senzora da bi se dobili upotrebljivi i tačni podaci podaci. Global Positioning Systems - GPS obezbeđuju preciznu geografsku informaciju na osnovu pozicije senzora i Inertia Measurement Unit (IMU) beleži preciznu orijentaciju senzora na toj lokaciji. Ova dva uređaja obezbeđuju metod za prevod podataka senzora u statičke tačke za upotrebu u različitim sistemima.

LiDAR je postao sve više populara kao sistem za navođenje autonomnih vozila. Brzina i tačnost skenera znači da se podaci mogu biti preneti u sistem da se obrade i vrate više ili manje u relanom vremenu. Ovo omogućava uređaju koje kontroliše vozilo da prepozna prepreke i da ažurira svoju rutu u veoma maloj količini vremena.

LiDAR je već našao i primenu u komercijalnim vozilima kroz razne vidove tehnologija i asistencija vozačima tokom vožnje.

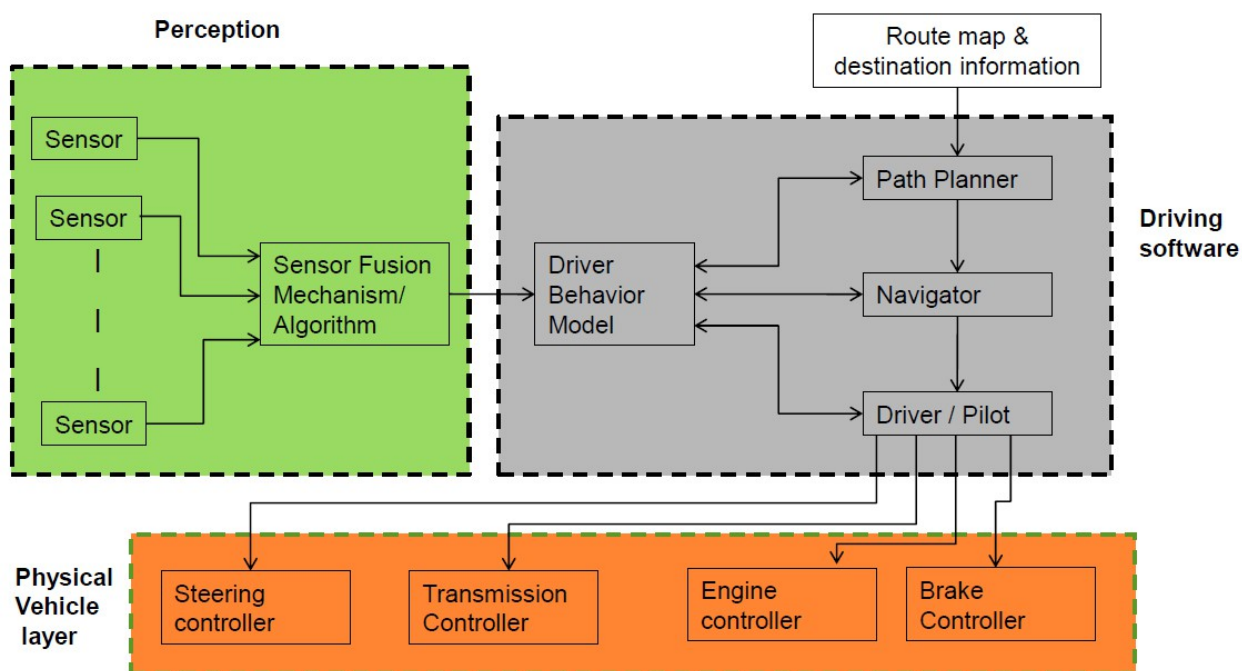
LiDAR se koristi za kreiranje *Adaptive Cruise Control* (ACC) sistema za komercijalne automobile. Sistemi kao što su Siemens i Hella koriste LiDAR uređaj postavljen na prednjem delu vozila da nadgleda razdaljinu između vozila i bilo kog drugog vozila ispred njega. Često, laseri su postavljeni na branik vozila. U slučaju da vozilo ispred usporava ili je preblizu, ACC primenjuje kočnicu da bi usporio ili zaustavio vozilo. Kada je put ispred čist, ACC omogućava vozilu da ubrza do brzine koju je postavio vozač.

LiDAR je takođe inkorporiran u razvoj zvani *Pre-Scan* gde laseri skeniraju površinu puta nekoliko stotina puta u sekundi. Zatim se ova informacija prosleđuje putnom računaru u vozilu i procesuiru u frakciji od sekunde koje prilagođava pojedinačno vešanja na svakom točku. Cilj ove tehnologije je da se obezbedi besprekorni i najsigurniji mogući prevoz umanjujujući reakcije točka i gume na nedostacima na površini asfalta ili da upozori o preprekama ili tzv. udranim rupama.

Upravljački algoritam autonomnog vozila

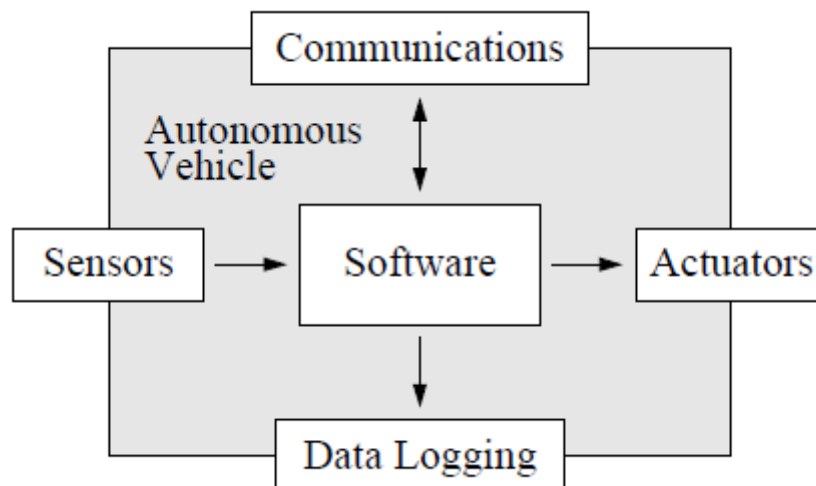
Upravljački algoritam autonomnog vozila (inteligentnog vozila) je zasnovana na hibridnoj paradigmi. Arhitekturu možemo razdvojiti u tri nivoa ili grupe. Nivo opažanja, nivo upravljačkog softvera i fizički nivo vozila, što je i grafički predstavljeno na slici 18.

- Nivo opažanja čine različite vrste senzora koji prikupljaju informacije spoljašnjeg sveta, takozvanom fuzijom senzora pomoću odgovarajućeg algoritma.
- Nivo upravljačkog softvera, ili drugačije zvan nivo promišljenosti agente upravljanja vozilom, planer puta, navigator i vozač.
- Fizički nivo vozila, ili reaktivni sloj u sebi sadrži kontrole upravljanja vozilom, tačnije kontrole motora, kontrole upravljanja, kontrole kočnice i kontrole transmisije.



Slika 18: Skica arhitekture autonomnog vozila

Uloga softvera autonomnog vozila je predstavljena na slici 19. Ovaj najosnovniji dijagram je odgovarajući za skoro sva autonomna vozila. Kao što je već bilo reči senzori su potrebni za opažanje okruženja, te informacije predstavljaju ulaze softvera, a hardverski aktuatori su potrebni da bi delovali u okruženju, oni predstavljaju izlaze softvera. Opciono, komunikacioni hardver unutar vozila može se koristiti za interakciju sa vozilom u realnom vremenu (ovo su oba i ulazi i izlazi softvera). U praksi, neka forma komunikacionog linka je uglavnom uvek prisutna u bilo kom autonomnom vozilu. Opciono takođe, ali ponekad veoma često i čak od fundamentalnog značaja je hardver za skladištenje ugrađenih podataka aktivnosti vozila kao i raznih nalaza (ovo su izlazi softvera).



Slika 19: Osnovni dijagram

Autonomna vozila su dizajnirana tako da zadovolje visok nivo njihove svrhe, bilo da se koriste u dubinama mora, u spoljnom svemiru, za bezbedan transport ljudi, ili spašavanja čovečanstva od samog sebe. Takve izjave još uvek ne mogu biti direktno prevedene u izvorni kod. Tako da prvi korak u procesu razvoja je uspostavljanje operativnih zahteva autonomnih vozila. Za softver, iskonski zahtevi za razmatranje su interfejs podrška i nezavisnost platforme.

Hardverski senzori i aktuatori postoje sa mnogim različitim interfejsima: mrežni, USB, RS-232, RS-422, RS-485, I²C, SPI, CAN, PWM, analogni interfejs... Isti je slučaj i sa hardverom za komunikaciju: mrežni, WiFi, Bluetooth, RS-232... Takođe, i za beleženja podataka: IDE, USB, MMC, SD, CompactFlash... Izbor hardverske i softverske platforme bi morali da podržavaju sve trenutne interfejse, ili eventualno, potrebne interfejse od strane vozila.

Osim toga softverska platforma bi trebala da bude nezavisna od hardverske platforme. To bi trebalo da omogući da se menja hardver kompjutera bez ikakve potrebe da se piše još softverskog koda i menja sam kod.

Arhitektura robotskog softvera

Metodologija struktuiranja algoritama naziva se **arhitekturom softvera**. Savremene arhitekture softvera za robotiku moraju da reše kako da se kombinuje *reaktivno upravljanje* i *promišljeno planiranje* zasnovano na modelu. U više aspekata, reaktivni i promišljeni metodi imaju suprotne kvalitete i mane. Reaktivno upravljanje pokreću senzori, pa su oni podesni za donošenje odluka niskog nivoa u realnom vremenu. Međutim, ono retko proizvodi prihvatljivo rešenje na globalnom nivou, zato što odluke za globalno upravljanje zavise od informacija koje se ne mogu opaziti u vreme donošenja odluke. Za ovakve probleme primereniji izbor je promišljeno planiranje. Zbog ovoga, većina robotskih arhitektura koristi reaktivne metode na nižim nivoima upravljanja, a promišljene metode na višim nivoima. Arhitekture u kojima se kombinuju metode kao što su reaktivne i promišljene nazivaju se **hibridnim arhitekturama** [10].

Arhitektura robotskog softvera se deli na tri vrste arhitektura:

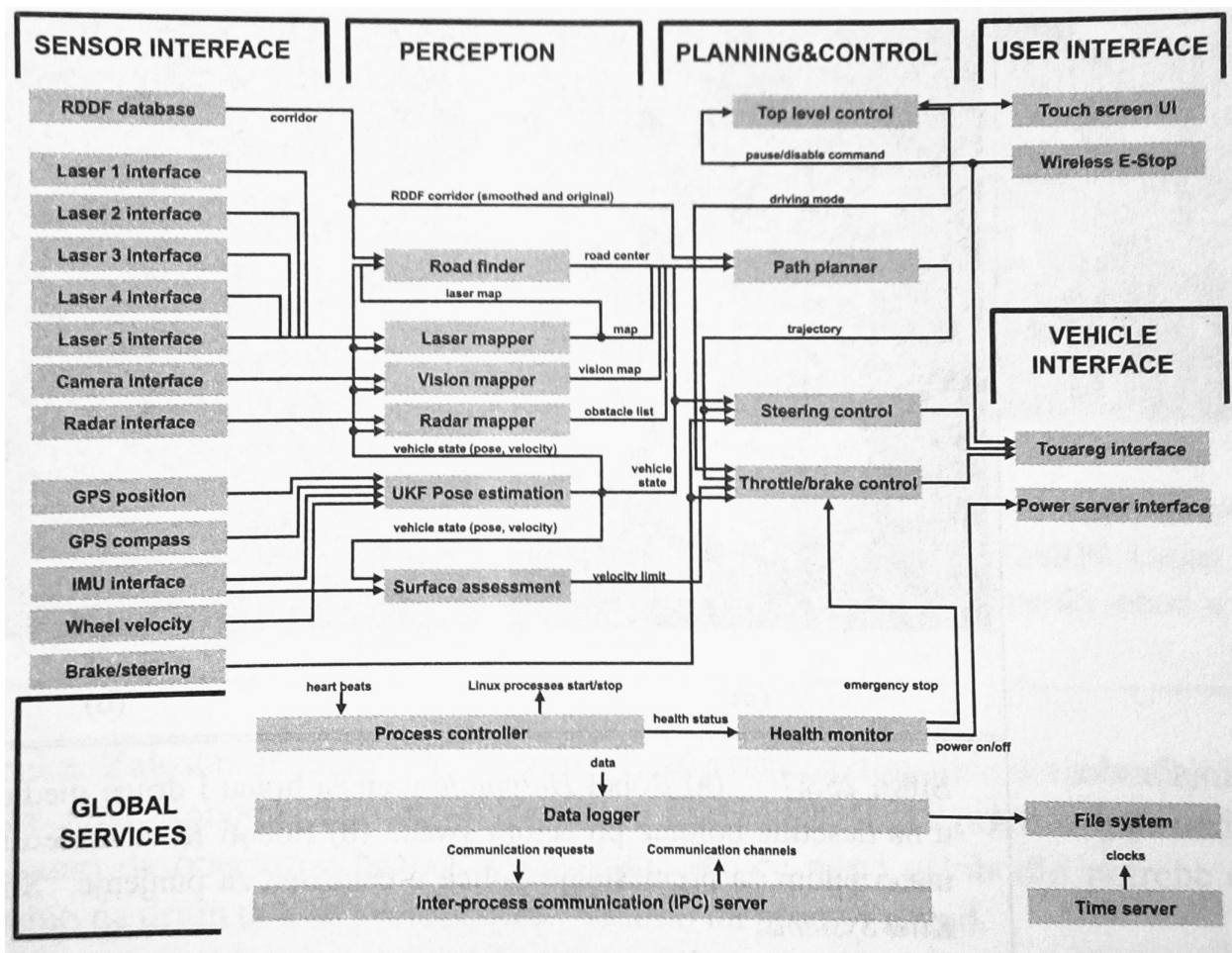
1. **Arhitektura obuhvatanja,**
2. **Troslojna arhitektura,**
3. **Protočna arhitektura.**

S obzirom da je za upravljanjem autonomnim vozilom neophodno da svi moduli funkcionišu i obrađuju podatke istovremeno, koristi se **protočna arhitektura** za osnov softvera za autonomna vozila. Sama ova arhitektura obuhvata i ostale dve arhitekture. Na osnovu toga da se protočna arhitektura izvršava paralelno na više procesa je jednaka arhitekturi obuhvatanja, ali pojedinačni moduli protočne arhitekture su slični troslojnoj arhitekturi, tako da protočnu arhitekturu možemo okarakterisati kao neku vrstu veoma složene hibridne arhitekture.

Protočna arhitektura korišćena u autonomnim vozilima se sastoji iz nekoliko slojeva, prvo podaci ulaze u sam tok izvršavanja na **sloju senzorskog interfejsa**, zatim **opažajni sloj** ažurira unutrašnje modele okruženja robota na osnovu tih podataka. Zatim se ti podaci predaju **sloju palniranja i upravljanja**, koji podešava unutrašnje planove robota i pretvara ih u stvarne komande za robota-autonomno vozilo. One se zatim saopštavaju vozilu kroz **sloj interfejsa vozila**.

Ključno za protočne arhitekture je što se sve ovo događa paralelno. Dok opažajni sloj obrađuje najnovije senzorske podatke, sloj kontrole zasniva svoje odluke na neznatno starijim podacima. U tom pogledu je protočna arhitektura slična ljudskom mozgu. Kao primer možemo uzeti situaciju tokom kretanja, mi ne isključujemo kontrolu kretanja dok razmatramo nove senzorske podatke, nego u isto vreme opažamo, palniramo i delujemo. Proces se u protočnoj arhitekturi izvršavaju asihrono, a sva izračunavanja su upravljana podacima. Rezultujući sistem je robusan i brz.

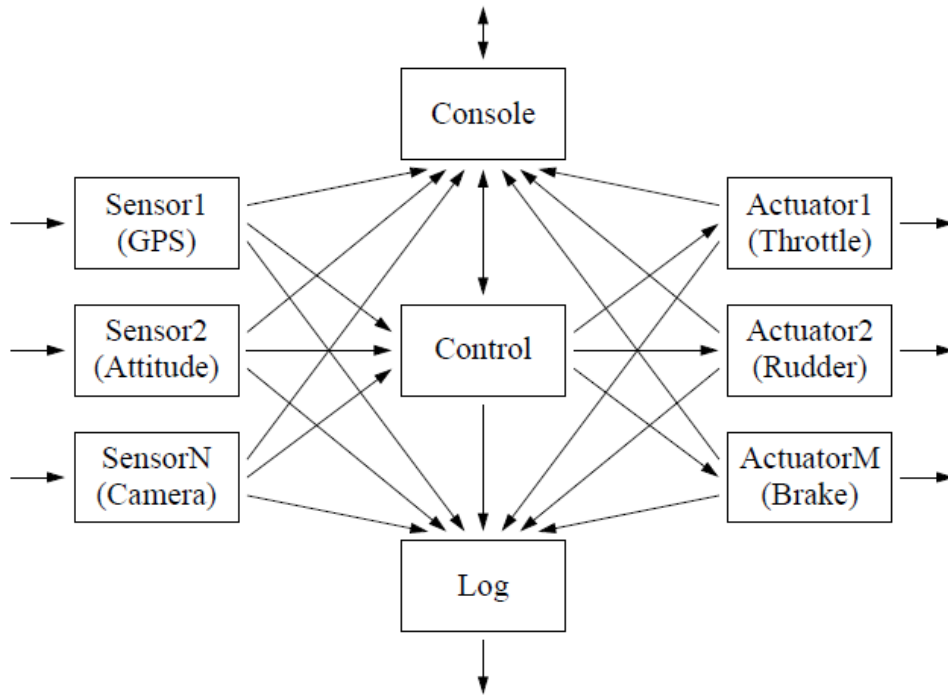
Arhitektura sistema autonomnog vozila je prikazna na slici 20, i predstavlja protočnu arhitekturu koja se koristi za izradu autonomnog vozila, gde softver ostvaruje protok podataka u kojem svi moduli obrađuju podatke istovremeno.



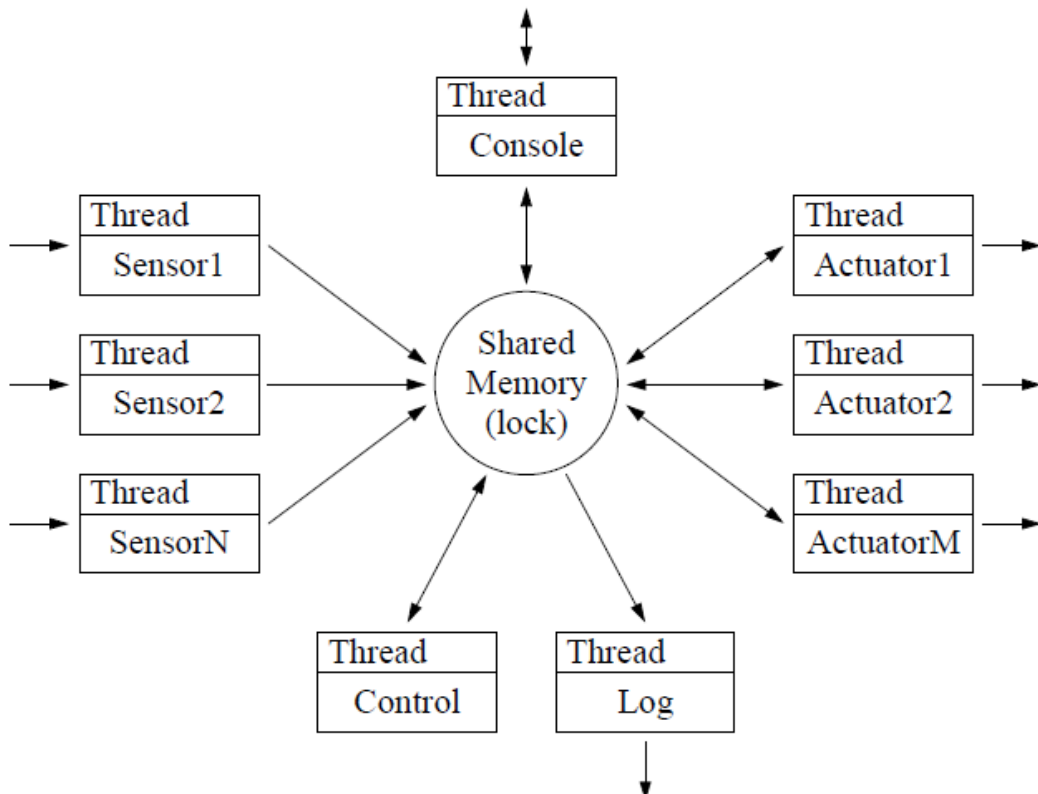
Slika 20: Protočna softverska arhitektura autonomnog vozila [10].

Nakon što je ustanovljena osnova platforme koja je spremna za testiranje i proizvodnju autonomnih vozila, neophodno je i razviti vitalan softver za upravljanje autonomnim vozilom zasnovan na već pomenutoj protočnoj arhitekturi. Predhodna slika 20, predstavlja najosnovniji dijagram softvera autonomnog vozila, malo detaljniji dijagram je predstavljen na slici 21.

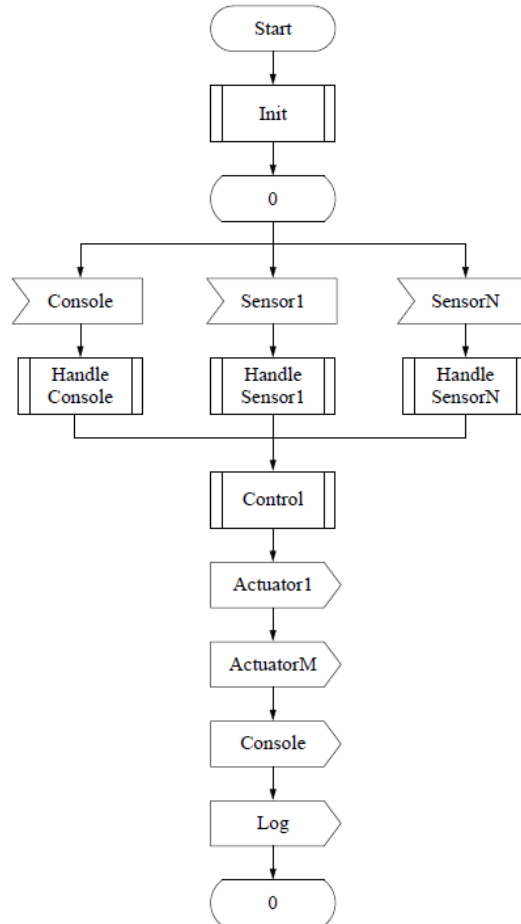
Sledeći korak u tipičnom pristupu bi bilo prevođenje dijagrama sa slike 21, u izvorni kod softvera. Svaki pod-blok će na kraju realizovati kao posebna nit koje bi se povezivale jedna sa drugom kroz zajednički deljeni region memorije zaštićen najjednostavnije sinhronizacijom, dijagram na slici 22, ovo je najrasprostranjeniji pristup nađen u praksi. Na slici 23 je predstavljen i jedan grafički algoritam arhitekture sa delom koda pisanim u C jeziku koji je predstavljen na slici 24.



Slika 21: Blok dijagram softvera na osnovu funkcija



Slika 22: Tipična arhitektura: višestruke niti, deljena memorija i „big lock“



Slika 23: Primer dijagram toka arhitekture

```

int main()
{
    struct pollfd pfd[N];
    init(&pfd);
    for (;;) {
        poll(pfd, N, -1);
        if (pfd[0].revents)
            console();
        if (pfd[1].revents)
            sensor1();
        if (pfd[2].revents)
            sensorN();

        control();
        actuator1();
        actuatorM();
        console();
        log();
    }
}
    
```

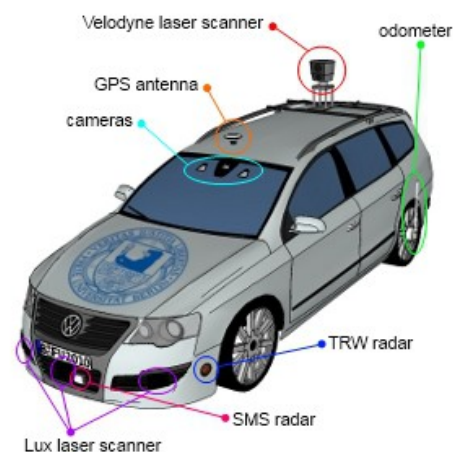
Slika 24: deo koda pisan u programskom jeziku C

Komponente sistema autonomnog vozila

Kao primer celokupnog sistema autonomnog vozila možemo uzeti vozilo *Autonomos Labs* iz Nemačke, koji su predstavili model autonomnog vozila sa svom standardnom opremom, neophodnom za funkcionisanje vozila bez ljudskog upravljanja. Projekat zvan **MadeInGermany**, je modifikovani *Volkswagen Passant Variant B6*, slike 25 i 26, koji poseduje poslednju reč tehnologije *LIDAR/RADAR* sistema, kao i kamere radi boljeg pregleda okoline. Specijalni GPS sistem daje precizne i tačne informacije o poziciji vozila. Inteligencija vozila je zasnovana na softveru, koji je implementiran na kompjuterskom sistemu koji se nalazi u gepeku vozila. Većinu elektromehaničkih izmena i integraciju senzora uradio je *Volkswagen Research Garage*, da bi se *Autonomos Labs* skoncentrisao na softver. **“Operating System for intelligent cars”** je jedna od ključnih tema istraživanja *Artificial Intelligence Group* na *Freie Universitat Berlin*.



Slika 25: VW Passat „MadeInGermany“



Slika 26: Delovi sistema „MadeInGermany“

Innovation Lab AutoNOMOS je osnovana od strane Nemačkog Ministarstva za obrazovanje i razvoj u okviru nemačke *High-Tech* strategije.

Inače ovaj projekat je planiran da u skorije vreme uđe u upotrebu kao vrsta autonomnog taksi vozila u Berlinu.

Komponente:

- *GPS* (eng. *Global Positioning System*) antena, je samo vidljivi deo visoko preciznog sistema pozicioniranja. Najčešće korišćene u navigacionim sistemima omogućava sirovo pozicioniranje na osnovu satelitskih podataka, slika 27.



Slika 27: GPS antena

- *Odometar*, prati rotaciju zadnjeg levog točka, na osnovu čega pređena distance može biti izmerena uz podršku sistema pozicioniranja, slika 28.



Slika 28: Odometar prikačen na točak

- *Velodyne (TM)* laserski skener, se koristi za lokalizaciju i detektovanje prepreka. Ima 360° okružujući pogled i beleži 1.6 milion distancnih poena po sekundi, slika 29.



Slika 29: Laserski skener

- Kamera detekcije linija snima *High Dynamic Range (HDR)* slike. Nalazi se u vetrobranskom staklu vozila u konzoli centralnog retrovizora i usmerena je na put, kako bi auto bio održavan u traci, slika 30.



Slika 30: Kamera za detektovanje linija puta

- *Lux (TM)* sistem laserskog skenera sastoji se od šest pojedinačnih senzora i spojne kutije. Omogućava a 360° okružujući pogled i integriše se lako u automobile, slika 31.



Slika 31: Laserski skener

- *SMS (TM) radar* je radar kratkog dometa koji radi na 24GHz. Ovaj radar za traganje prepreka omogućava fuziju podataka sa laserskim skenerom, slika 32.



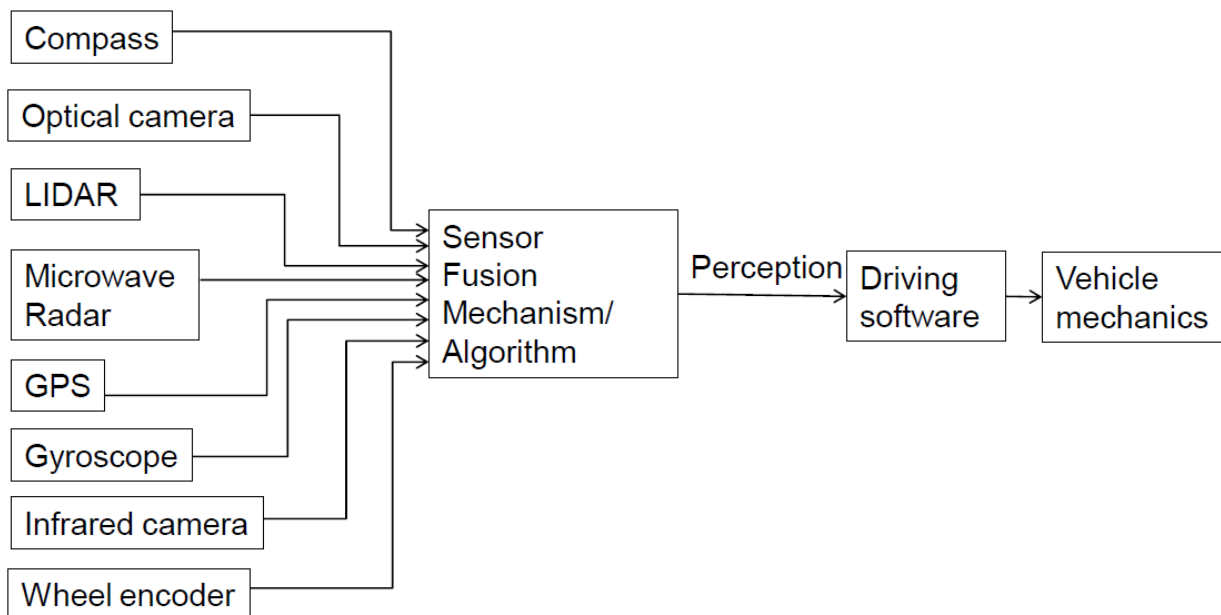
Slika 32: Radar za prepreke

- *TRW (TM) radar*, originalno je prvobitno razvijen za VW Adaptive Cruise Control (ACC). Njegov opseg velike udaljenosti omogućava da se otkriju vozila koja su na razdaljini većoj i od 200 metara, slika 33.



Slika 33: Radar za otkrivanje udaljenih vozila

Sve ove gore navedene senzore možemo grafički predstaviti kao što je to prikazano na slici 34. Njihova fuzija, zatim dolazi do opažanja informacija od strane softvera i na kraju upravljanje mehanikom vozila.



Slika 34: Senzori autonomnog vozila

Projekti

Google vozila

Google driverless car autonomno vozilo, ili kako bi bio bukvalni prevod vozilo bez vozača je *Google*-ov projekat koji podrazumeva razvoj tehnologije za autonomna vozila [21]. Projekat trenutno predvodi *Google*-ov inženjer *Sebastian Thurn*, koji je ujedno i direktor *Stanford Artificial Intelligence Laboratory* i ko-pronalazač *Google Street View*.

Thurn-ov tim na *Stanford*-u je kreirao robotizovano vozilo „*Stanley*“, slika 35, koje je 2005-te godine osvojilo prvu nagradu na *DARPA Grand Challenge* takmičenju i osvojio nagradu od 2 miliona \$ od Ministarstva odbrane Sjedinjenih Američkih Država. Tim koji je radio na projektu je činio 15 visoko kvalifikovanih inženjera koji rade za *Google*. U samom takmičenju *DARPA Grand Challenge*, 2004 i 2005, tražio se da autonomno vozilo orevali preko 100 milja po neuvežbanom pustinjskom terenu za manje od 10 sati. Na prvom takmičenju ni jedan robot nije prešao više od 8 milja, već naredne godine robotizovano vozilo „*Stanley*“ je kao što je pomenuto pobedilo na takmičenju prešavši stazu za manje od 7 sati. Zatim je *DARPA* 2007 godine organizovala i *Urban Challenge*, u kojem su roboti morali da pređu 60 milja u gradskom okruženju. Robot „*Boss*“, slika 36, je zadatak ispunio bez poteškoća i osvojio prvu nagradu u vrednosti od 2 miliona dolara.



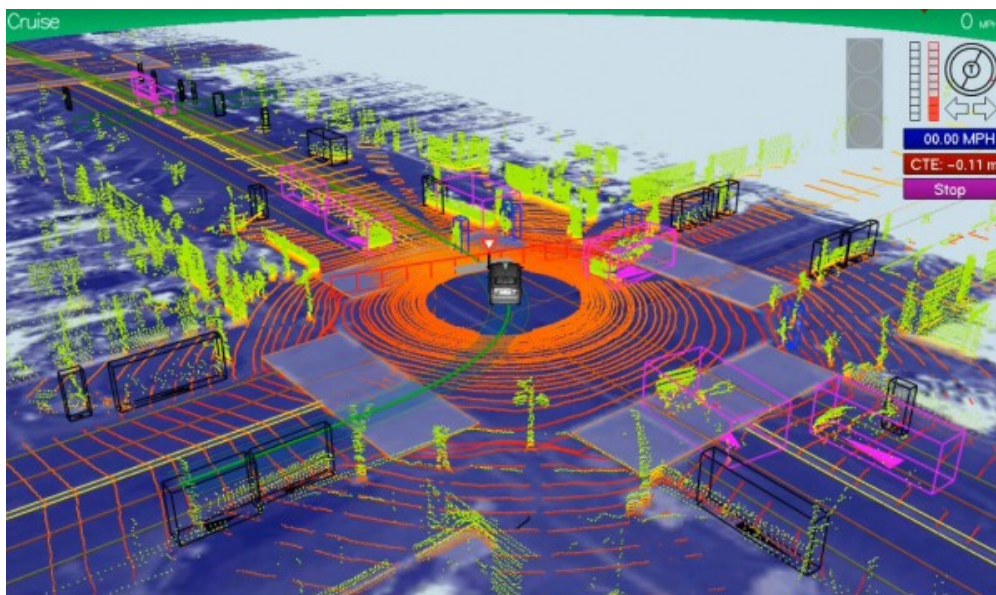
Slika 35: Stanley



Slika 36: Jedno od Google autonomnih vozila



Slika 37: Google vozilo na gradskim ulicama



Slika 38: Pogled Google vozila

Iako kompanija *Google* nema neposredne planove da razvije komercijalne sisteme za autonomna vozila, kompanija se nada razvitku poslovanja koje bi marketinzovalo sistem i podatke gde bi svetski proizvođači automobila sami proizvodili autonomna vozila zasnovana na *Google* sistemima.

BOSS

“*BOSS*”, je projekat profesora robotike *Chris Urmson-a*, sa *Carnegie Mellon University-a*. *BOSS*, slika 39, je visoko sofisticirano autonomno vozilo, koristi kompoziciju od čak 19 senzora, GPS i moćan računar da bi se u potpunosti vozio bez ikakve ljudske intervencije [22].



Slika 39: „BOSS“

BOSS, sam održava detaljnu virtuelnu mapu, konstantno uzimajući i beležeći pozicije sve do svog cilja. Ovo ne predstavlja nikakv problem u poređenju sa vožnjom, koliko god da je prirodno za ljude, toliko je komplikovano za računar upravljanje i okretanje volana. Čak i najosnovniji manevri su iznenadno kompleksni. Najjednostavnije zaustavljanje na raskrsnici zahteva visoko koordinisanu komunikaciju između *BOSS*-ovog internog GPS-a, njegovih senzorskih zraka, detaljne digitalne mape okruženja i računara koji upravlja volanom, papučicom gasa i kočnice. Dodavanjem vozila u saobraćaj kojim upravlja nepredviđena osoba, i situacija postaje eksponencijalno mnogo komplikovanija.

Primer može da nam bude *BOSS*-ovo preticanje tog drugog vozila, Chris sa svojom ekipom je radio naporno i na ovom manevru, što je dokazano da je veoma izazovan poduhvat. Jedna od demonstracija je da *BOSS* odluči gde, kada i kako da pretekne vozilo kojem prilazi. *BOSS* je to učinio uspešno na putu sa dve trake sustižući vozilo koje usporava, sigurno, bezbedno i što brže, jer za razliku od ljudi računar razmišlja tako da to učini što pre je moguće, da ne bi dozvolio da drugo vozilo donese naglu promenu u svojoj putanji i time poremeti i njega samog.

Chris i njegova laboratorija na Univerzitetu rade na algoritmu koji će vožnju sa *BOSS*-om učiniti mnogo konfornijom nego što je sada baš iz razloga “razmišljanja” računara da manevar završi što pre je moguće. Iako još uvek u razvojnoj fazi, *BOSS* je mnogo pouzdaniji nego većina ljudskih vozača.

2007 godine, kao što je već rečeno *BOSS* je pobedion na DARPA Grand Challenge takmičenju i svom *Tartan Racing* timu doneo nagradu od 2 miliona \$. Inače *Chris* je radio i na već pomenutom

projektu robotizovanog vozila „Stanley” sa Sebastian Thurn-om na Stanford Univerzitetu kada su 2005-te osvojili prvu nagradu na DARPA Grand Challenge.

Drugi projekti

Poslednji u nizu projekata dolazi iz kompanije Mercedes-Benz koja je najvećem svetskom sajmu elektronike za široku potrošnju CES 2015 predstavila model F 015 pod sloganom Luksuznost u pokretu, kao inovativnu perspektivu za budućnost mobilnosti i autonomnih vozila, slika 40.



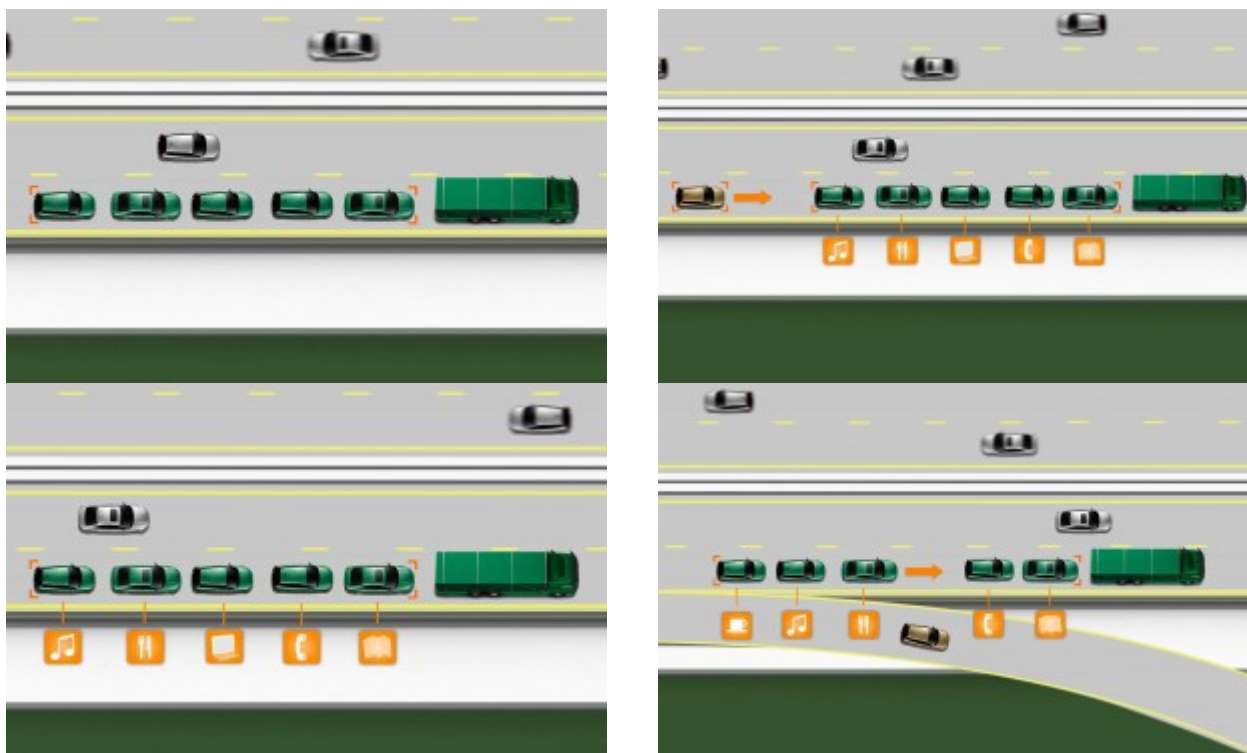
Slika 40: Mercedes-Benz F 015 Luxury in motion

Demonstracija ovog autonomnog vozila je održana u samom gradu Las Vegasu gde se vozilo kretalo kroz regularan saobraćaj i bez ikakvih problema savladalo planiranu trasu kretanja. Naravno sa tehničke strane nije otkriveno mnogo detalja ali jedna od bitnih informacija je da ovo autonomno vozilo poseduje hibridni pogonski agregat i da je u mogućnosti da predje oko 1100km bez ikakve emisije štetnih gasova.

Iz kompanije Volvo su najavili da će 2014.⁴ godine predstaviti novi sistem koji će omogućiti vozilima samostalno upravljanje pri brzinama manjim od 50 km/h. Volvo je u svetu poznat kao proizvođač automobila koji posebnu pažnju poklanja bezbednosti putnika. Poput nekih drugih kompanija, i Volvo je došao do zaključka da je bezbednost u saobraćaju najviše ugrožena zbog ljudskog faktora, pa je krenuo u razvoj sistema autonomnih vozila.

⁴ Podatak iz 2013 godine

Prvi takav sistem predstavljen je u okviru programa SARTRE, odnosno takozvanog "drumskog voza", slika 41. Ovaj drumski voz sastoji se od vodećeg vozila, kojim upravlja profesionalni vozač, a koje sledi nekoliko automobila. Zahvaljujući postojećim Volvo bezbednosnim sistemima, koji funkcionišu pomoću kamera, radara i laserskih senzora, prateći automobili nadgledaju vodeće vozilo, kao i ostala vozila u njihovoj blizini. Uz pomoć bežične komunikacije, vozila u koloni oponašaju kretanje vodećeg vozila, a zahvaljujući autonomnoj kontroli, ubrzavaju, koče i skreću na isti način kao i vodeće vozilo. Iskustva iz ovog projekta upotrebljena su za razvoj novog sistema, eng. *Traffic Jam Assistance*, koji Volvo planira da predstavi 2014. godine. Ovaj sistem je još napredniji. On omogućava svakom pojedinačnom vozilu samostalno upravljanje, kočenje ili ubrzavanje u urbanim uslovima saobraćaja, pri brzinama do 50 km/h.



Slika 41: SARTRE

Traffic Jam Assistance takođe koristi kamere koje prate linije saobraćajnih traka i druga vozila u okolini, kao i senzore koji pomažu da se održi bezbedno rastojanje u odnosu na druge automobile.

Ford nam je pružio uvid u neke od budućih sigurnosnih sistema u vožnji koje razvija ta kompanija. Među njima je i sistem za asistenciju vozaču u saobraćajnoj gužvi (eng. *Traffic Jam Assist*), slika 42.

Sistem podrazumeva upotrebu radara i kamera pomoću kojih se, tokom vožnje u saobraćajnoj gužvi, prati kretanje vozila ispred i pored automobila.

Na osnovu prikupljenih podataka, automobil po potrebi sam koči, ubrzava i koriguje pravac kretanja. U Fordovom odeljenju za razvoj i inovacije smatraju da će njihov sistem olakšati vožnju u saobraćajnoj gužvi i smanjiti stres kod vozača, a ujedno poboljšati i protok saobraćaja.

Prema istraživanjima vozači u SAD provode i do 30 % vremena u vožnji u saobraćajnim gužvama. Traffic Jam Assist omogućio bi vozaču da u tim okolnostima ne mora sve vreme da upravlja automobilom.



Slika 42: Fordov sistem Traffic Jam Assist

S obzirom da Traffic Jam Assist koristi već postojeće tehnologije, kao što su adaptivni tempomat i uređaj koji pomaže vozilu da ostane u traci kojom se kreće, u Fordu očekuju da bi se novi sistem mogao naći u upotrebi u bliskoj budućnosti.

Takođe, i kompanija Audi je predstavila jedno interesantno rešenje na svom projektu autonomnog vozila, u pitanju je bio prototip smartfone aplikacije da pozovu autonomni Audi A7 koji je bio parkiran u prednjoj garaži hotela, da dođe do ulaza hotela, demonstracija je pokazana u Las Vegasu, hotel Mandarin Oriental.

U američkom General Motorsu rade na skupu tehnologija koje će omogućiti automobilima da sami upravljaju i kontrolišu svoje kretanje. Planirano je da se ta ideja realizuje do kraja ove decenije. General Motorsa kažu da će sistemi koje razvijaju poboljšati bezbednost u saobraćaju i eliminisati mogućnost sudara i pre nego što vozač postane svestan opasnosti.

Volvo i Ford nisu jedini koji rade na tehnologiji autonomnih vozila. Pored njih, ovim problemom bave se i drugi proizvođači automobila, poput Mercedesa, BMW-a, Volkswagena i drugi...

Još jedan od značajnijih projekata autonomnih vozila su i projekti Stanford Univerziteta, bili su приметni i postizali značajne rezultate na takmičenjima *DARPA Challenge*, slika 43.



Slika 43: Jedan od Stanford Univerzitetskih projekata, „Junior“

Predlog podsistema autonomnog vozila

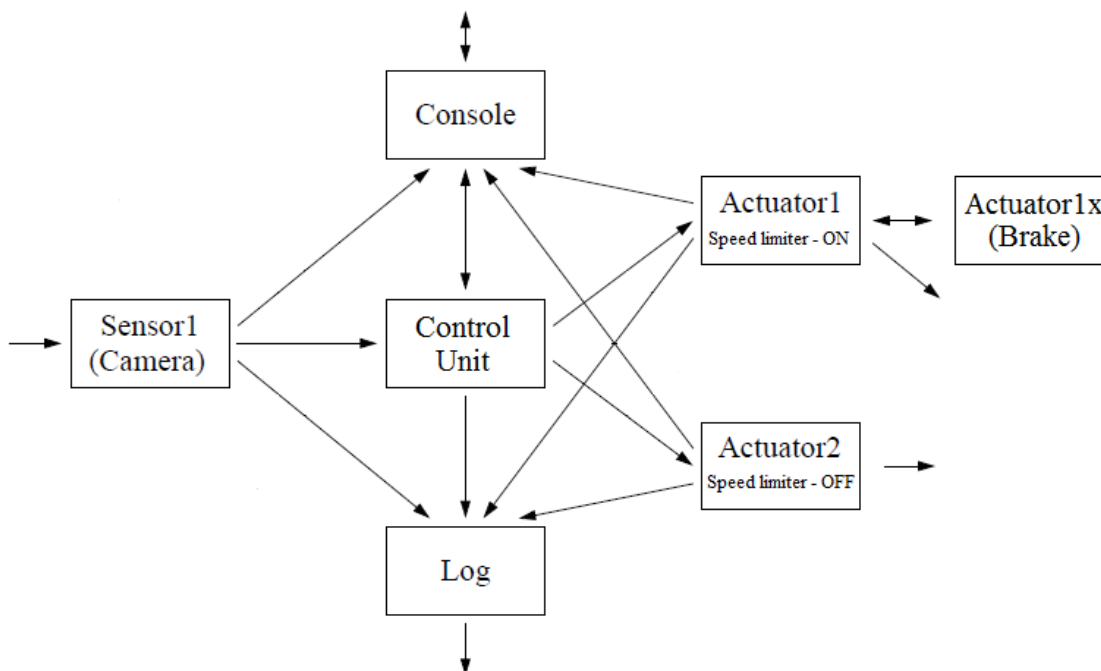
Kao moguće rešenje dela sistema autonomnog vozila, na osnovu svih postojećih tehnologija, od kojih su poneke već i u komercijalnoj upotrebi, može se kreirati sistem za veću bezbednost u saobraćaju koje bi u velikoj meri uticalo na bezbednost pešaka, koji bi mogao biti primenjen odmah i na komercijalna vozila. Naime reč je o tome da se na osnovu postojećih komponenti kreira sistem koji bi na određenim delovima puta imao uticaj, zapravo radilo bi se o sistemu prepoznavanja znakova koji bi uticao na maksimalnu dozvoljenu brzinu kretanja vozila. Primera radi, kao idejno rešenje, ovo bi moglo da se primenjuje u blizini škola i vrtića, sistem bi se mogao zvati: Ograničenje brzine pored škola (eng.: *School Speed Limit*). Tako što bi se na osnovu horizontalne i vertikalne signalizacije, tačnije specijalnih znakova za područje škole, dozvoljene maksimalne brzine i sl. i pomoću tehnologija snimanja i prepoznavanja znakova, uz pomoć računara koji upravlja vozilom, limitirala maksimalna brzina u području školskih i predškolskih ustanova.

S obzirom da tehnologija prepoznavanja znakova već postoji, jedan od takvih sistema koji je već i u upotrebi kod komercijalnih vozila eng: „*Opel Eye*“, bi bio samo modifikovan time što bi slao računaru koji upravlja vozilom kojom maksimalnom brzinom bi vozilo moglo da se kreće. Ova tehnologija ima čak četiri funkcije: već pomenuta *Traffic Sign Assistant (TSA)*, *Lane Departure Warning (LDW)* služi za praćenje horizontalne signalizacije na asfaltu i obaveštavanja vozača i prelasku preko saobraćajnih linija ako se to desilo bez signalizacije od strane vozača, *Following Distance Indication (FDI)* za zadržavanje razdaljine među vozilima i kao poslednja *Forward Collision Alert (FCA)* koja obaveštava vozača o mogućem sudaru sa vozilom ispred na osnovu brzina kretanja vozila ispred i samog vozila u kom je ovaj sistem. Pored ove tehnologije postoje i mnoge druge, kao i kod drugih proizvođača vozila za veću bezbednost u saobraćaju, s obzirom na potrebe ovog idejnog rešenja tehnologija *Opel Eye*, je pomenuta jer bi jedna takva tehnologija imala velikog udela u razvoju, praktično samo u modifikaciji i povezivanju sa sistemom kontrole brzine kretanja vozila zarad kreiranja rešenja – tehnologije pod kodnim nazivom **SSL**.

Takođe, uz upotrebu komunikacionih sistema „*V2V*“ i „*V2I*“, koji je već opisan u jednom od predhodnih poglavlja ovog rada, komunikacija između vozila bi bila takođe moguća da ne bi došlo do iznenadnih situacija prilikom usporavanja vozila ispred iako razdaljinu među vozilima regulišu drugi sistemi, koji su takođe već u upotrebi u saobraćaju. Pomoću ovog sistema, vozilo koje uđe u zonu ograničenja brzine, bi slalo informaciju vozilu iza sebe da nailazi na zonu usporavanja i time bi na vreme računar mogao da odradi potrebne operacije prilagođavanja brzine. Ovakva vrsta komunikacije bi bila neophodna s obzirom da postoje i škole koje se u ruralnim sredinama nalaze na glavnim magistralnim putevima, gde dnevno prolazi veliki broj vozila mnogo većom brzinom nego u gradskim sredinama u blizini škola. Pored svega ovog ključno je pravilno i na odgovarajućim mestima postaviti i samu vertikalnu signalizaciju – znakove, da bi upravljački računar na vozilu mogao na vreme da uspori vozilo i prilagodi brzinu kretanja u tom području, a na samom izlazu iz te zone trebao bi da stoji znak koji bi računaru dostavi informaciju o prekidu ograničenja brzine kretanja.

Slična rešenja ograničavanja brzine već postoje, ali su to uglavnom rešenja sa upozoravanjem na displeju kontrolne table automobila vozača da se nalazi na putu u područjima sa ograničenom brzinom kretanja vozila.

Komunikacija između senzora, upravljačkog računara i samih izvršioca, odnosno pokretača radnje, na osnovu pogleda kroz softver koji bi to izvršavao, bi se odvijala po blokovima kao na slici 44.



Slika 44: dijagram blokova softvera na osnovu sistema za regulisanje brzine kretanja vozila

Sam sistem bi funkcionisao na sledeći način. Kamera koja bi bila i glavna komponenta ovog sistema bi bila postavljena na prednji deo vozila, negde u predelu srednjeg retrovizora, gde se inače već i nalaze slični uređaji, kao što je prikazano na slici 45. Na osnovu mogućnosti prepoznavanja znakova, ona bi davala potrebne informacije softveru, koji bi te informacije obradio i prosledio kontrolnoj jedinici koja bi na osnovu dobijenih podataka odlučila koji od izvršioca bi se aktivirao.



Slika 45: položaj kamere za prepoznavanje znakova

Zaključak

Robotika se bavi inteligentnim agentima koji manipulišu fizičkim svetom, samim tim i autonomna vozila kao deo toga poseduju sve karakteristike robota, kao što su specijalizovani robotski hardver za autonomna vozila i softver koji omogućava da sva tehnološka rešenja funkcionišu u skladu kao celina, iz razloga jer ima direktnog uticaja na čovečanstvo u budućnosti. Ključna softverska arhitektura za autonomna vozila jeste kao što je pomenuto protočna arhitektura koja omogućava i obezbeđuje funkcionisanje vozila kao kada čovek razmišlja o svom kretanju. Arhitektura obrađuje podatke paralelno u jednom nizu modula, koji obrađuju opažanju, modeliranju, planiranju, upravljanju i robotskim interfejsima [23].

Kao zaključak iz svega ovoga proizilazi da će autonomna vozila u narednih desetak godina sigurno postati standard. Prvenstveno iz bezbednosti u saobraćaju jer će razvoj tehnoloških rešenja doprineti da autonomna vozila bez grešaka saobraćaju putevima proračunavajući sve moguće faktore. Takođe i veći broj projekata doneće i smanjenje troškova tehnologije i učiniti koncept vozila bez vozača pristupačnijim. Autonomna vozila još uvek imaju mane, ali se radi na njihovom usavršavanju, tehnologija napreduje, što doprinosi efikasnijem razvitku i napretku. Neophodno je perfektno usavršavanje samog sistema autonomnog vozila, njegovo konstantno testiranje, praćenje i usaglašavanje sa svim pravnim aspektima. Ne samo da je potrebno testiranje u tesnim centrima kompanija koja će proizvoditi ovakve vidove vozila, već i njihovo testiranje u realnom vremenu (saobraćaju) gde postoji i ljudski uticaj. Stručnjaci iz oblasti robotike i prvenstveno oni koji se bave autonomnim vozilima su saglasni da u predhodnih godinu dana autonomna vozila su toliko napredovala da je njihovo pojavljivanje na ulicama bliže 5 do 10 godina ranije, predviđanja su da bi se vozila mogla naći u prodaji i na ulicama već između 2017. i 2020. godine [25]. Ovakve stavove stručnjaka potkrepljuju činjenice samog razvoja i napretka autonomnih vozila gledano od 2000-ih, kada je počela nagla ekspanzija u razvoju ovakvih vidova vozila. Te činjenice leže u samim podacima i rezultatima koji su proistekli iz raznih projekata, takmičenja i dr. Kao primer možemo uzeti poslednjih desetak godina i rezultate prvih DARPA Challenge takmičenja gde su vozila 2004. godine na takmičenju prelazila nekoliko milja od predviđenih 150, pa zatim 2007. godine gde su bez problema izvršavali zadate ciljeve u daljinama trasa koje trebaju da pređu, kao i u savladavanju raznih prepreka. Novija dešavanja su pokazala da autonomna vozila mogu bez problema da savladavaju međugradske saobraćajnice, kao i sam saobraćaj u gradovima, doduše još uvek se pretežno to radi sa vozačima koji se nalazi u autonomnom vozilu, ali bez uticaja u vožnji, što radi kompanija Google. Neke od kompanija kao što su prvenstveno Mercedes, pa i Audi, su se odvažili i otišli korak dalje u primeni autonomnih vozila. Mercedes je svoj projekat luksuznog poslovnog vozila F-015 demonstrirao na ulicama Las Vegasa i San Franciska bez vozača koji je pratio dešavanja tokom saobraćanja ovog koncepta. Audi je sa modelom svog komercijalnog A7 modela, sa dodatnim tehnološkim rešenjima neophodnim da bude autonomno vozilo, demonstrirao učestvovanje u saobraćaju ovog vozila od Silikonske Doline do Las Vegasa bez vozača u vozilu. Sve ove činjenice i postignuti rezultati nam samo ukazuju koliko smo blizu autonomnim vozilima u komercijalnim svrhama. [25] Varijacije autonomnih vozila idu od standardnih vozila sa ugrađenim tehnološkim rešenjima da to vozilo postane autonomno, do koncepta budućnosti i raznih vizija autonomnih vozila kao što je već pomenuti koncept Mercedes F-015. Sva tehnologija koja je od početka razvoja, od samih prvih koraka razvoja autonomnih vozila pokazala prednosti i mogućnost iskorišćenja, već je našla primenu i u standardnim vozilima u raznim oblicima i svrhama upotrebe i iskorišćenja iste [4].

Autonomna vozila će u mnogome pomoći osobama koja iz raznih razloga nisu u mogućnosti da upravljaju vozilima. Smanjiće se saobraćajne gužve, vremena potrebna za dolazak na posao, vozila će samostalno tražiti parking ne oduzimajući vozaču dragoceno vreme, itd.

Sve ove beneficije i u tekstu već pomenute, će samo olakšati život ljudima.

Autonomna vozila načiniće i veliki makroekonomski pomak u svet, unaprediće mnoge industrijske sektore, smanjiće uticaj na životnu sredinu sa ekološkog spekta, koji već mnogi proizvođači pokušavaju da predstave kroz svoja koncept vozila. Takođe, će se povećati svest i potrebe ljudi ka ličnom usavršavanju kako bi tehnologija mogla i dalje da se usavršava i napreduje u svom razvoju i primeni.

Autonomna vozila su više nego obećavajuća [25].

Reference

- [1] <http://www.computerhistory.org/atcm/where-to-a-history-of-autonomous-vehicles/>
- [2] <http://www.driverless-future.com/>
- [3] <http://driverlessworld.com/2011/06/a-brief-history-of-driverless-vehicles/>
- [4] <http://www.wired.com/tag/autonomous-cars/>
- [5] <http://www.autoevolution.com/news/a-short-history-of-mercedes-benz-autonomous-driving-technology-68148.html>
- [6] <http://www.tested.com/tech/concepts/459497-darpas-1980s-vision-skynet-ai/>
- [7] M. Maurer, M. Bahringer, S. Furst, F. Thomanenk, E.D. Dickmanns, „A compact Vision System for Road Vehicle Guidance“, 1996.
- [8] <http://www.argo.ce.unipr.it/ARGO/english/>
- [9] <http://www.omandev.net/2007/07/expert-system-and-knowledge-based-systems/>
- [10] S. Russel, P. Norving, „Veštačka inteligencija: savremeni pristup“, Prevod trećeg izdanja – Druga knjiga, Računarski fakultet Beograd, 2011.
- [11] <http://www.lasertech.com/blogs/Traffic-Safety/post/2013/05/15/Difference-Between-Radar-and-Lidar-Explained.aspx>
- [12] <http://gpsworld.com/tag/autonomous-car/>
- [13] A. El-Rabbany, „Introduction to GPS: the Global Positioning System“ 2nd Ed., Boston, MA, Artech House, 2006.
- [14] <http://videos.howstuffworks.com/discovery/36900-mega-engineering-death-of-the-automobile-video.htm>
- [15] Simon J.D. Prince, „Computer Vision: Models, Learning and Inference“, Cambridge University Press, 2012.
- [16] <http://mubbisherahmed.wordpress.com/tag/vehicular-communication-systems/>
- [17] <http://auto.howstuffworks.com/under-the-hood/trends-innovations/driverless-car.htm>
- [18] https://standards.ieee.org/develop/wg/1609_WG.html
- [19] <http://www.digitaltrends.com/cars/denso-v2v-connected-car-technology/>
- [20] <http://www.lidar-uk.com>
- [21] <http://www.pcmag.com/article2/0,2817,2484519,00.asp>
- [22] <http://videos.howstuffworks.com/discovery/36901-mega-engineering-self-driving-car-video.htm>
- [23] M. Kajtez „Autonomna vozila: početak i primena robotizovanih vozila u saobraćaju“, eRAF – elektronski dokument, Računarski fakultet Beograd, 2014.
- [24] Robin R. Murphy, „Introduction to AI Robotics“, A Bradford Book The MIT Press Cambridge, Massachusetts London, England, 2000.
- [25] <http://www.extremetech.com/extreme/197262-its-2015-self-driving-cars-are-more-than-a-promise>