

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

Stručni studij

**SMART SENZORI ZA PRIMJENU U IIoT/INDUSTRIJI
4.0./DIGITALIZACIJI**

Završni rad

Dario Antunović

Osijek, 2018.

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**Obrazac Z1S: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za obranu završnog rada na preddiplomskom stručnom studiju**

Osijek, 24.09.2018.

Odboru za završne i diplomske ispite

**Imenovanje Povjerenstva za obranu završnog rada
na preddiplomskom stručnom studiju**

Ime i prezime studenta:	Dario Antunović
Studij, smjer:	Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika, smjer Automatika
Mat. br. studenta, godina upisa:	A4285, 22.09.2017.
OIB studenta:	47067690669
Mentor:	Mr.sc. Dražen Dorić
Sumentor:	
Sumentor iz tvrtke:	
Predsjednik Povjerenstva:	Dr.sc. Venco Ćorluka
Član Povjerenstva:	Dr. sc. Željko Špoljarić
Naslov završnog rada:	Smart senzori za primjenu u IIoT/Industriji 4.0/Digitalizaciji
Znanstvena grana rada:	Elektronika (zn. polje elektrotehnika)
Zadatak završnog rada	Digitalna transformacija u industriji, infrastrukturi i gradovima je u zamahu. Bez obzira da li, ovisno o kojem dijelu svijeta se radi, taj proces nazivali Industrial Internet of Things (IIoT), Industrija 4.0 ili Digitalizacija, kompanije su pod snažnim pritiskom potpune promjene svojih poslovnih modela korišćenjem raspoloživih novih tehnologija. Ta promjena je široko rasprostranjena i dalekosežna. Sve se odvija pod utjecajem informacijske tehnologije (IT), operativne tehnologije (OT), inženjerske tehnologije (ET), opskrbnog lanca, upravljanja imovinom, usluga i sustava za interakciju s korisnicima/klijentima. Za tvrtke s pravim načinom razmišljanja, platforme i tehnologije vezane za "Internet of Things" otvaraju velike mogućnosti za
Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (završnog rada):	Vrlo dobar (4)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 2 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda Razina samostalnosti: 2 razina
Datum prijedloga ocjene mentora:	24.09.2018.
Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:	Potpis:
	Datum:



FERIT

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA

Osijek, 02.10.2018.

Ime i prezime studenta:

Dario Antunović

Studij:

Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika, smjer Automatika

Mat. br. studenta, godina upisa:

A4285, 22.09.2017.

Ephorus podudaranje [%]:

5

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Smart senzori za primjenu u IIoT/Industriji 4.0/Digitalizaciji**

izrađen pod vodstvom mentora Mr.sc. Dražen Dorić

i sumentora

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija. Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

Sadržaj:

1.	UVOD.....	1
1.1.	Zadatak završnog rada.....	1
2.	SENZORI.....	2
2.1.	Dijelovi senzora	6
2.2.	Vrste senzora.....	9
3.	SMART SENZORI.....	12
3.1.	Dijelovi smart senzora	13
3.1.1	Mikro-elektromehanički sustavi (MEMS)	18
3.2.	Sistem na čipu (SoC)	19
3.3.	Bežična senzorska mreža	21
4.	INTERNET STVARI (IIOT/IOT/INTERNET OF THINGS).....	24
4.1.	Industrijski IoT.....	26
4.2.	Arhitektura IoT-a	29
4.3.	Sigurnost IoT-a	30
4.4.	IoT komunikacija.....	30
4.5.	Komunikacijski protokoli.....	32
5.	PRIMJENA SMART SENZORA.....	33
5.1.	Pametni grad.....	34
5.1.1.	Pametni parking.....	36
5.2.	Smart senzori u mobilnim uređajima	38
5.3.	Smart senzori u zrakoplovima	40
6.	ZAKLJUČAK.....	42
	LITERATURA.....	43
	SAŽETAK	45

ABSTRACT.....	45
ŽIVOTOPIS	46

1. UVOD

Smart senzori predstavljaju senzore s integriranom elektronikom, spoj senzora s mikrokontrolerom, koji mogu obavljati jednu ili više logičkih funkcija, dvosmjernu komunikaciju te pohraniti podatke za buduću analizu. Pojam „smart“ znači da senzori postaju napredniji, imaju nove primjene, nove funkcije koje mogu obavljati i komunikaciju s ostalim uređajima. Smart senzori su sastavni dijelovi integriranih sustava, najviše zbog MEMS (mikro elektro-mehanički sustavi) tehnologije izrade, koji obavljaju funkcije koje se ranije nisu mogle izvesti ili koje nisu bile ekonomski održive. Široka primjena senzora rezultat je smanjenja dimenzija i cijena. Smart senzori imaju ugrađene komunikacijske module s pomoću kojih mogu razmjenjivati informacije i komunicirati s ostalim objektima i ugrađene komponente za obradu signala, što predstavlja cilj Interneta Stvari (IoT-a). Internet Stvari/Digitalizacija/Industrijski IoT predstavljaju mrežu uređaja koji su povezani i komuniciraju. U drugom poglavlju su objašnjene osnovne funkcionalnosti, dijelovi, vrste senzora i primjeri senzora. U trećem poglavlju su detaljno objašnjeni smart senzori, njihov princip rada, dijelovi od kojih se sastoje, mikrokontroleri, sistem-na-čipu (SoC) i bežična senzorska mreža (WSN – Wireless Sensor Networks). U četvrtom poglavlju objašnjen je koncept Interneta Stvari (IoT-a), Industrijskog Interneta stvari (IIoT), važnost smart senzora za IoT, arhitektura IoT-a. Praktični primjeri upotrebe smart senzora i bežične komunikacije su navedeni u petom poglavlju.

1.1. Zadatak završnog rada

U okviru završnog rada zadatak je objasniti princip rada smart senzora, njihovu važnost u svim aspektima života, trend senzorskih tehnologija, objasniti na konkretnom primjeru korištenje smart senzora, objasniti koncept IoT-a i senzorskih mreža koje služe za komunikaciju senzora.

2. SENZORI

Senzori su uređaji koji pretvaraju ulazni signal u električni analogni ili digitalni izlaz koji je čitljiv. (Sl. 2.1.) Senzor pretvara fizički parametar (na primjer: temperatura, brzina, vlažnost itd.) u signal koji se može izmjeriti električno. Senzori rade tako što primanjem signala s uređaja kao što je pretvarač (engl. *transducer*) reagiraju na taj signal tako da ga pretvore u izlaz koji se lako može čitati i razumjeti. Drugim riječima, pretvarač pretvara jedan oblik energije u drugi, dok senzor koji se sastoji od pretvarača, pretvara izlaz pretvarača u čitljiv format.



Slika 2.1. Blok dijagram senzora. [15]

Senzori se koriste u svim aspektima života za otkrivanje ili mjerenje različitih uvjeta. Ugrađeni su u automobile, avione, mobitele, postrojenja i u većinu uređaja. Cilj je senzore učiniti što manjima i jeftinijima. Široka primjena senzora vezana je uz cijenu, dimenzije i selektivnost. S vremenom osjetljivost senzora postala je veća, dimenzije senzora su postale manje, selektivnost je postala bolja, a cijene se sve više smanjuju. (Sl. 2.2.).

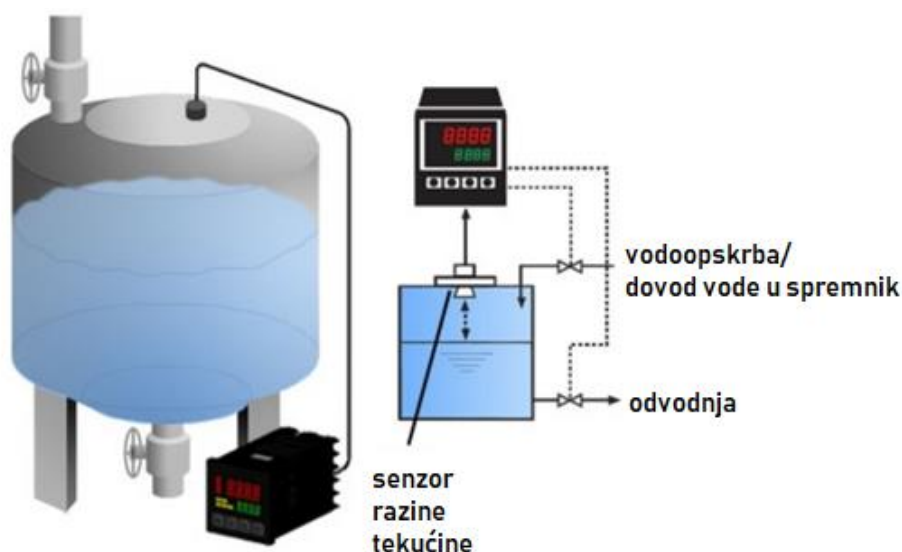


Slika 2.2. Senzori. [16]

Senzor je uređaj koji prima podražaj (engl. *stimulus*) i odgovara električnim signalom. Podražaj je količina, svojstvo ili stanje koje se prima i pretvara u električni signal. Primjeri podražaja su zvuk, sila, ubrzanje, udaljenost, temperatura itd. Kada se kaže „električni“ označava se signal koji se može

kanalizirati, pojačati i modificirati elektroničkim uređajima. Može se reći da je senzor prevoditelj opće neelektrične vrijednosti u električnu vrijednost.

Primjer korištenja senzora prikazan je na slici 2.3. [9]. Sustav se sastoji od spremnika vode u kojem se nalazi ultrazvučni senzor koji se koristi za mjerenje razine vode u spremniku i pumpe koja služi za dovod i odvod vode. Bez kontrole je vjerojatno da će spremnik poplaviti, ili se isušiti. Da bi djelovalo na odgovarajući način, operator mora pravodobno dobiti informacije o razini tekućine u spremniku. U ovom primjeru podaci su generirani od strane senzora. Ako su cijevi spremnika za odvod i dovod ispravno dizajnirani, vrlo brzo će održavati razlike u razini, a općenito senzor ima brzu reakciju. Ako je unutarnji promjer cijevi premalen za određenu viskoznost tekućine, razina u cijevi može zaostajati za razinom u spremniku. U nekim slučajevima, kašnjenje može biti prilično prihvatljivo, dok je u drugim situacijama potrebna bolja izvedba senzora.

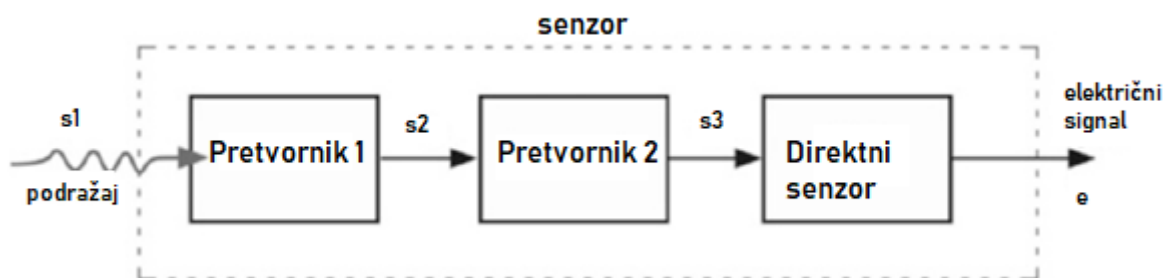


Slika 2.3. Sustav kontrole razine tekućine u spremniku [14].

Izraz senzor i detektor su slični ali se trebaju razlikovati zbog toga što detektor samo signalizira prisutnost, dok senzor signalizira prisutnost i intenzitet podražaja. Na primjer, PIR (pasivni infracrveni) detektor koji označava samo postojanje ljudskog kretanja, ali ne može mjeriti smjer, brzinu ili ubrzanje.

Aktuatori su suprotno senzoru – pretvaraju električni signal u općenito neelektričnu energiju. Na primjer, električni motor je aktuator – pretvara električnu energiju u mehaničku.

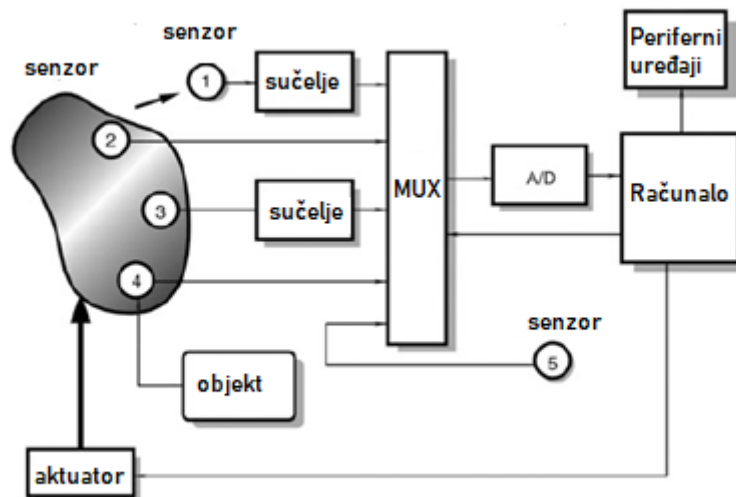
Izraz senzora treba razlikovati od pretvarača. Potonji je pretvornik bilo koje vrste energije ili svojstva u drugu vrstu energije ili svojstvo, dok sensor pretvara energiju u električni signal. Primjer pretvarača je mikrofoni i zvučnik. Pretvarač pretvara zvučne valove iz mikrofona u signal kako bi se signal pojačao, a zatim zvučnik pretvara te signale u zvučne valove. Pretvarači mogu biti dijelovi hibridnog ili složenog senzora. (slika 2.4.).



Slika 2.4. Senzor s ugrađenih nekoliko pretvornika (transducera). [1]

To znači da mnogi senzori imaju barem jedan izravni senzor i nekoliko pretvarača. Vrijednost s_1 , s_2 i s_3 predstavljaju različite vrste energije. Izravni senzor proizvodi električni izlaz e . Postoje dvije vrste senzora, direktni i hibridni. Direktni senzor pretvara podražaj u električni signal ili mijenja vanjski isporučeni električni signal, dok hibridni senzor treba jedan ili više pretvornika prije nego što se izravni senzor može koristiti za generiranje električnog izlaza. Budući da većina podražaja nisu električni, od njegovog ulaza do izlaza, senzor mora izvesti nekoliko koraka pretvorbe signala prije nego što proizvede izlaz kao električni signal.

Senzor ne funkcionira sam po sebi. On je uvijek dio većeg sustava koji može uključivati mnoge druge detektore, uređaj za signalizaciju, procesore, memorijske uređaje, registratore podataka i aktuatora. Mjesto senzora u uređaju može biti unutar ili izvan uređaja. Može se postaviti pri ulazu uređaja da percipira vanjske efekte i informira sustav o promjenama u vanjskim podražajima. Isto tako, može biti i unutarnji dio uređaja koji nadzire vlastitu situaciju uređaja da uzrokuje odgovarajuću izvedbu. Senzor je uvijek dio nekog sustava za prikupljanje podataka. S druge strane, takav sustav može biti dio većeg kontrolnog sustava koji uključuje različite mehanizme povratne sprege (reakcije). Slika 2.5. prikazuje blok dijagram uređaja za prikupljanje podataka i kontrolu. Objekt može biti bilo što: automobil, svemirski brod, kamion, postrojenje itd.



Slika 2.5. Smještaj senzora u sustavu za prikupljanje podataka. [1]

Podaci se prikupljaju iz objekta pomoću brojnih senzora. Neki od njih (2, 3 i 4) nalaze se izravno na objektu ili unutar njega. Senzor 1 percipira objekt bez fizičkog kontakta i stoga se naziva beskontaktni. Senzor 5 nadzire unutarnje uvjete samog sustava prikupljanja podataka. Neki senzori (1 i 3) ne mogu se izravno spojiti na standardne elektroničke sklopove zbog neodgovarajućih formata izlaznog signala. Oni zahtijevaju upotrebu sučelja za izradu određenog izlaznog formata. Senzori 1, 2, 3 i 5 su pasivni. Oni proizvode električne signale bez potrošnje energije iz elektroničkih sklopova. Senzor 4 je aktivan. Zahtijeva radni signal koji osigurava uzбудni krug. Ovisno o složenosti sustava, ukupan broj senzora može varirati od jednog (npr. kućni termosta) do više tisuća (npr. svemirska postaja, automobil itd.)

Primjer složene kombinacije različitih senzora, aktuatora i signala prikazan je na slici 2.6. Sustav je usmjeren na povećanje sigurnosti automobila. On uključuje mikro-valne, ultrasonične, infracrvene (IR) senzore za mjerenje, radarske senzore i mnoge druge.



Slika 2.6. Primjer korištenja više različitih vrsta senzora, aktuatora i signalizacije u automobilu. [17]

2.1. Dijelovi senzora

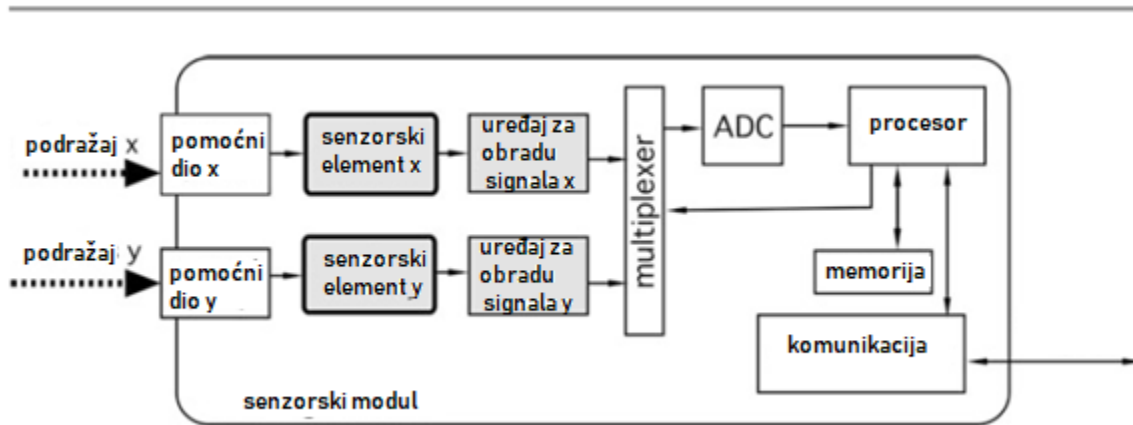
Projektanti sustava rijetko mogu povezati senzor izravno s instrumentima za obradu, praćenje ili snimanje, osim ako senzor nema ugrađeni elektronički sklop s odgovarajućim izlaznim formatom.

Dijelovi senzora obuhvaćaju:

- Sensorski element
- Komponenta za obradu signala (engl. *Signal conditioner*)
- Analogno-digitalni pretvarač (ADC)

Kada senzor generira električni signal, taj signal često je preslab, previše bučan, sadrži nepoželjne komponente ili nije kompatibilan s ulaznim parametrima sustava za prikupljanje podataka, tj. može imati pogrešan izlazni format. Signali iz senzora većinom moraju biti modificirani prije nego što se prenesu na uređaj za obradu. Poželjno je da se izlazni signal preprocesira i prikazuje na izlazu u obliku spremnog za uporabu. Dakle, velika većina senzora koji proizvode analogne signale zahtijevaju

dodatna sučelja. Zbog toga se integriraju senzorske komponente s uređajima za pretvaranje i komunikaciju. Takva kombinacija naziva se senzorski modul. Slika 2.7. prikazuje integrirani senzorski modul koji ima dva senzorska elementa koji selektivno reagiraju na dva ulazna podražaja.






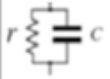



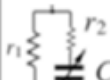
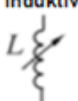
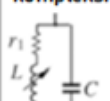
Slika 2.7. Blok dijagram senzorskog modula. [1]

Budući da tipični senzorski element proizvodi niske razine analognih signala, njegovi izlazni signali često trebaju pojačanje, filtriranje, usklađivanje impedancije prije nego što se digitalizira. Sve ove funkcije obavljaju uređaji za obradu ulaznog signala (engl. *signal conditioner*).

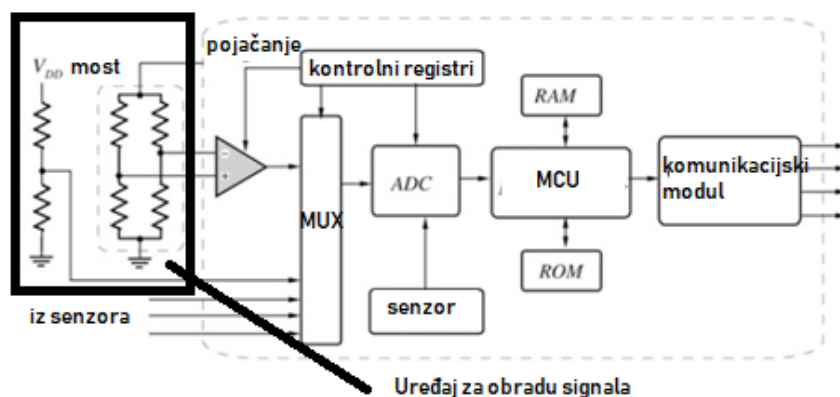
Budući da modul može sadržavati više od jednog kanala, izlaze svih uređaja za manipulaciju signala treba pretvoriti u uobičajeni digitalni format. Jedna je mogućnost imati jedan analogno-digitalni pretvarač (ADC) po kanalu, ali u većini slučajeva je prikladnije i ekonomičnije imati jedan visokokvalitetni ADC zajednički za sve kanale. Dakle, izlazi svih uređaja za obradu signala moraju biti spojeni jedan po jedan u zajednički ADC. Ova se funkcija izvodi pomoću multipleksera (MUX).

Uređaj za obradu signala ima posebnu svrhu – prenijeti i obraditi signal od senzorskog elementa do analogno-digitalnog pretvarača (ADC). Ulazne karakteristike uređaja za obradu signala moraju biti kompatibilne s izlaznim karakteristikama senzorskog elementa, a izlaz treba generirati napon radi lakše razmjene s ADC ili drugom komponentom. Ulazni dio uređaja za obradu signala ovisi o izlaznim karakteristikama senzorskog modula. Odabir odgovarajućeg ulaza bitno je za optimalno prikupljanje podataka. Tablica 2.1. prikazuje koji uređaj za obradu signala se treba koristiti ovisno o izlazu senzorskog elementa.

Tablica 2.1. Tip senzora i odgovarajući uređaj za obradu signala.

Tip senzora	Impedancija senzora	ulaz uređaja za obradu signala
naponski izlaz 	nisko otpornički 	visoko ulazni otpornički pojačivač (voltmetar)
strujni izlaz 	kompleksni 	Visoko ulazni pojačivač (ampermetar)
otpornički 	otpornički 	Otporničko-naponski pretvarač (Ohm metar)
kapacitivni 	kompleksni 	kapacitivno-naponski pretvarač
induktivni 	kompleksni 	indukcijski pretvarač

Analogno-digitalni pretvarač (ADC) – služi za pretvorbu analognog signala u digitalni format. Uključuje kvantizaciju ulaznog signala, pa uvodi malu količinu pogreške. ADC periodično uzorkuje analogni signal i u određenim trenucima radi pretvorbe i rezultat je niz digitalnih vrijednosti koje su pretvorene iz neprekinutog vremena i kontinuirano varijabilnog analognog signala u diskretni vremenski i digitalni signal.



Slika 2.8. Integrirani uređaj za obradu signala. [1]

Zbog raznih nedostataka često se ne može postići visoka točnost, osim ako je cijeli sustav od ulaza do procesora individualno kalibriran. Postupak kalibracije zahtijeva određivanje određenih jedinstvenih parametara koji su pohranjeni u memoriji senzorskih modula. Obradene informacije se pretvaraju u format koji je čitljiv vanjskom perifernom uređaju.

Za izvor napajanja senzora se koriste baterije ili energija iz obnovljivih izvora. Sve baterije se mogu podijeliti u dvije grupe: primarne – za jednokratnu upotrebu i sekundarne – punjive baterije. Prikupljanje energije predstavlja primanje jedne vrste energije i pretvaranje u električnu energiju. Primjeri potencijalnih izvora energije su: termalna, mehanička, svjetlosna, akustična, elektromagnetska, magnetska.

2.2. Vrste senzora

Sustavi klasifikacije senzora kreću se od vrlo jednostavnih do kompleksnih. Ovisno o svrsi klasifikacije, mogu se odabrati različiti kriteriji razvrstavanja. Nekoliko je praktičnih načina da se klasificiraju senzori:

1. Svi senzori se mogu podijeliti na dvije vrste: pasivni i aktivni. Pasivni senzor ne treba nikakav dodatni izvor energije. Stvara električni signal kao odgovor na vanjski podražaj. To znači da senzor pretvara energiju podražaja ulaza u izlazni signal. Aktivni senzori zahtijevaju vanjsku snagu za njihovo djelovanje, što se zove uzbudni signal. Taj signal je modificiran od strane senzora za stvaranje izlaznog signala.
2. Ovisno o odabranoj referenci, senzori se mogu razvrstati kao apsolutni i relativni. Apsolutni senzor detektira podražaj u odnosu na apsolutnu fizičku ljestvicu koja je neovisna o uvjetima mjerenja, dok relativni senzor proizvodi signal koji se odnosi na neki poseban slučaj.
3. Novi način gledanja senzora je razmatranjem svojstava senzora koja mogu biti od posebnog interesa. Ispod u tablicama se nalaze popisi raznih karakteristika i svojstava senzora (tablice 2.2., 2.3., 2.4., 2.5. i 2.6.).

Tablica 2.2. Klasifikacija senzora po njihovim specifikacijama.

Osjetljivost	Raspon podražaja
Stabilnost	Rezolucija
Točnost	Selektivnost
Brzina odgovora	Okolišni uvjeti
Karakteristike prepoterećenja	Linearnost
Histereza	Neutralna zona
Radni vijek trajanja	Izlazni format
Cijena, veličina, težina	Ostalo

Tablica 2.3. Klasifikacija senzora po materijalima od kojih su izrađeni.

Anorganski	Organski
Vodič	Izolator
Poluvodič	Tekući plin
Biološka supstanca	Ostalo

Tablica 2.4. Klasifikacija senzora po načinu pretvorbe.

Fizički	Termoelektrični	Kemijski	Kemijska transformacija
	Fotoelektrični		Fizička transformacija
	Fotomagnetski		Elektrokemijski proces
	Magnetoelektrični		Spektroskopija
	Elektromagnetski		Ostalo
	Termoelastični	Biološki	Biokemijska transformacija
	Termomagnetski		Fizička transformacija
	Termooptički		Učinak na test organizma
	Fotoelastični		Spektroskopija
	Ostalo		Ostalo

Tablica 2.5. Klasifikacija senzora s obzirom na njihovu primjenu.

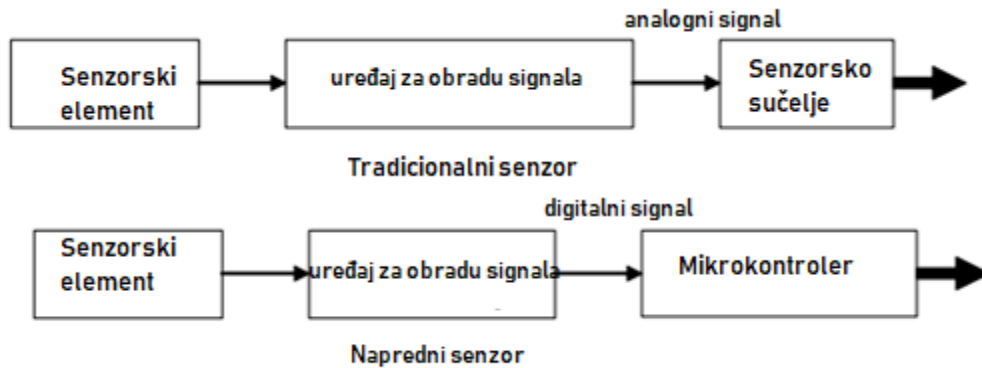
Agrikultura	Automobilska industrija
Građevinarstvo	Domaćinstvo, uređaji
Distribucija, trgovina, financije	Okoliš, sigurnost, meteorologija
Energija, snaga	Informacije, telekomunikacije
Zdravlje, medicina	More, luke
Proizvodnja	Rekreacija, igračke
Vojska	Svemir
Znanstvena mjerenja	Ostalo
Transport	

Tablica 2.6. Klasifikacija senzora po vrsti podražaja (stimulus).

Podražaj (stimulus)	Podražaj (stimulus)	
<i>Akustički</i>	<i>Mehanički</i>	Pozicija (linearna, kutna)
Amplituda, faza		Ubrzanje
Polarizacija spektra		Sila
Brzina valova		Pritisak
Ostalo		Naprezanje
<i>Biološki</i>		Masa, gustoća
Biomasa		Moment, zakretni moment
Ostalo		Brzina protoka, brzina prijenosa mase
<i>Kemijski</i>		Oblik, hrapavost
Komponente (identitet, stanje, koncentracija)		Orijentacija
Ostalo	Krutost, usklađenost	
<i>Električni</i>	Radijacijski	Viskoznost
Naboj, struja		Kristalnost, struktura
Potencijal, napon		Integritet
Električno polje (amplituda, faza, polaritet, spektar)		Ostalo
Provodnost		Tip
Dielektrična konstanta		Energija
Ostalo		Intenzitet
<i>Magnetski</i>		Ostalo
Magnetsko polje (amplituda, faza, polaritet, spektar)		Temperatura
Magnetski tok		Protok
Propusnost	Specifična toplina	
Ostalo	Toplinska vodljivost	
<i>Optički</i>	Termički	Ostalo
Amplituda vala, faza, polaritet, spektar		
Brzina valova		
Indeks loma		
Reflektivnost, apsorpcija		
Ostalo		

3. SMART SENZORI

Napredni „smart“ senzori su senzori kojima se dodaje komunikacijsko sučelje, jedinica za obradu podataka i koji se povezuje s mikrokontrolerom kako bi mogao obavljati dodatne funkcije. Smart senzor je uređaj koji koristi ulaz iz fizičkog okruženja i pretvara ga u električni signal kombiniran je s jedinicom za obradu podataka i komunikacijskim sučeljem. Sastoji se od pretvorničkog elementa, komponente za obradu signala i kontrolera/procesora koji može obavljati dodatne funkcije. Glavni cilj integriranja senzora i elektronike je napraviti „inteligentne“ senzore koji imaju mogućnost donošenja nekih odluka. Smart senzori predstavljaju senzore koji u sebi imaju ugrađene komunikacijske jedinice i jedinice za obradu signala, ili ukratko smart senzori predstavljaju senzore koji su spojeni s mikrokontrolerom. Razlika između tradicionalnog i smart senzora je prikazana na slici 3.1.

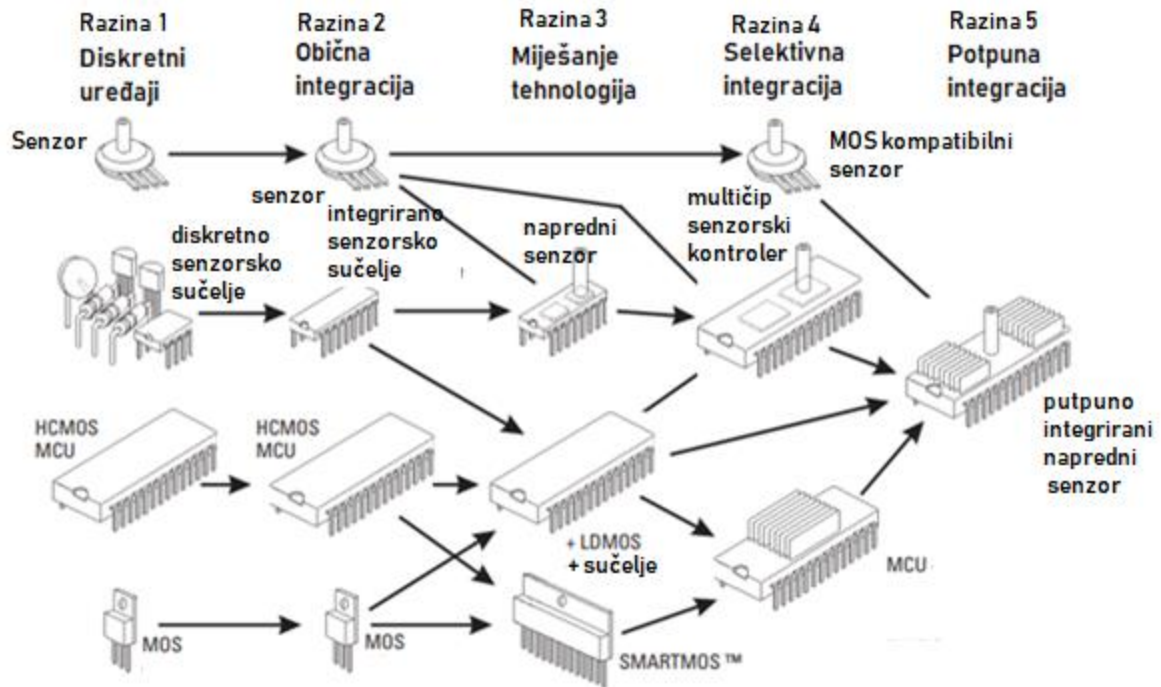


Slika 3.1. Arhitektura tradicionalnog i smart senzora. [4]

Smart senzori su senzori koji mogu izvršiti jednu ili više slijedećih funkcija:

1. Pretvorba podataka
2. Dvosmjerna komunikacija
3. Obavljanje logičkih operacija

Signal iz senzora se dovodi u mikroprocesor koji obrađuje podatke i daje informativni izlaz vanjskom korisniku. Pojava mikroprocesorske tehnologije pokrenula je zahtjev da senzori imaju električni izlaz koji bi se mogao lakše povezati kako bi se osigurala lakša čitljivost bez nadzora, mjerenja i kontrole. Također, analogna razina signala se mora pojačati i pretvoriti u digitalni format prije nego se podaci isporuče procesnom kontroleru. Prema slici 3.2. možemo vidjeti razvoj od tradicionalnih do smart senzora.



Slika 3.2. Razvoj senzora. [4]

3.1. Dijelovi smart senzora

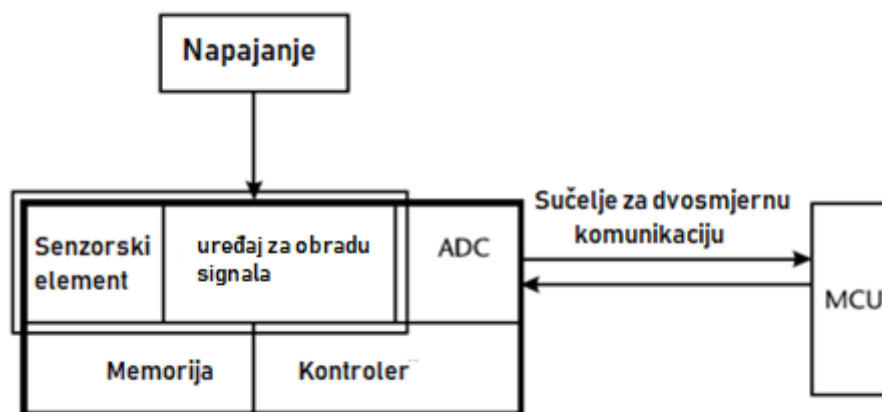
Smart senzori su senzori koji su integrirani s mikrokontrolerom. Osnovne komponente smart senzora prikazane su na slici 3.3.

Dijelovi smart senzora:

- Senzorski element
- Memorija
- Uređaj za obradu signala
- ADC
- Sučelje za komunikaciju
- Mikrokontroler

Promjene parametara senzor prepoznaje pomoću senzorske jedinice, analogni signali se filtriraju i pojačavaju putem uređaja za ogradu signala (engl. *signal conditioner*). Nakon provedenog analogno-digitalnog pretvaranja izlaz se daje radnim jedinicama ili aplikacijskim programima. Obrada podataka

je obavljena pomoću memorije i korisničkog sučelja. Nakon toga obrađeni signal se šalje do mikrokontrolera koji analizira primljene podatke i prosljeđuje ih krajnjem korisniku.



Slika 3.3. Arhitektura smart senzora. [4]

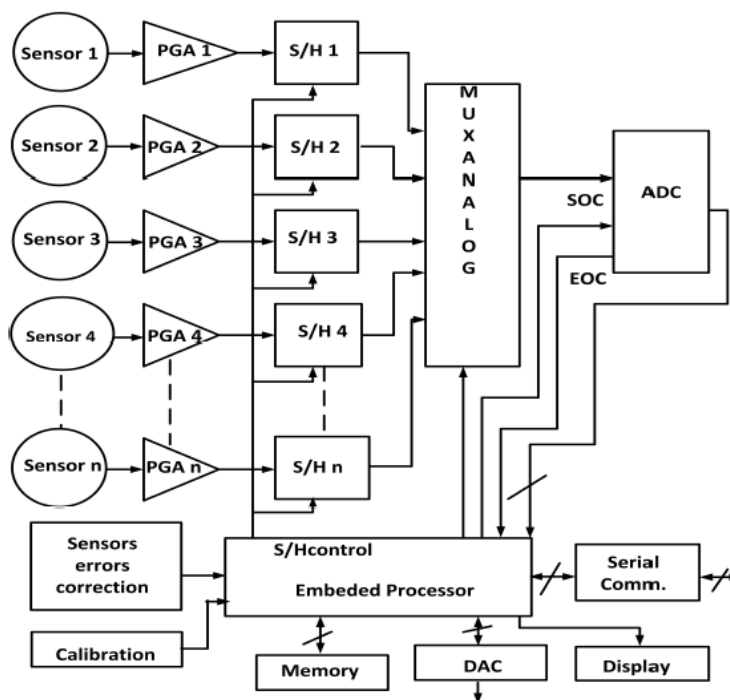
Kao što je prikazano na slici 3.3., osim senzorskog elementa i uređaja za obradu signala, smart senzor uključuje i ADC pretvarač, memoriju nekog tipa i sposobnost kontrole. Nakon što se signal pretvori u digitalni format, može se slati pomoću nekoliko komunikacijskih protokola.

Signal koji senzor očita iz okoline je tek prvi dio koji senzor treba napraviti kako bi dobio izlaz koji mikrokontroler treba primiti. Odabir odgovarajućeg uređaja za obradu signala je bitno zbog kalibracije, kompenzacije parametara i pojačanja, a odabir A/D pretvarača zbog što bolje pretvorbe analognog signala u digitalni. Točnost mjerenja u konačnici je određena kombinacijom senzorskih karakteristika i dodatnih komponenti senzora kao što je uređaj za obradu signala i A/D pretvarač.

Komponenta za obradu signala, najčešće ima funkcije pojačanja i filtriranja signala, je bazirana na dvije tehnologije: bipolarna i CMOS (engl. *complementary metal-oxide semiconductor*) ili kombinacija BiCMOS. Pojačala koja koriste kreću se od osnovnih low-gain DC pojačala do specijalnih pojačala. Signal conditioner može biti integriran zajedno sa senzorskim elementom ili biti eksterni.

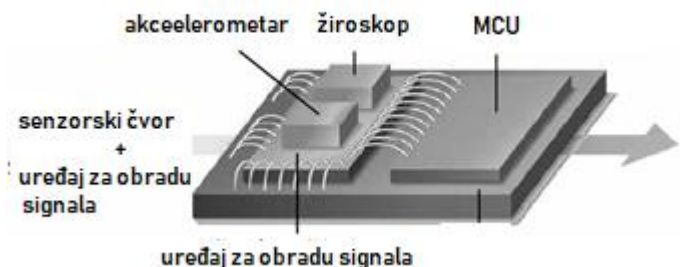
Pretvarač signala – A/D pretvarač (ADC) ima zadatak pretvaranja analognog signala u digitalni. ADC može biti dio kontrolera, senzora ili zasebna jedinica. Uobičajene tehnike pretvorbe ADC-a uključuju: jednokratni nagib (integriranje rampe), integracija dvostrukog nagiba, praćenje, uzastopna

aproksimacija, preklapanje i sigma-delta nadzor. Većina senzora zahtjeva visoku razlučivost uz umjereno brzu stopu pretvorbe i određeno ograničenje buke.



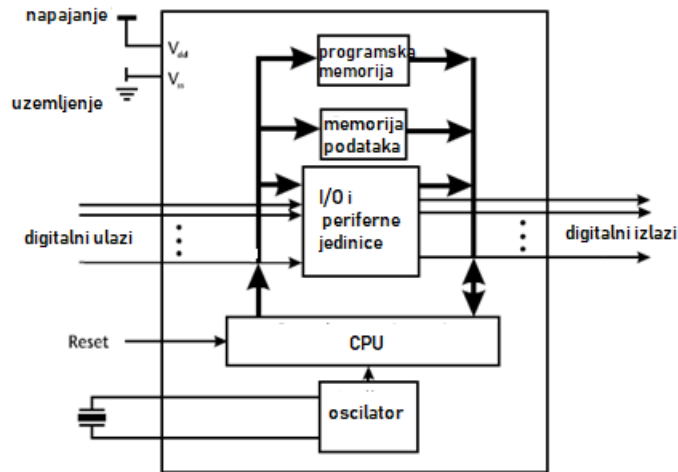
Slika 3.4. Općenita arhitektura smart senzora. [18]

Primjer integriranih smart senzora prikazan je na slici 3.5. Ovaj primjer pokazuje čip sa sensorima za automatsku orijentaciju zaslona pametnih telefona i tablet računala. MEMS (mikro elektromehanički sustav) senzori multi-axis akcelerometra i žiroskopa. Žiroskopska i akcelerometarska tehnologija omogućila je uređaju da osjeti kada je korisnik promijenio orijentaciju zaslona od portrait do landscape kako bi se slika mogla podesiti na odgovarajući način.



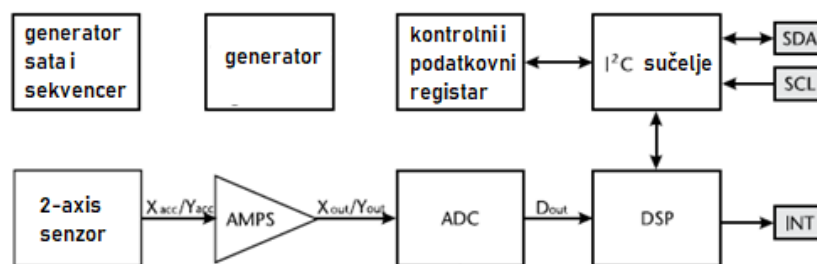
Slika 3.5. Primjer integriranog smart senzora akcelerometra i žiroskopa. [4]

Dostupno je više tehnologija i elektronike za poboljšanje točnosti i kvalitete mjerenja bilo koje vrste senzora i dodavanje dijagnostike. Najvažnije među ovim tehnologijama su: ASIC (engl. *Application-Specific Integration Circuit*), MCU (engl. *Microcontroller unit*), DSP (engl. *Digital Signal Processing*), DSC (engl. *Digital Signal Controller*) ili FPGA (engl. *Field Programmable Gate Arrays*). Ove tehnologije služe za kreiranje (dizajniranje) i programiranje digitalnih krugova (čipova). Mikrokontroleri su računala koja se sastoje od CPU-a (engl. *Central Processing Unit*), memorije, I/O. Oni su ugrađeni u neki uređaj kako bi mogli kontrolirati radnje uređaja. Neke od tih tehnologija također imaju mogućnost omogućiti potpuno integrirani smart senzor. Procesori senzora su obično adaptacije nekih od navedenih tehnologija. Sa slike 3.9. može se vidjeti blok dijagram mikrokontrolera.



Slika 3.9. Osnovni blok dijagram mikrokontrolera.[4]

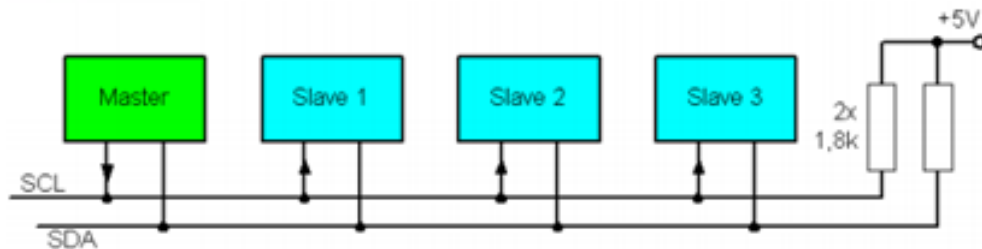
Slika 3.10. predstavlja senzor sa integriranim DSP-om (engl. *Digital Signal Processing*) za poboljšanje rada senzora u sustavu. Sustav se sastoji od 2-axis senzora, ADC, DSP, I^2C , pojačanje itd.



Slika 3.10. Primjer integracije MEMS senzora sa DSP-om.[4]

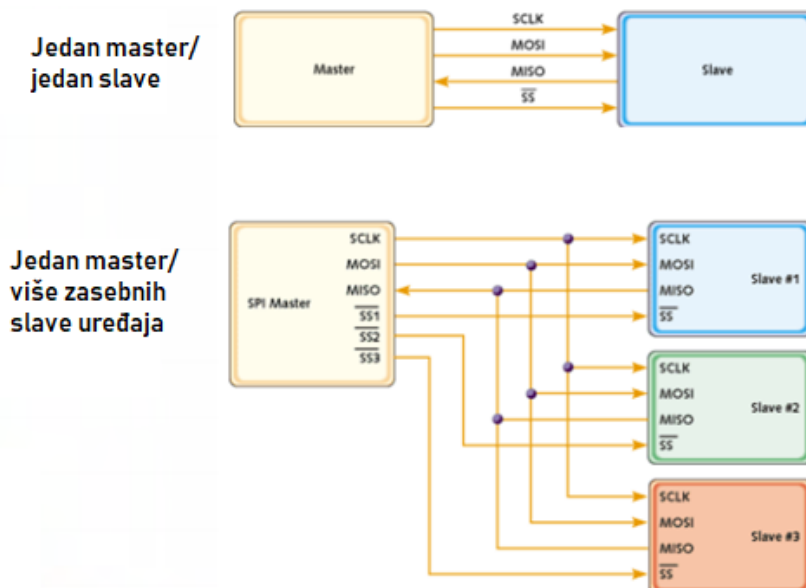
Komunikacijski sustav koji služi za komuniciranje između senzora i mikrokontrolera naziva se „sensor buses“. Neki od najpoznatijih su: I^2C , IS^2 SPI, SMBus, Maxim/Dallas 1-Wire and 3-Wire buses, CAN Bus, MODBus, SSI, FieldBus.

I^2C (engl. *Integrated Circuit Bus*) – dvožični standard sučelja, jednostavni master/slave tip sučelja, svaki senzor na komunikacijskom sustavu ima posebnu adresu (maksimalno 127). U većini sustava mikrokontroler je master (upravlja radom senzora), a senzor je slave uređaj (prima naredbe od mikrokontrolera). Prema slici 3.11. vidljivo je da se senzor spaja na mikrokontroler kao slave pomoću I^2C . SMBus je baziran na I^2C , Maxim/Dallas je sličan koncept I^2C -u, IS^2 je pojednostavljeni sustav I^2C -a.



Slika 3.11. Integrated Circuit Bus (I^2C). [20]

SPI (engl. *Serial Peripheral Interface*) – četverožična serijska komunikacija master/slave (Sl. 3.12.). SCLK – sat, MOSI – master dana output, slave dana input, MISO – master dana input, slave dana output, SS – odabir slave-a.

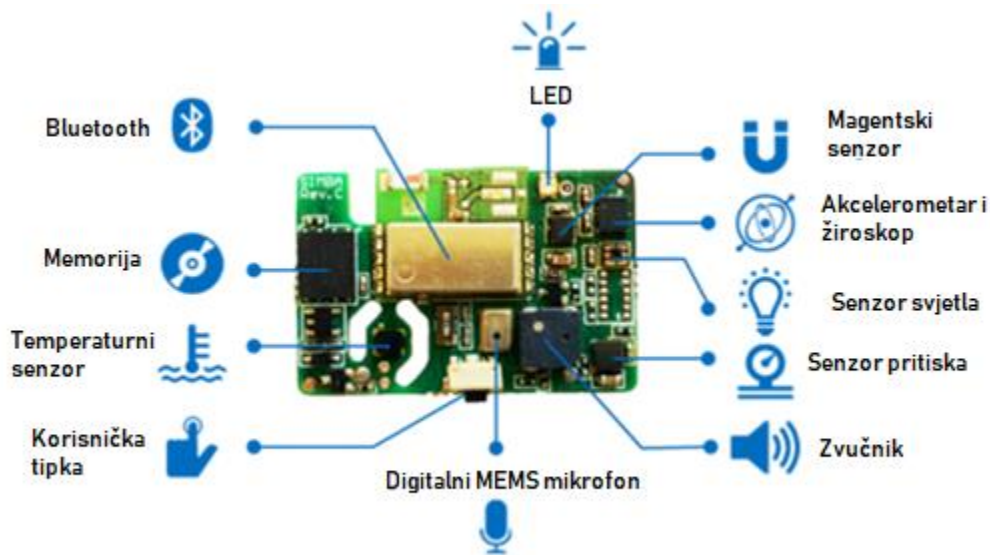


Slika 3.12. SPI komunikacijski sustav.[20]

3.1.1 Mikro-elektromehanički sustavi (MEMS)

Kako bi se smanjio trošak izrade i implementacija postala manje zahtjevnija, senzori su se počeli izrađivati upotrebom tehnologija izrade integriranih krugova (IC). Tehnologija izrade IC-a, nano tehnologija i tehnologija izrade mikro komponenti (engl. *micromachining*), rabi se za proizvodnju komponenti s dimenzijama u području mikrometra ili milimetra. Trend senzorskih tehnologija je ide u smjeru tehnologija mikroprocesora ili mikro sustava poznatim kao MST. Njihov podskup poznat je kao mikro elektromehanički sustavi (MEMS). MEMS su minijaturni sustavi koji se sastoje od mehaničkih i elektroničkih komponenti. MEMS komponente i senzori su sastavni dio većine elektroničkih uređaja. Od pametnog telefona do automobila, MEMS i senzori bitni su sastavni dijelovi koji olakšavaju obavljanje poslova.

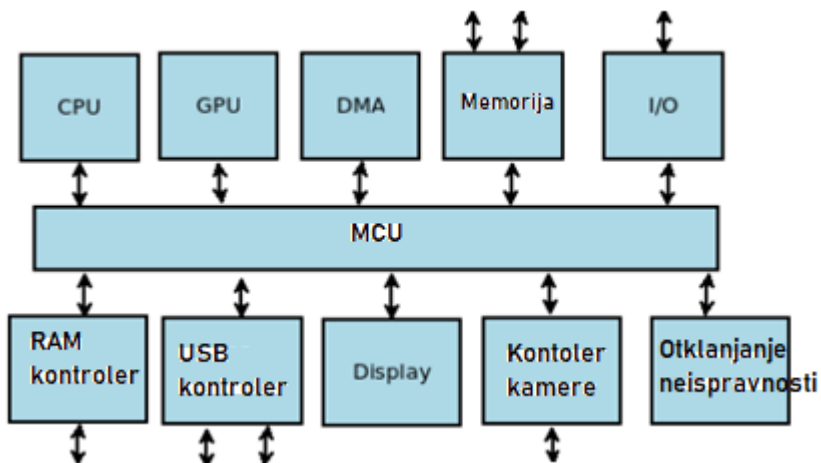
Tehnika proizvodnje mikroelemenata (engl. *micromachining*) je najčešće korišteni kemijski postupak za proizvodnju trodimenzionalnih mikro struktura. Cilj te tehnike je senzore i sve elektroničke komponente učiniti što manjima kako bi se oni mogli lakše implementirati. Prema slici 3.6. na tzv. SoC (engl. *System-on-chip*) su ugrađeni mikro senzor tlaka, magnet, mikro senzor brzine, žiroskop i senzor udaljenosti, temperature, vlažnosti.



Slika 3.6.. SoC s ugrađenim mikro senzorima. [5]

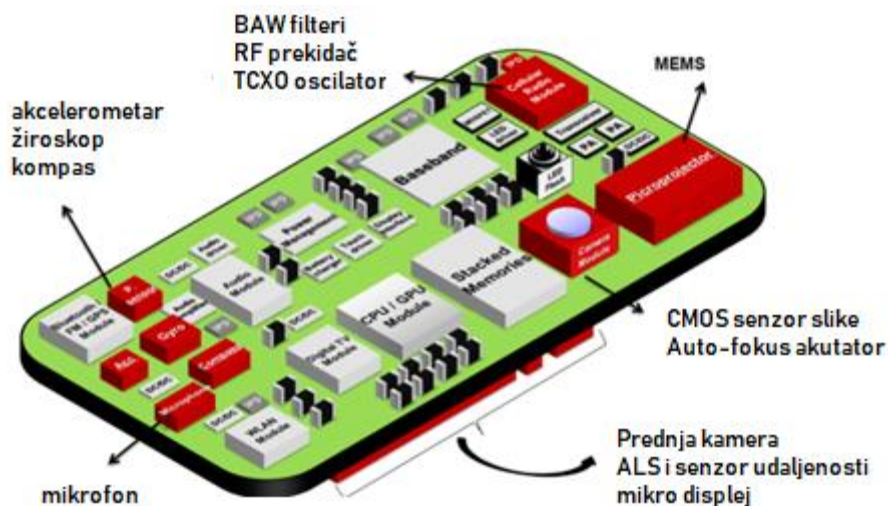
3.2. Sistem na čipu (SoC)

Tehnologija sistem-na-čipu (SoC) predstavlja mogućnost stavljanja više podsustava (komponenti) na jedan čip. SoC upotrebljava snažan procesor i sposoban je za pokretanje softvera. SoC obično treba manje energije, ima niže troškove i veću pouzdanost nego multičip sistem kojeg oni zamjenjuju. Glavne komponente SoC-a su: mikroprocesori, memorijski blokovi koji uključuju ROM, RAM, EEPROM i flash memoriju, periferne jedinice GPIO (engl. *General Purpose I/O*), USB, Ethernet itd. SoC je u određenoj mjeri čip sa sabirnicom koja povezuje različite komponente. Budući da nema standarda, proizvođači odlučuju o broju i složenosti komponenti na SoC-u.



Slika 3.7. Blok dijagram system-on-chip (SoC-a). [19]

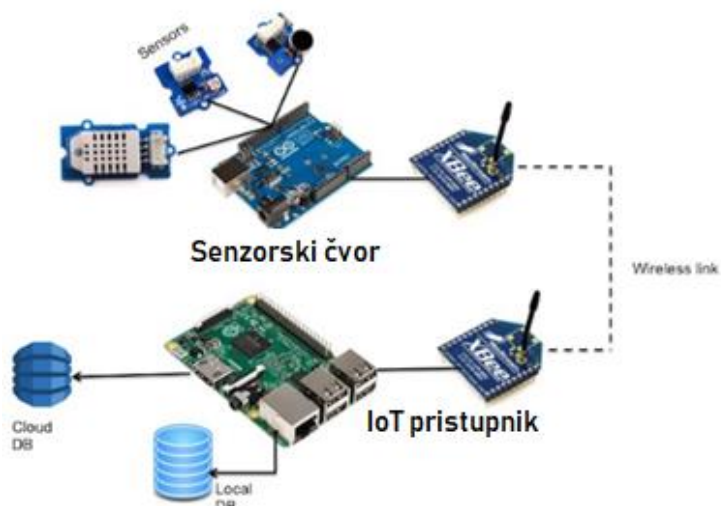
Pojam „sustav na čipu“ (SoC) se koristi za opisivanje visoko integriranog kruga, ASIC (engl. *Application-Specific Integration Circuit*), MCU (engl. *Microcontroller unit*), DSP (engl. *Digital Signal Processing*), DSC (engl. *Digital Signal Controller*) ili FPGA (engl. *Field Programmable Gate Arrays*) koji uključuje znatno više elektroničkih komponenti. Glavni cilj integriranja elektronike i senzora je napraviti smart senzor koji obavlja više funkcija. Ako se integriraju sve funkcije s senzora na sučelje u jednom čipu (SoC) dobiva se integrirani krug koji senzore čini naprednima (daje im više funkcija) (Sl. 3.7.) (Sl. 3.8.).



Slika 3.8. Primjer ugradnje MEMS senzora u mobitel – SoC (System-on-chip). [9]

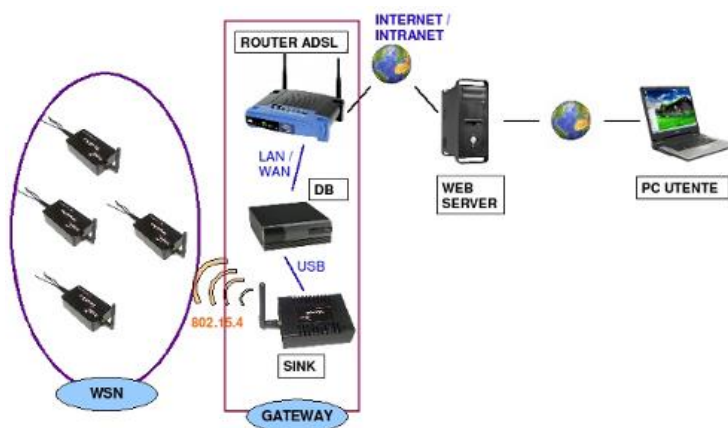
3.3. Bežična senzorska mreža

Bežična senzorska mreža (engl. *Wireless Sensor Network – WSN*) se općenito može opisati kao mreža čvorova koji kooperativno osjete i kontroliraju okoliš, omogućujući interakciju između osoba ili računala i okoline. (Sl. 3.13.) WSN-ovi obično sadrže čvorove senzora, akuatora, gateways (pristupnike) i klijente.



Slika 3.13. Senzorski čvor, pristupnik (gateway) i cloud/local. [2]

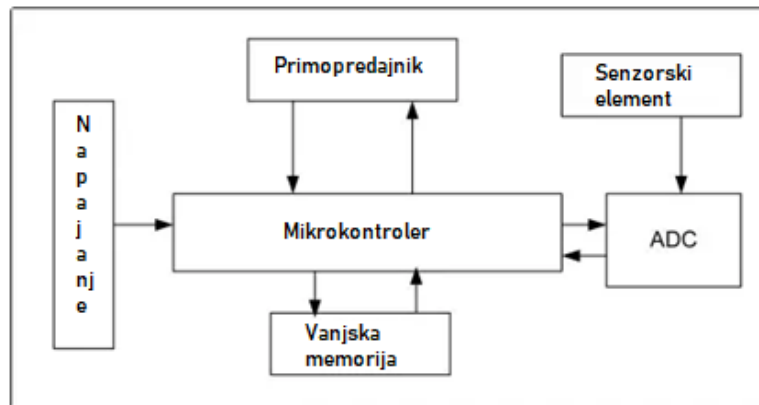
Veliki broj senzorskih čvorova raspoređenih slučajno unutar ili u blizini nadzornog područja (senzorskog polja), oblikuju mreže putem samoorganizacije. Čvorovi senzora prate prikupljene podatke i prenose ih ostalim čvorovima. Standardi za WSN tehnologiju su razvijeni kao što su Zigbee, WirelessHART, WIA-PA, Bluetooth itd.



Slika 3.14. Wireless Sensor Network (WSN). [2]

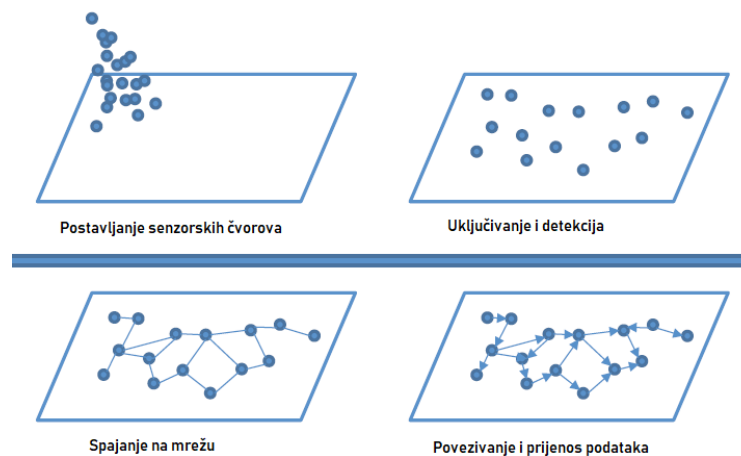
Čvor senzora je jedan od glavnih dijelova WSN-a. Hardver senzorskog čvora uglavnom uključuje pet dijelova (Sl. 3.15.): modul napajanja, senzor, mikrokontroler, memorija i bežični primopredajnik.

Modul napajanja služi za dovođenje snage sustavu, senzor služi za prikupljanje i pretvorbu podataka i slanje podataka mikrokontroleru. Mikrokontroler prima podatke iz senzora i analizira ih. Primopredajnik nakon toga šalje podatke ostalim senzorskim čvorovima.



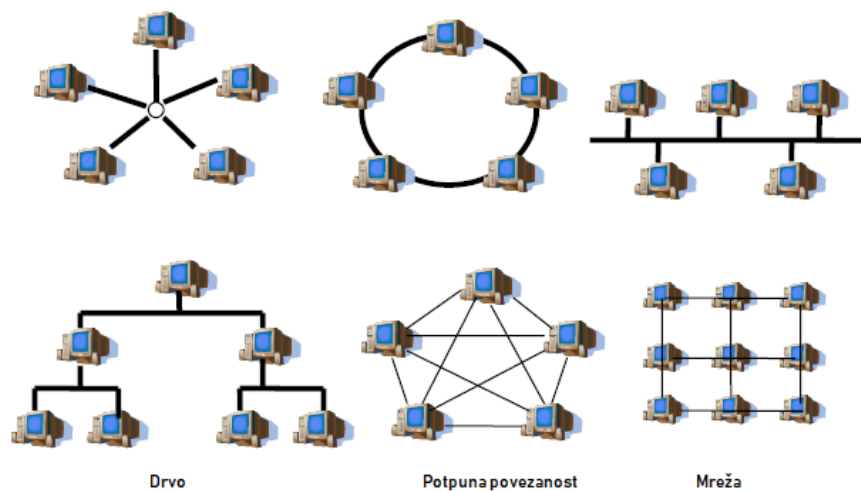
Slika 3.15. Senzorski čvor. [4]

Prema udaljenosti i brzini prijenosa, postojeće tehnologije pristupa se mogu podijeliti u četiri kategorije: bežična lokalna mreža (WLAN), bežična gradska mreža (WMAN), bežična osobna mreža (WPAN), bežična širokopojasna mreža (WWAN). Općenito, WSN se sastoji od niza senzorskih čvorova i pristupnika za povezivanje s internetom. Opći proces implementacije WSN-a obuhvaća postavljanje senzorskih čvorova, uključivanje i detekcija, spajanje na mrežu i prijenos podataka (komunikaciju) (Sl. 3.16.).



Slika 3.16. Implementacija WSN-a. [6]

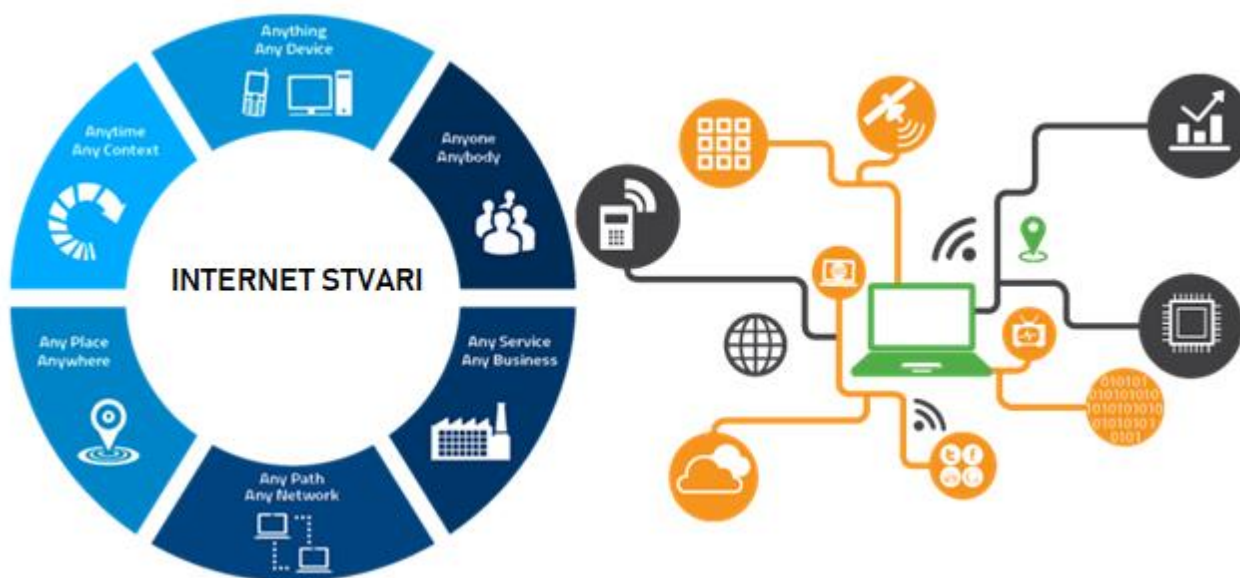
Postoji šest različitih vrste komunikacijskih topologija WSN mreže: zvijezda, drvo i prsten, bus, mreža potpuna povezanost (Sl. 3.17.).



Slika 3.17. Komunikacijske topologije WSN-a. [2]

4. INTERNET STVARI (IIOT/IOT/INTERNET OF THINGS)

Internet stvari (engl. *Internet of Things – IoT*) se odnosi na vrstu mreže koja povezuje bilo što s Internetom na temelju propisanih protokola za obavljanje razmjene informacija i komunikaciju kako bi se postiglo pametno prepoznavanje, pozicioniranje, praćenje i administracija. Cilj Interneta stvari je omogućiti povezivanje stvari bilo kada, bilo gdje s bilo čime/kim, korištenjem bilo kojeg puta/mreže i bilo kojih usluga. IoT uređaji i oprema opremljeni su elektronikom, kao što su senzori i aktuatori, komunikacijski dio i softveri za prikupljanje, filtriranje, pohranu i razmjenu podataka.



Slika 4.1. Internet stvari (Internet of Things).[6]

IoT se može definirati kao: senzori i aktuatori ugrađeni u fizičke predmete povezani su putem žičnih i bežičnih mreža, često koriste isti Internet protokol (IP) koji ih povezuje na Internet. Ideja je da ne samo računalo i pametni telefoni mogu međusobno komunicirati, nego sve stvari. Internet nije samo mreža računala, već se razvila u mrežu uređaja svih vrsta i veličina od vozila, pametnih telefona, kućanskih aparata do medicinskih instrumenata i industrijskih sustava, ljudi kako bi se postigle funkcije kao što su pozicioniranje, praćenje, sigurnosno upravljanje, nadzor nad procesima u realnom vremenu, online nadogradnja i administracija. Od povezanih domova i gradova do povezanih automobila i strojeva na uređaje koji prate ponašanje pojedinca i koriste prikupljene podatke za novu vrstu usluga.

IoT koncept je 1999. godine izmislio član razvojne zajednice RFID-a (engl. *Radio Frequency Identification*), a taj koncept je postao popularniji zbog razvoja mobilnih uređaja, ugrađene i sveprisutne komunikacije, računalnog oblaka (engl. *cloud*) i analize podataka.

Jedna od najvažnijih stvari kod IoT-a predstavljaju uređaji koji se povezuju na Internet. Uređaji se sastoje od puno elektroničkih dijelova u koje spadaju senzori, aktuatori, čipovi, mikro-elektromehanički sustavi itd. Podaci koje senzori otkrivaju se šalju do podatkovnog centra, drugog uređaja ili cloud-a koji mogu te podatke koristiti za daljnju analizu i radnje.

Danas na mreži postoje različiti tipovi uređaja koji imaju svoju jedinstvenu adresu i koji dijele informacije na mreži. Informacije se dijele u realnom vremenu ili u definiranim intervalima, no poanta je da će svi moći međusobno komunicirati. Iako će većina komunikacije među objektima biti „zanemariva“, odnosno od male važnosti, može biti i iznimno korisna. S vremenom će biti iznimno važno filtrirati važne informacije od milijuna i milijardi „beskorisnih“ informacija koje će putovati mrežom.

Iako je Internet stvari najpopularniji pojam za opisivanje povezanog svijeta, postoje slični pojmovi koji imaju slično značenje:

- Pojam M2M (engl. „*Machine to machine*“) upotrebljava se više od desetljeća, a poznat je u sektoru telekomunikacija. M2M komunikacija je u početku bila one-to-one veza, no razvojem komunikacijskih tehnologija može se komunicirati s širim rasponom uređaja.
- Industrijski IoT (Industrija 4.0.) – usredotočuje se samo na industrijska okruženja.
- Web stvari – mnogo uži opseg kao i drugi pojmovi jer se isključivo usredotočuje na arhitekturu softvera.
- Internet svega (IoE) – cilj IoE-a je uključiti sve vrste veza koje se mogu zamisliti. Ovaj koncept ima najviši doseg.

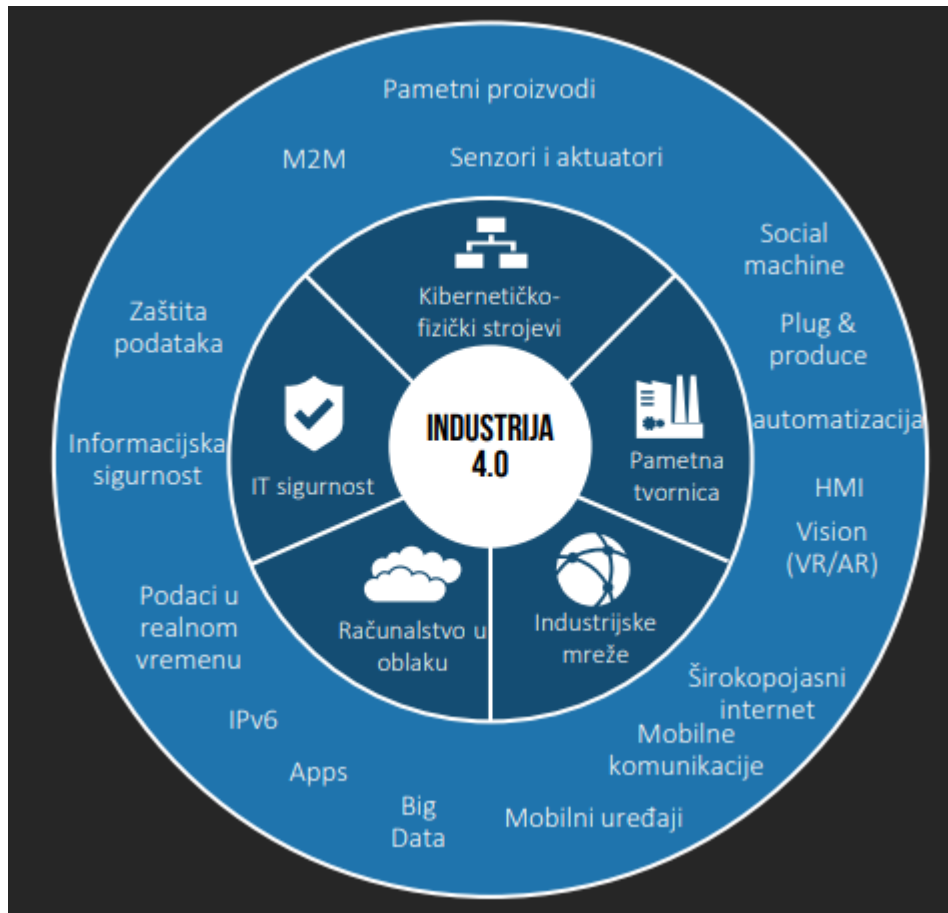
Kada povezani svijet postane stvarnost, Internet stvari će transformirati gotovo sve glavne segmente, od domova do bolnica i od automobila do gradova. Prema slici 4.2. može se vidjeti gdje se sve može primijeniti IoT.



Slika 4.2. Tržišni segment IoT-a. [6]

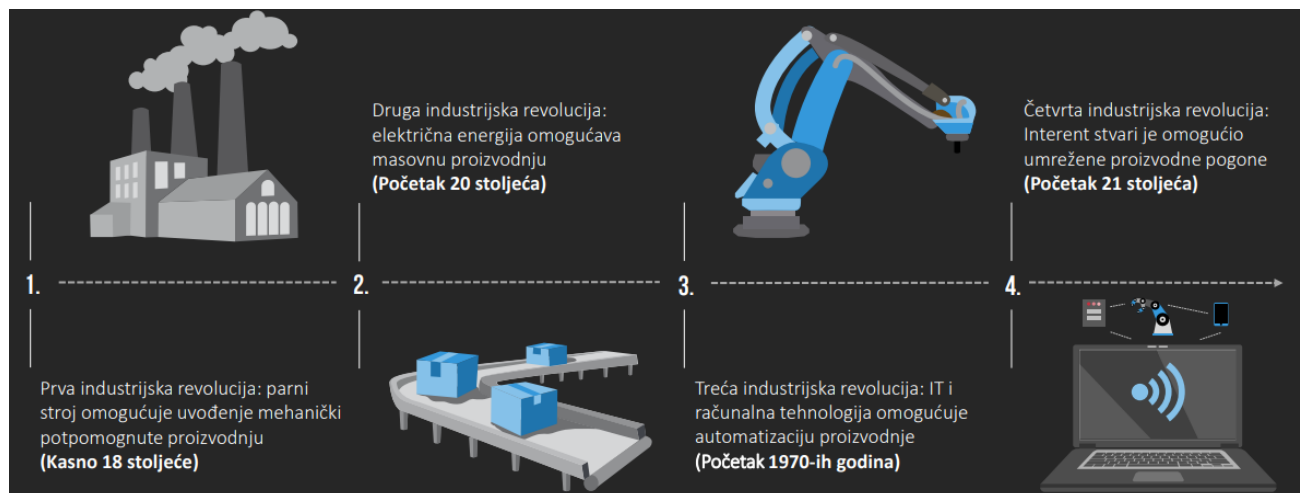
4.1. Industrijski IoT

Industrijski Internet stvari/Industrija 4.0. (engl. *Industrial Internet of Things - IIoT*) je dio većeg koncepta poznatog kao Internet stvari. (Sl. 4.3.) Industrija 4.0. obuhvaća integraciju novih komunikacijskih tehnologija i naprednih senzora s proizvodnjom i procesima, što omogućuje razvoj novih poslovnih modela, poboljšanje proizvodnje, smanjenje trajanja proizvodnje i poboljšanje kvalitete proizvoda. Industrijski IoT je mreža uređaja spojenih putem komunikacijskih tehnologija koji formiraju sustav i prate, prikupljaju, razmjenjuju i analiziraju podatke.



Slika 4.3. Industrija 4.0. [3]

Industrija 4.0. predstavlja četvrtu industrijsku revoluciju koja omogućuje umrežavanje proizvodnih pogona korištenjem senzora i komunikacijskih tehnologija. (Sl. 4.4.)



Slika 4.4. razvoj industrije – industrijske revolucije. [3]

Neke od pogodnosti koje Industrijski Internet Stvari donosi tvrtkama su:

- Održavanje pogona – sustavi koji u realnom vremenu primaju i analiziraju podatke o pogonu kako bi predvidjeli nedostatke i kvarove u strojevima i sustavima, što omogućuj tvrtkama da poduzmu mjere za rješavanje problema što prije kako bi gubitci u proizvodnji bili minimalni.
- Efikasnost – s manje ljudi i više automatiziranih uređaja, tvrtke mogu održati visoku učinkovitost.
- Smanjenje troškova – visoka razina automatizacije rezultira manjim trošenjem materijala i učinkovitijim radom, čime se izravno smanjuju operativni troškovi.
- Poboljšanje kvalitete proizvoda.

Primjer korištenja IIoT-a u proizvodnji je automobilska industrija (tvornice za proizvodnju automobila), automatizirani roboti s integriranim naprednim sensorima i komunikacijskom tehnologijom koji služe za sastavljanje automobila. (Sl. 4.5.)

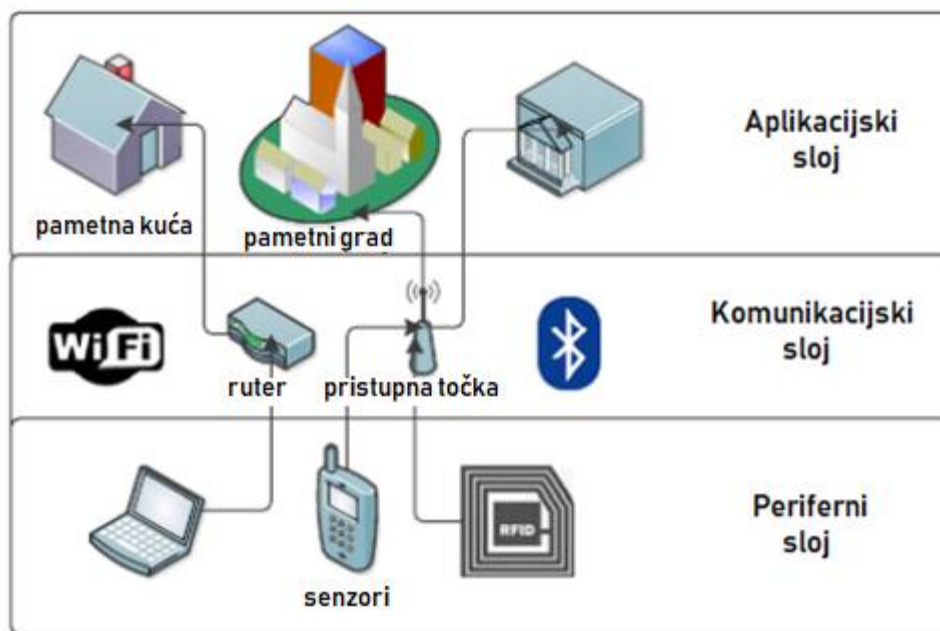


Slika 4.5. Primjer Industrijskog Interneta stvari (IIoT). [23]

4.2. Arhitektura IoT-a

Internet stvari temelji se na tri glavna tehnološka sloja (Sl. 4.6.):

1. Sloj percepcije (hardverski sloj) – identifikacija objekata i prikupljanje podataka su glavne funkcije toga sloja. Hardverski sloj se sastoji od čipova, senzora, aktuatora, RFID oznaka, čitača/pisača RFID-a i jedinica za prikaz informacija (poput mobitela, tableta itd.).
2. Komunikacijski sloj – prijenos informacija koji se prikuplja putem percepcijskog sloja glavni je cilj ovog sloja. Bežične mreže, žičane mreže, internet, sustavi upravljanja mrežom glavni su dijelovi ovog sloja.
3. Aplikacijski sloj (softverski sloj) – pohrana podataka, analiza i otkrivanje događaja, inteligentna rješenja i obavljanje korisničkih potrebnih funkcija su odgovornost ovog sloja.



Slika 4.6. Tehnološki slojevi IoT-a. [6]

Razlog zašto se Internet stvari tako brzo razvija u ovom trenutku je da je postignut glavni tehnološki napredak u sva tri od tih tehnoloških slojeva:

Hardver – cijene senzora su se smanjile kao i njihove dimenzije. Kompletni paketi mikro senzora postali su standard.

Komunikacija – mobilni uređaji postali su uobičajeni široj javnosti. Smanjile su se i cijene mobilnih uređaja.

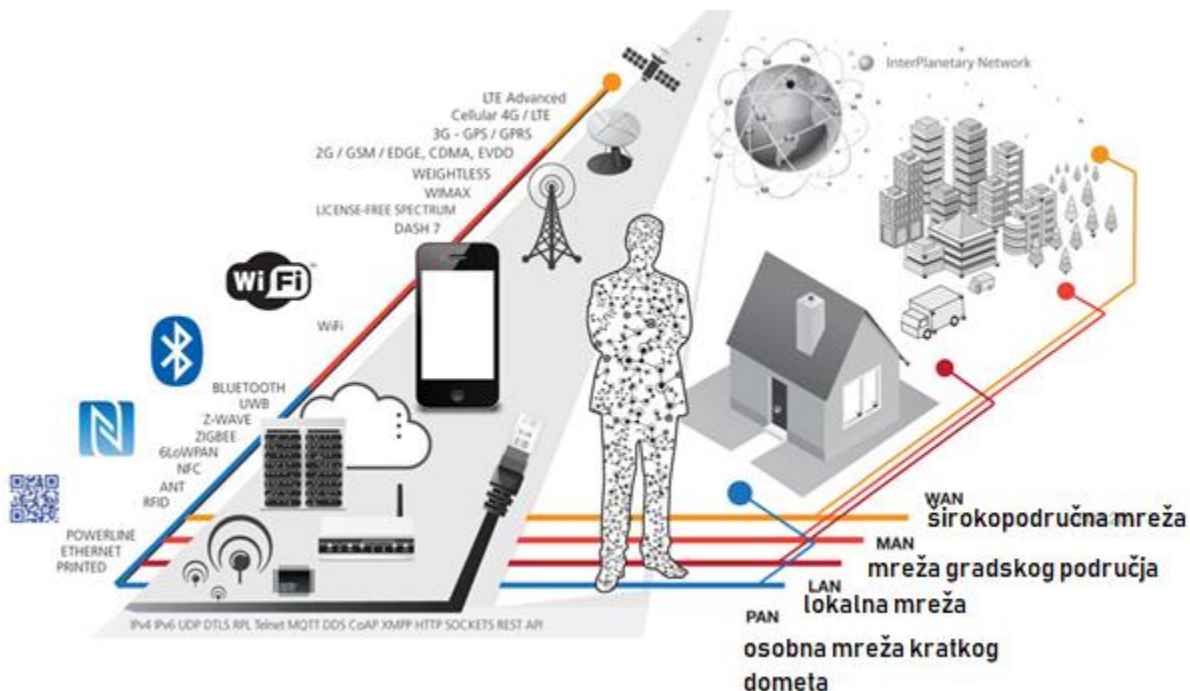
Softver – razvijaju se novi programski alati, baze podataka, programi za analizu podataka, programi za upravljanje mrežom.

4.3. Sigurnost IoT-a

Kako postoji puno koristi od IoT-a, mora se obratiti pažnja i na sigurnost. IoT se treba dizajnirati kako bi bio siguran. Sigurnost, sprječavanje hakerskih napada, industrijske špijunaže je jedno od najvećih problema IoT-a. Ono uključuje sigurnost osobnih podataka i privatnost korisnika. Osiguravanje krajnjih točaka, mreža i podataka koji se kreću kroz sve znači izradu sigurnosne paradigme. Cyber sigurnost je jedan od ključnih razloga spore adaptacije IoT-a.

4.4. IoT komunikacija

Za prijenos podataka između uređaja ili između uređaja i platformi (npr. Cloud) potrebne su mrežne tehnologije. Povezivanje se tradicionalno dijeli na PAN (engl. *Personal Area Network*), LAN (engl. *Local Area Network*), WAN (engl. *Wide Area Network*) i MAN (engl. *Metropolitan Area Network*) (Sl. 4.7.) Za njihovo povezivanje potreban je mrežni pristupnik (engl. *gateway*). Novi 3GPP standardi, prebacivanje na 4G LTE u industriji i šire su neke od evolucija. Dolazi i slijedeća generacija nakon 4G, 5G koja će imati veću brzinu prijenosa podataka.



Slika 4.7. Komunikacija IoT.[21]

Komunikacija IoT-a se može podijeliti na skupine:

1. Proximity or body area networks – RFID i komunikacije na blizinu.
2. Wireless PAN – Bluetooth, NFC, Zigbee, Z-wave, EnOcean, WirelessHART itd.
3. Wireless LAN – Wi-Fi
4. Wireless WAN – LPWAN, od ne-staničnih LPWA (Sigfox, LoRa, DASH7 itd.), do staničnih tehnologija i standarda 2G, 3G, 4G.

Postoje različite vrste komunikacije u IoT-u:

Komunikacija uređaja na uređaj (M2M) – modul komunikacije uređaja na uređaj predstavlja dva ili više uređaja koji se izravno povezuju i međusobno komuniciraju, a ne putem posredničkog aplikacijskog poslužitelja. Ovi uređaji komuniciraju s mnogim vrstama mreža, uključujući IP mreže ili Internet. Često ti uređaji koriste i protokole poput Bluetooth, Z-Wave, Zigbee da bi uspostavili izravnu uređaj-na-uređaj komunikaciju.

Komunikacija device-to-cloud – IoT uređaju se povezuju izravno s uslugom internetskog oblaka poput pružatelja aplikacijskih usluga za razmjenu podataka i kontrolu prometa poruka. Ovaj pristup često

iskorištava postojeće komunikacijske mehanizme poput Ethernet ili Wi-Fi veza kako bi uspostavio vezu između uređaja i IP mreže, što se konačno povezuje s uslugom u oblaku.

Device-to-gateway model – device-to-application-layer gateway (ALG) uređaj, IoT uređaji se povezuju preko ALG usluge kao kanal za pristup uslugama u oblaku. Na lokalnom uređaju funkcionira softver koji djeluje kao posrednik između uređaja i usluge oblak, te pruža sigurnost i druge funkcije kao što su prijenos podataka.

Model za dijeljenje podataka - model back-end dijeljenja podataka odnosi se na komunikacijsku arhitekturu koja korisnicima omogućuje izvoz i analizu podataka pametnih objekata iz usluge oblak u kombinaciji s podacima iz drugih izvora.

4.5. Komunikacijski protokoli

Signali senzora često se moraju prenijeti na druge lokacije zbog analize. To obično uključuje prijenos podataka preko mreže. Prvi korak u procesu prijenosa podataka s jednog uređaja na drugi putem mreže je identifikacija svakog uređaja. Internetski protokol (IP) je otvoreni protokol koji pruža jedinstvene adrese za uređaje. Jedan od ključnih dijelova arhitekture IoT-a je IPv6 protokol. On predstavlja najnoviju reviziju Internet protokola (IP), komunikacijskog protokola koji pruža sustav identifikacije i lokacije za računala na mrežama i usmjerava promet preko interneta. Svaki uređaj na internetu mora imati IP adresu kako bi mogao komunicirati s drugim uređajima. Uz sve veći broj novih uređaja spojenih na Internet, pojavila se potreba za više adresa nego što je IPv4 (prethodnik IPv6) sposoban dati. IPv6 koristi 128-bitne adrese, dok IPv4 koristi 32-bitne adrese što znači da IPv6 može dati znatno više adresa od IPv4. IPv6 ima $3.4 \cdot 10^{38}$ adresa koje je moguće koristiti za spajanje na mrežu.

Osim internetskih protokola postoje razni protokoli za IoT:

1. Internetski (ex: 6LowPAN, IPv4/IPv6, RPL)
2. Identifikacijski (ex: EPC, uCode, IPv6, URIs)
3. Transportni (ex: Wifi, Bluetooth, LPWAN)
4. Istraživački (ex: Physical Web, mDNS, DNS-SD)
5. Data protokoli (ex: MQTT, CoAP, AMQP, Websocket, Node)
6. Upravljanje uređajima (ex: TR-069, OMA-DM)
7. Semantički (ex: JSON-LD, Web Thing Model)
8. Višeslojni (ex: Alljoyn, IoTivity, Weave, Homekit)

5. PRIMJENA SMART SENZORA

Smart senzori imaju širok raspon primjene, ali ta primjena nije ograničena samo na ove primjere. Senzori se koriste u svima aspektima i imaju glavnu ulogu. Današnje glavne aplikacije uključuju:

Pametna kuća (engl. *Smart Home* or „*Home automation*“) – povezanost uređaja unutar kuće. To uključuje termostate, detektore dima, žarulje, sustave za zabavu, prozore, brave vrata itd.

Nosive stvari (engl. *Wearables*) – nosivi proizvodi kao što su napredni satovi, mobiteli itd.

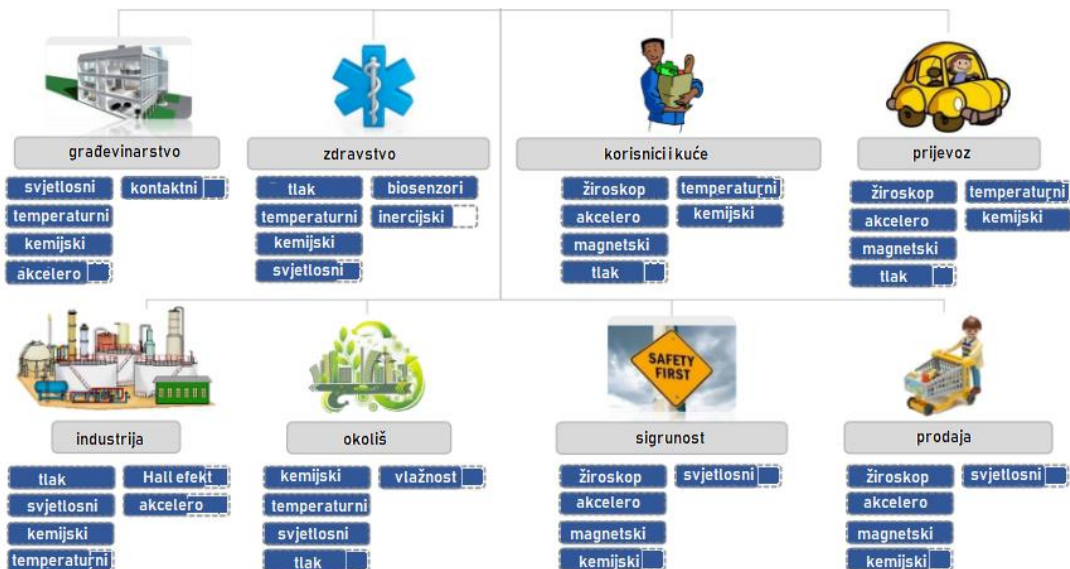
Pametni gradovi (engl. *Smart City*) – obuhvaća široki raspon uporabe, od upravljanja prometom do distribucije vode, gospodarenja otpadom, urbane sigurnosti itd.

Pametne mreže – korištenje automatiziranih informacija o ponašanju dobavljača električne energije i potrošača kako bi se poboljšala učinkovitost, pouzdanost i ekonomičnost.

Pametni automobili – autonomna vožnja, pomoć pri vožnji (senzori za parkiranje, usluge lokacije) itd.

Pametno zdravstvo (eHealth) – napredni medicinski uređaji, praćenje zdravstvenog stanja, baze podataka o pacijentima itd.

Prema slici 5.1. mogu se vidjeti neke od primjena naprednih senzora koji se koriste u pojedinim aspektima.

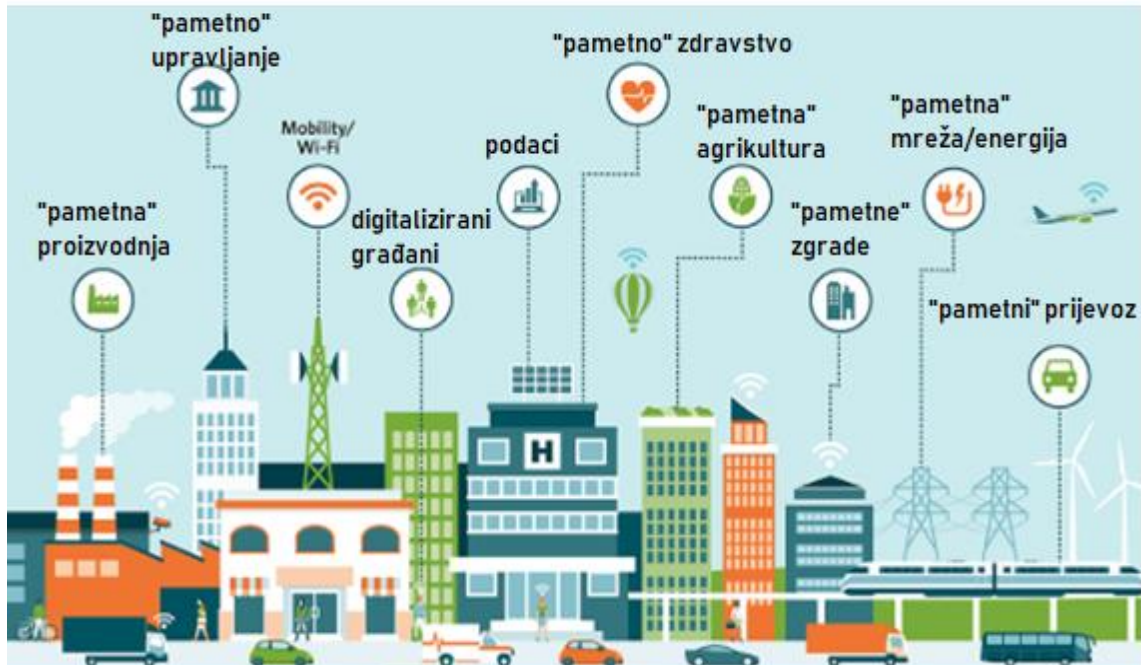


Slika 5.1. Primjene smart senzora. [22]

5.1. Pametni grad

Pametni grad (engl. *Smart City*) je koncept cjelovitog i održivoga grada u kojem će kvaliteta ljudskoga života, ali i odnosa prema prirodnoj okolini biti na znatno višoj razini. Uglavnom se temelji na upotrebi naprednih mreža (engl. *Smart Grids*), snažnijem uvođenju ICT tehnologija, internetskom povezivanju svih objekata (Engl. *Internet of Things*), primjerna komunikacija M2M (engl. *machine-to-machine*), smanjenju onečišćenja okoliša, uvođenju inteligentnih transportnih sustava, ali i povećanju energetske učinkovitosti primjenom pametnog mjerenja i uvođenjem inovativnih rješenja u građevinarstvu. Glavnu ulogu u pametnim gradovima imaju smart senzori i komunikacijske tehnologije koje služe za povezivanje senzora.

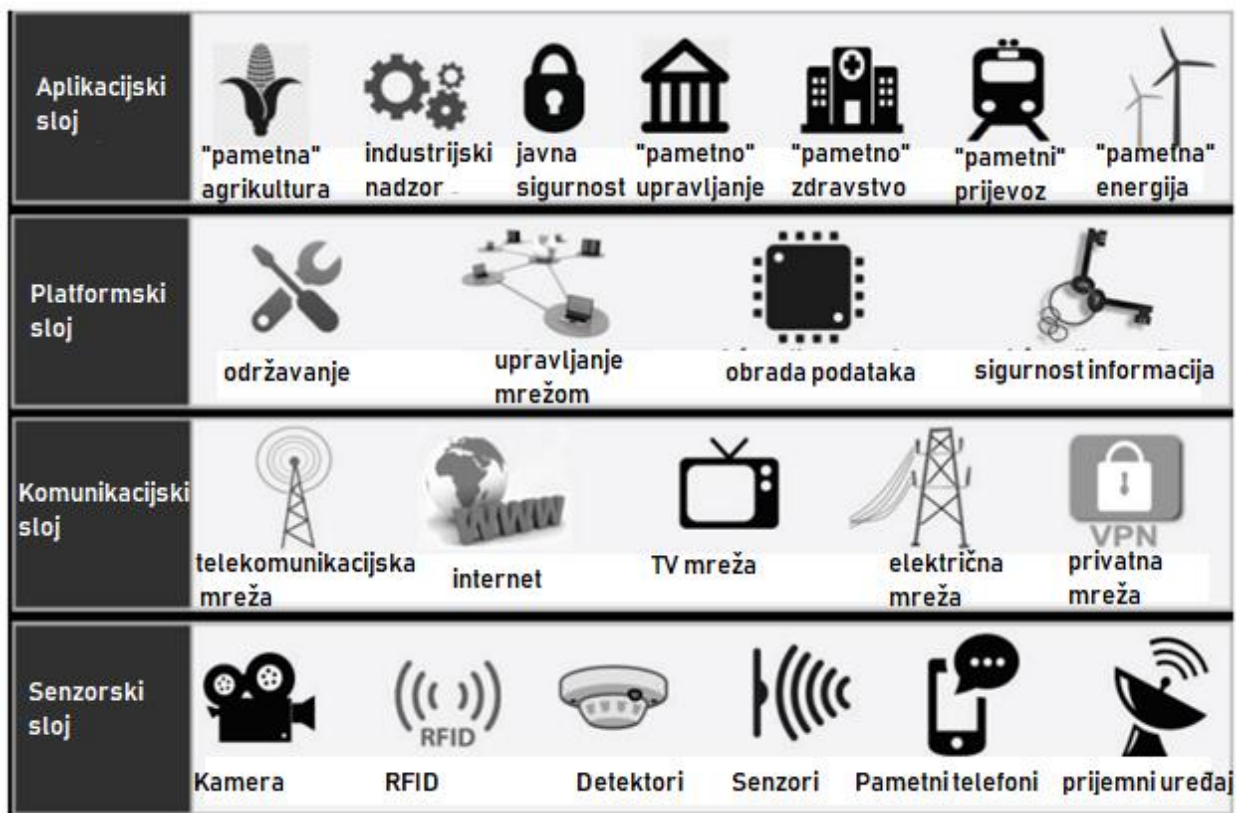
Pametni gradovi se oslanjaju na senzore koji mogu osjetiti određene parametre iz okoliša, pratiti javnu infrastrukturu, zgrade, ceste, mostove itd. Napredni grad treba imati milijune senzora i senzorskih čvorova raspoređenih po teritoriju kako bi mogli primati stanja i međusobno se povezati tako da se prikupljeni podaci mogu poslat u središnji informacijski sustav, gdje se mogu napraviti inteligentne odluke temeljene na tim podacima.



Slika 5.2. Komponente pametnog grada. [7]

U takvim sustavima podaci se prikupljaju iz više čvorova i obrađuju za dobivanje rezultata. Da bi se dobili optimalni podaci treba pažljivo izvršiti dvije glavne opcije: međusobno povezivanje čvorova i obrada podataka. Zbog milijuna senzora i čvorova oni su povezani putem bežičnih senzorskih mreža (WSN-ova). WSN je mreža koja se sastoji od senzorskih čvorova, izrađena je kako bi mogla povezati veliki raspon senzora. Kako bi se povezali na WSN svaki uređaj mora imati IP adresu. IPv6 protokol omogućava veliki broj adresa za uređaje na WSN mreži. Najčešće korištene tehnologije komunikacije su: 4G, LTE, Wi-Fi, WiMAX, ZigBee, CATV, Dash7, RFID i satelitska komunikacija. Uvođenjem IoT-a kako bi grad postao „pametan“, svaki uređaj je opremljen sensorima koji osjete podatke iz okoline i komuniciraju s ostalim uređajima.

Tehnološka arhitektura pametnih gradova povezana je s informacijskom i komunikacijskom tehnologijom (ICT), Internetom stvari (IoT), WSN-om i drugima. Slojevi tehnološke arhitekture naprednih gradova su: 1) senzori, 2) mreža, 3) aplikacije. (Sl. 5.3.)



Slika 5.3. Tehnološka arhitektura pametnog grada. [7]

Neki od uobičajenih primjena smart senzora u pametnim gradovima su:

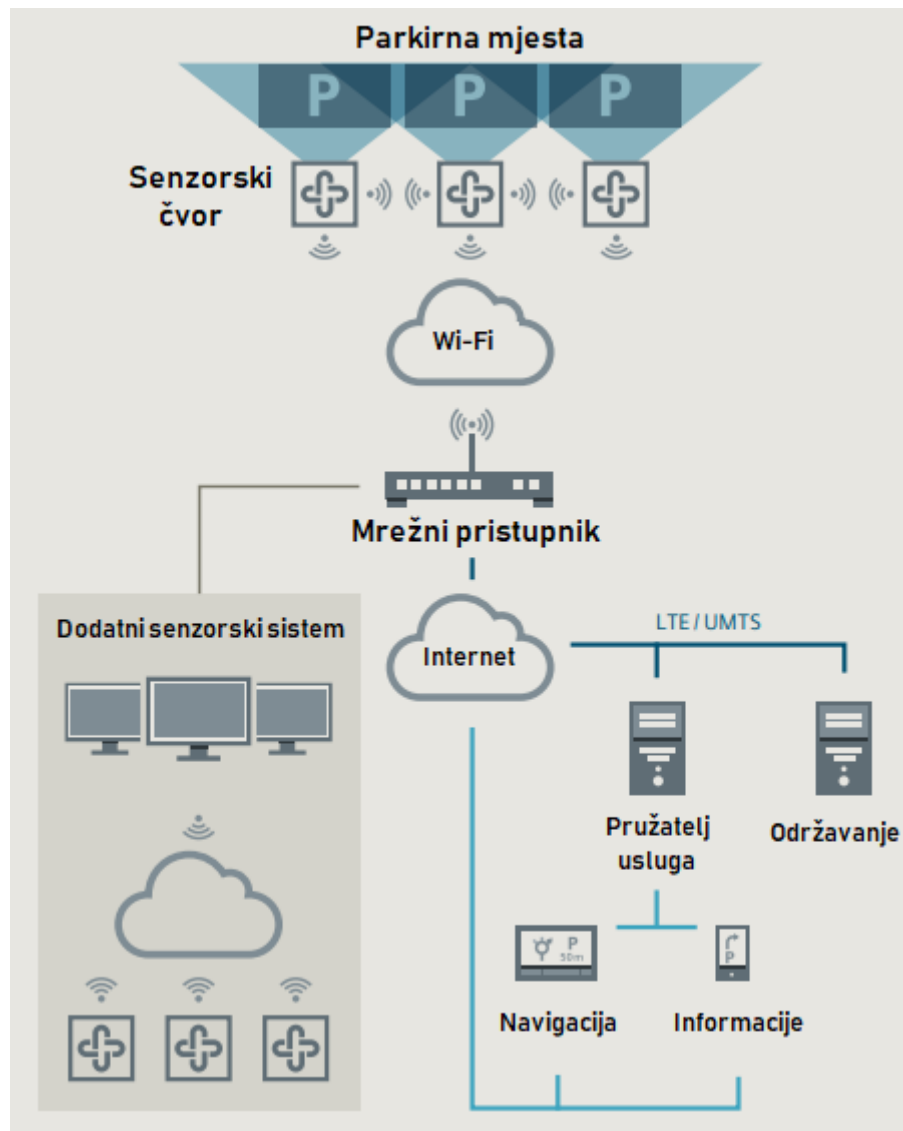
1. Pametni parking – praćenje praznih parkirnih mjesta u gradu.
2. Detekcija mobitela – detekcija mobitela koji rade na Wi-Fi ili Bluetooth tehnologijama.
3. Prometne gužve – praćenje stanja na cestama u gradu i okolici.
4. Pametna rasvjeta – paljenje rasvjete kada padne mrak i ovisno o vremenu.
5. Pametne ceste – praćenje i dijeljenje upozorenja na vremenske uvjete.
6. Pametne zgrade – praćenje stanja zgrade itd.

Primjer pametnog grada je New York koji je 2016. i 2017. godine osvojio nagradu za najbolji pametni grad na svijetu.[9] Pametni projekti koji čine New York pametnim gradom:

1. Midtown u pokretu (engl. *Midtown in Motion*) – primjena senzora pokreta i kamera za prikupljanje podataka o prometu u realnom vremenu.
2. LinkNYC – grad je postavio 7.500 komunikacijskih čvorova sa besplatnom Wi-Fi mrežom, punjenjem mobitela i besplatnim telefonskim pozivima.
3. City Bike – aplikacija pomaže u pronalaženju najbliže biciklističke stanice zajedno s lokacijom. Aplikacija izvještava o tome koliko je bicikala na raspolaganju.
4. NYC povezane zajednice – pružanje računalnih centara na siromašnim lokacijama. Postavljeno je više od 100 centara kako bi se poboljšala razina digitalne pismenosti.
5. Quantified Community – prikupljanje podataka o kvaliteti zraka, proizvodnji energije, gustoći prometa, analizi zdravlja ljudi.

5.1.1. Pametni parking

Pametni parking je jedan od primjera korištenja naprednih senzora i senzorskih čvorova u gradovima. Pametni parking služi kako bi korisnici u realnom vremenu znali da li na parkingu ima slobodnih mjesta. Pametni parking se sastoji od neke vrste senzora koja otkriva prisutnost vozila na parkirnom mjestu i senzorskog čvora s kojim je senzor povezan. (Sl. 5.4.) (Sl. 5.5.).



Slika 5.5. Primjer arhitekture smart parkinga. [24]

Smart senzori šalju informacije o parkirnom mjestu do mrežnog pristupnika koji te podatke analizira, obrađuje i prosljeđuje ih korisnicima. Smart senzori koji se mogu koristiti za otkrivanje prisutnosti mogu biti: magnetski senzori (Sl. 5.4.), senzori udaljenosti (engl. *proximity sensor*), ultrazvučni senzori, fotoelektrični senzori itd.

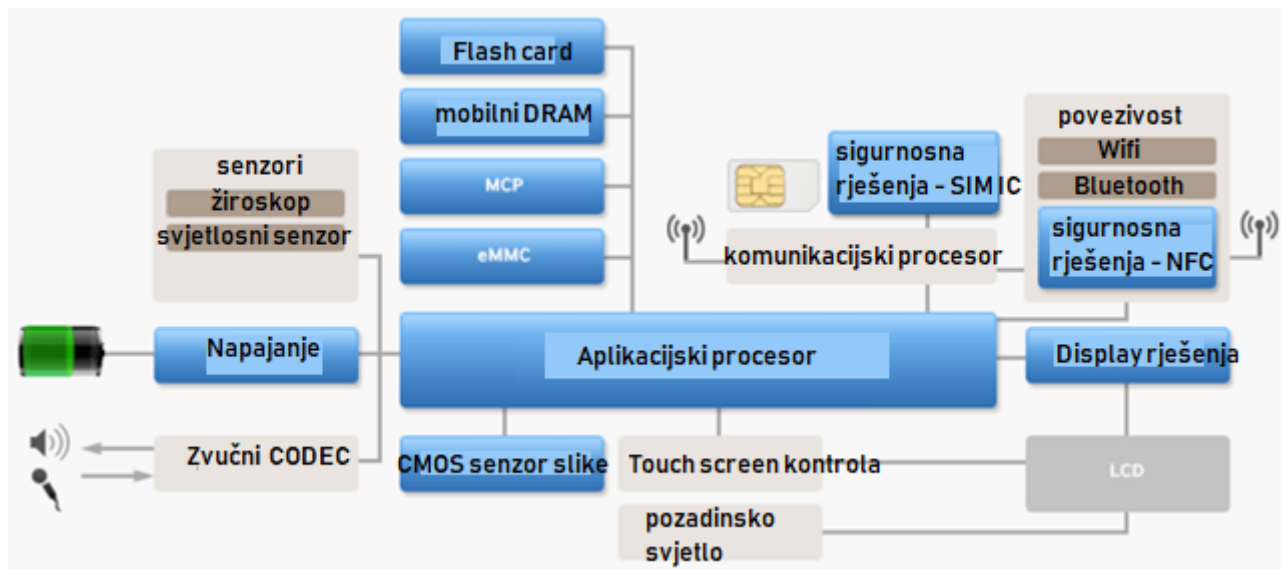


Slika 5.4. Primjer korištenja magnetskog senzora za otkrivanje prisutnosti. [24]

5.2. Smart senzori u mobilnim uređajima

Pametni mobitel je osobno prijenosno računalo. Sastoji se od raznih komponenti integriranih na jednom čipu (engl. *System-on-Chip (SoC)*). Arhitektura pametnih mobitela sastoji se od četiri glavne komponente (Sl. 5.4.):

- Aplikacijski procesor (CPU) - izvršava korisnički aplikacijski softver kao što su Android, iOS i Windows. Sastoji se od sučelja za komunikaciju s perifernim uređajima.
- Komunikacijski procesor - služi za video, audio i podatkovnu komunikaciju. Sadrži razne bežične tehnologije kao što su Wi-Fi, Bluetooth, LTE itd. Omogućuje funkcije povezane s radijskom komunikacijom: modulacija signala, kodiranje/dekodiranje itd.
- memorija
- razni periferni uređaji kao što su senzori, LCD, mikrofoni, kamera itd.



Slika 5.4. Osnovna arhitektura pametnog telefona. [10]

Mobilni telefoni se više ne koriste samo kao komunikacijski uređaji, već dolaze sa ugrađenim sensorima koji mobilnom telefonu omogućuju i druge primjene. Telefoni su postali pametni najviše zbog razvoja MEMS pametnih senzora koji mobitelu omogućuju razne funkcionalnosti kao što su otisak prsta, orijentacija zaslona, lokacija, touchscreen itd. Svi senzori su periferni uređaji koji su spojeni na mikrokontroler koji njima upravlja. U današnjem pametnom telefonu se, uz pomoć MEMS tehnologija, može nalaziti preko 30-ak senzora na SoC-u. (Sl. 5.5.)

Primjeri nekih od senzora koji se koriste u pametnom telefonu i njihove funkcionalnosti:

- Akcelerometar – koriste se u mobilnim telefonima za otkrivanje orijentacije telefona.
- Žiroskop – dodaje dodatnu dimenziju akcelerometru praćenjem rotacije telefona.
- Senzor blizine (engl. *Proximity Sensor*) – koristi se za otkrivanje objekata u blizini telefona.
- Senzor svjetla – automatsko podešavanje svjetline zaslona radi uštede baterije.
- Senzor otiska prsta – koristi se za čitanje otiska prsta radi otključavanja uređaja.
- Digitalni kompas – pomaže telefonu da pronađe smjer radi navigacije itd.

Senzorska fuzija podrazumijeva spajanje više senzora zajedno kako bi se dobili točniji podaci. Najbolji primjer za to su senzori u pametnim telefonima. Za prepoznavanje lokacije podaci dobiveni iz akcelerometra, žiroskopa i magnetometra se kombiniraju kako bi pružili točnije podatke nego što bi to dobili sa samo jednim sensorom.



Slika 5.5. Arhitektura pametnih mobitela (SoC). [11]

5.3. Smart senzori u zrakoplovima

Senzori, elektronički sklopovi, moduli i prilagođeni sustavi imaju veliku utjecaj na kvalitetu, ekonomsku učinkovitost i sigurnost u avionima. Ekstremni uvjeti okoline kao što su promjene temperature, ubrzanja i vibracije postavljaju vrlo visoke zahtjeve za pouzdanost i otpornost uređaja. Istodobno, sustavi moraju biti mali, lagani i sofisticirani. Senzori u avionu predstavljaju primjer upotrebe naprednih senzora i njihove povezanosti u jedan sustav. (Sl. 5.6.) Senzori u avionu pomažu posadi prilikom leta, daju im informacije i okolini, motorima, unutrašnjosti aviona itd.

Neki od senzora koji se koriste u avionima su:

- Senzor kočnica
- Senzor vibracija
- Senzor tlaka
- Senzor temperature
- Senzor visine
- Senzor vlažnosti itd.



Slika 5.6. Smart senzori u avionu. [13]

6. ZAKLJUČAK

Smart senzori predstavljaju napredne tradicionalne senzore koji se integriraju zajedno s komunikacijskim sučeljem, mikrokontrolerima koji omogućuju nove funkcije i primjene. Koriste se u svim aspektima života za otkrivanje i/ili mjerenje različitih uvjeta. S vremenom osjetljivost senzora postaje sve veća, dimenzije se smanjuju, selektivnost je postala bolja, a cijene se smanjuju. Sadašnji trend senzorskih tehnologija ide u smjeru tehnologija mikro elektromehaničkih sustava (engl. *micro electromechanical systems - MEMS*).

Koncepti Internet stvari/Industrijski Internet stvari/Digitalizacija imaju isto značenje, a koji od njih se koristi, ovisi o kojem je tržištu riječ. To je koncept koji predstavlja povezivanje uređaja i njihovu komunikaciju. Smart senzori u Internetu stvari (IoT), industrijskom IoT-u, digitalizaciji imaju glavnu ulogu i široku primjenu zahvaljujući smanjenju dimenzija i cijene.

Suvremeni svijet ispunjen je naprednim uređajima koji se sastoje od smart senzora, povezanim s mrežom. Zbog smanjenja cijena i dimenzija elektroničkih uređaja, želje za prijenosnim, bežičnim uređajima s mogućnosti komunikacije, koncepti IoT/IIoT/Digitalizacija i smart senzori aktualna tema u svijetu i predstavljaju tehnološku budućnost svijeta iako postoje izazovi vezani za ove koncepte kao što su sigurnost, privatnost, upravljanje i analiza podataka.

LITERATURA

- [1] J.Fraden, Handbook of Modern Sensors, Physics, Designs, and Applications, Fifth Edition, Springer, Switzerland, 2016.
- [2] IEC White Paper, Internet of Things: Wireless Sensor Networks, IEC, Switzerland, 2014.
- [3] K.Rose, S.Eldridge, L.Chapin, The Internet of Things: An Overview, ISOC, Switzerland, 2015.
- [4] R.Frank, Understanding Smart Sensors, Third Edition, Artech House, USA, 2013.
- [5] TE Sensor Applications & Solutions, <http://www.te.com/usa-en/industries/sensor-solutions/applications.html?tab=featured-applications> (pristup: 17.9.2018.)
- [6] P.Raj, A.C.Raman, The Internet of Things Enabling Technologies, Platforms, and Use Cases, Taylor&Francis Group, CRC Press, USA, 2017.
- [7] M.Airaksinen, M.Kokkala, Smart City Research Highlights, VTT, Finland, 2015.
- [8] The Equitable City – A New Name For New York, <https://www.smartcity.press/new-yorks-smart-city-initiatives/> (pristup 20.9.2018.)
- [9] Ž.Bačić, Sensor Systems for Smart Cities, Tehnički vjesnik, Vol.25 No.1, str. 277.-284., Veljača 2018.
- [10] Guide to smartphone hardware, <https://www.neowin.net/news/guide-to-smartphone-hardware-37-memory-and-storage/> (pristup: 1.9.2018.)
- [11] What's inside my smartphone?, <https://fossbytes.com/whats-inside-smartphone-depth-look-parts-powering-everyday-gadget/> (pristup: 5.9.2018.)
- [12] Samsung Galaxy S9 – Sensors, <https://www.devicespecifications.com/en/editor-review/b9e76e/7> (pristup: 5.9.2018.)
- [13] Innovative solutions for the automation of industry, <https://www.first-sensor.com/en/applications/industrial/aerospace/> (pristup: 18.9.2018.)
- [14] Stable Control of Water Supply and Drainage for Water Tanks, <http://www.ia.omron.com/products/applications/case/277.html> (pristup: 5.6.2018.)

- [15] Intro to Sensors, <http://engineering.nyu.edu/gk12/amps-cbri/pdf/Intro%20to%20Sensors.pdf> (pristup: 18.9.2018)
- [16] Sensors & encoders, https://www.automationdirect.com/adc/Overview/Catalog/Sensors_-_Encoders (pristup: 1.9.2018.)
- [17] Vehicle sensor in a connected car, <https://www.behance.net/gallery/51718817/Connected-car> (pristup: 18.9.2018.)
- [18] General Architecture of Smart Sensor, https://www.researchgate.net/figure/General-Architecture-of-Smart-Sensor_fig2_281765290 (pristup: 20.9.2018.)
- [19] System on Chip, <https://www2.informatik.hu-berlin.de/~iks/Studienarbeit/node14.html> (pristup 17.9.2018.)
- [20] Smart Sensor System Design, https://ieee-sensors.org/wp-content/uploads/2011/archive/Tutorials/Yurish/Yurish_course.pdf (pristup: 18.9.2018.)
- [21] Internet of Things communication, <https://www.postscapes.com/internet-of-things-technologies/#communication> (pristup: 20.9.2018.)
- [22] Internet of Things, <https://www.kernelsphere.com/role-sensors-internet-things/> (pristup: 20.9.2018.)
- [23] Production 4.0: Audi plans for the smart factory, <https://www.autoblog.com/2015/07/21/audi-smart-factory-production-4-0/?guccounter=1> (pristup: 20.9.2018.)
- [24] Intelligent City Parking Solutions, <https://www.siemens.com/content/dam/webassetpool/mam/tag-siemens-com/smdb/mobility/road/parking-solutions/integrated-smart-parking/documents/smart-parking-brochure2.pdf>, (pristup: 21.9.2018.)

SAŽETAK

Napredni „smart“ senzori imaju široku primjenu u Internetu stvari (engl. Internet of Things - IoT), industrijskom internetu stvari i digitalizaciji. Smart senzori imaju glavnu ulogu u ovim konceptima. Za razliku od tradicionalnih senzora, smart senzori imaju više funkcija i mogućnost bežičnog povezivanja. Zahvaljujući razvoju proizvodnje mikro elektroničkih komponenti i smanjenju cijene napredni senzori imaju široku primjenu. Internet Stvari/Industrijski IoT predstavljaju mrežu naprednih uređaja koji su povezani i imaju mogućnost komunikacije. Koncept IoT, IIoT, digitalizacija, napredni senzori i mrežne tehnologije predstavljaju tehnološku budućnost svijeta, iako postoji puno neobjašnjenih pitanja u vezi ovih koncepata kao što su sigurnost, privatnost, upravljanje i analiza podataka.

Ključne riječi: Smart senzori, Internet stvari, Industrijski Internet stvari, Digitalizacija, MEMS, bežična senzorska mreža, WSN.

ABSTRACT

SMART SENSORS FOR APPLICATION IN IIOT/INDUSTRY 4.0./DIGITALIZATION

Advanced „smart“ sensors have a wide range of application in the Internet of Things (IoT), Industrial Internet of Things and Digitalization. Smart sensors have a major role in these concepts. Unlike traditional sensors, smart sensors have more functionality and wireless connectivity capability. Thanks to the development of the production of micro eletromechanical systems (MEMS) and reduction of prices smart sensors have wide application. Internet of Things/Industrial IoT are a network of advances devices that are conncted and have the ability to communicate. The concept of IoT, IIoT, Digitalization, smart sensors and network technologies are the technological future of the world, although there are many unanswered questions about these concepts such as security, privacy, dana management and analysis.

Key words: Smart sensors, Internet of Things, IoT, Industrial Internet of Things, IIoT, Digitalization, MEMS, Wireless sensor network, WSN.

ŽIVOTOPIS

Dario Antunović rođen je 18. travnja 1996. godine u Vinkovcima. U Privlaci završava osnovnu školu Stjepana Antolovića. Nakon toga upisuje Ekonomsku i trgovačku školu Ivana Domca u Vinkovcima. Nakon završene srednje škole, 2015. godine upisuje stručni studij Automatike na Elektrotehničkom fakultetu u Osijeku (danas: Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek).

Dario Antunović
