**Senzori u robotici**

Da bi robot mogao raditi samostalno, bez obzira na nivo samostalnosti, on mora biti „svestan“ sebe i svoje okoline. Preciznije rečeno, robot mora imati mogućnost merenja sopstvenog položaja i brzine kao i merenja različitih veličina u radnoj okolini čime stiče predstavu o spoljnom prostoru.

Različiti merni uređaji i sistemi kojima robot dobija informacije o sebi i okolini nazivaju se senzori. Danas su to uređaji za merenje ugaonog i translatornog pomeranja, različiti senzori dodira, uređaji za merenje rastojanja, sile, ubrzanja i sl. Posebnu klasu senzorskih sistema čine vizuelni sistemi, danas već često u upotrebi. Kako se od robota u budućnosti očekuje izuzetna samostalnost, to je neophodan uslov značajan napredak u senzor-skoj tehnici kao što je, na primer, čulo dodira sa mogućnošću određivanja glatkoće i mekoće površine, trodimenzionalna vizija, čulo sluha sa prepoznavanjem govora itd.

Već smo rekli da robot posredstvom senzora dobija podatke o sebi i o okolini. Podatke o sopstvenom položaju i brzini robot dobija merenjem pomeranja u zglo­bovima i brzina tih pomeranja. S obzirom na to da se mere takozvane unutrašnje koordinate i brzine, odgovarajuće merne uređaje nazivamo unutrašnjim senzorima. Postoje i uređaji koji mere različite veličine vezane za odnos robota i spoljašnje sre­dine (na primer, udaljenost od prepreke itd.). Takve uređaje nazivamo spoljašnjim senzorima.

Unutrašnji senzori postojali su već kod prvih tipova robota. Naime, merenje položaja i brzine neophodno je za realizaciju bilo kakvog servosistema. Takvi sen­zori i danas postoje kod svih robota. Ako pretpostavimo da savremeni robot ima upravljačku shemu sa više nivoa, tada unutrašnji senzori obezbeduju informacije za rad najnižeg nivoa (servosistemski nivo). Spoljašnji senzori po pravilu daju informacije za više nivoe upravljanja i na osnovu njih se donose odluke.

Navedimo još jednu podelu senzora. Jedna vrsta su takozvani merni pret­varači (engl. transducets). To su uređaji koji jednu fizičku veličinu (onu koju želimo izmeriti) pretvaraju u drugu. Primer je potenciometar koji pomeranje pre­vodi u električni napon. Dobijeni napon po određenom zakonu odgovara merenom pomeranju. Tada kažemo da je dobijena informacija o pomeranju u analognoj formi. Da bi se utvrdila tačna zavisnost pomeranja i napona, neophodno je izvršiti kalibraciju ovakvih uređaja. Ukoliko se upravljanje sistemom realizuje digitalno, tada je neophodno analognu informaciju prevesti u digitalni oblik koji će prihvatiti upravljački računar. Elektronski sklopovi koji određenu vrednost napona (analogna informacija) prevode u digitalnu formu nazivaju se analogno-digitalni (A/D) konvertori. Oni na izlazu daju brojnu vrednost merene veličine u binarnom sistemu. Kada govorimo o analogno-digitalnoj konverziji napomenimo da postoji i obrnuti postupak, kada se brojni podatak o električnom naponu (digitalni podatak) pre­vodi u sam napon (analogna forma). Radi se, dakle, o digitalno-analognoj (D/A) konverziji, a elektronski sklopovi koji realizuju ovu konverziju nazivaju se D/A konvertori.

Druga vrsta senzora daje odmah digitalnu vrednost merene veličine.

**Potenciometar**

Potenciometrom možemo meriti translatorna i ugaona pomeranja. Princip merenja je zasnovan na linearnoj zavisnosti električne otpornosti provodnika od njegove dužine. Zato se potenciometar sastoji od otpornika i klizača. Na slici su prikazani potenciometri za merenje translatornog i ugaonog pomeranja. Prika­zana shema omogućava merenje pozitivnih i negativnih pomeranja.



Da bi se dobila informacija o položaju, potrebno je izmeriti napon U. Za takvo merenje potrebno je vezati voltmetar između tačaka A i C. Voltmetar mora imati veliku unutrašnju otpornost da bi se zadovoljila pretpostavka da kroz klizač CC’ ne protiče struja. Potenciometar daje podatak o položaju zgloba u analognoj formi.

**Rezolver**

Osnovne ideje rada rezolvera objasnićemo na primeru rezolvera sa dva namotaja, jedan na statoru (S — S) i jedan na rotoru (R— R). Namotaji su motani kako je to prikazano na slici. Sa slike vidimo da se magnetno sprezanje namotaja menja pri obrtanju rotora. Ako na stator dovodimo naizmenični napon,  tada će se na rotoru indukovati napon,                          tj.  dobiće se naizmenični napon čija amplituda zavisi od ugla obrtanja rotora . Na ovaj način je, dakle, moguće meriti ugao  .



**Apsolutni i inkrementalni enkoder**

a) Apsolutni enkoder. Objasnimo princip rada ovog uređaja za merenje ugla. Glavni deo uređaja je disk koji je vezan za ulaznu osovinu čiji se ugao obrtanja meri. Potrebno je izmeriti ugao obrtanja diska. Na disku se nalazi nekoliko koncentričnih putanja, a na svakoj od njih smenjuju se prozirna i neprozirna polja. Pri tome, na raznim putanjama razmaci su različiti.



Na jednom mestu na disk pada svetlosna linija koja ide od centra na obodu i preseca sve koncentrične putanje. Duž iste linije, ali ispod diska, pos­tavljen je niz fotodetektora tako da se po jedan nalazi ispod svake koncentrične putanje. Sa slike se vidi da će, duž svetlosne linije, negde da se nade prozirno, a negde neprozirno polje. Kroz neku od koncentričnih putanja svetlost će proći, a kroz neke ne. Fotodetektori registruju da li je kroz neku putanju prošla svetlost ili ne. Ako sa 0 označimo detektor koji nije registrovao svetlost, a sa 1 onaj koji jeste i ako detektore posmatramo od oboda ka centru, tada ćemo dobiti niz nula i jedinica. U primeru na slici, dobićemo niz 0100. Ovaj niz predstavlja traženu vrednost ugla izraženu u binarnom brojnom sistemu. Ako se sada ulazna osovina i disk obrnu, promeniće se raspored prozirnih i neprozirnih polja na koje pada svetlost. Tada ćemo dobiti drugačiji niz nula i jedinica, odnosno drugu vred­nost ugla. Na izlazu uređaja dobijamo vrednost izmerenog ugla u binarnom kodu, dakle, informaciju o uglu u digitalnom obliku.

Umesto ploče sa prozirnim i neprozirnim poljima može se koristiti ploča sa prorezima ili, pak, ploča sa ogledalima kada detektor registruje odbijeni zrak.

Treba ukratko objasniti i način funkcionisanja fotodetektora. To je element koji, ako se osvetli, proizvodi električni napon od na primer 2,5 V. Uređaj meri napon na svakom detektoru i ako se pojavi 2,5 V smatra se da je detektor osvetljen i pridružuje mu se binarna cifra 1. Ako napona nema, onda tome detektoru odgovara cifra 0.

b) Inkrementalni enkoder. Ovaj enkoder je takođe optički uređaj za merenje ugla. Osnovni deo uređaja je disk koji je vezan za ulaznu osovinu čiji ugao obrtanja merimo. Na disku se nalazi niz zareza (ili prozirnih površina) kao što je prikazano na slici. Uglovni razmak između svaka dva zareza je = 2/K, gde je K ukupni broj zareza.



Sa jedne strane diska nalazi se svetlosni izvor, a sa druge strane foto-detektor. Disk je neprozirnog materijala dok kroz zareze svetlosni snop može da prođe. Disk se obrće zajedno sa ulaznom osovi­nom i pri tom obrtanju fotodetektor će registrovati svetlost svaki put kad snop svetlosti naiđe na zarez. Na taj način do­bija se signal u obliku naponskog impulsa svaki put kada se ugao obrtanja poveća za. Sam optički deo instrumenta ne daje vrednost ugla, već samo signalizira priraštajugla.Zato se uz optički deo do­daje elektronski brojač koji broji impulse dobijene od fotodetektora.

**Tahogenerator**

Ovaj uređaj je po konstrukciji sličan motoru jednosmerne struje sa stalnim magnetima. Funkcija mu je, međutim, obratna, ovde radi kao generator. Radi se o tome da svaki motor može biti istovremeno i generator. S obzirom na to da je konstrukcija ista, to će i jednačine koje opisuju ponašanje ovog uređaja biti iste kao za motor jednosmerne struje.



**Binarni senzori dodira**

Ovi uređaji signaliziraju dodir sa nekim predmetom. Konstruktivno, u pi­tanju su najčešće različite vrste mikroprekidača. To su, posle senzora položaja i brzine, prvi senzori korišćeni u robotici. Najčešće se koriste kao senzori hvatanja tako što se postavljaju na unutrašnju stranu prstiju hvataljke. Robot sada „zna“ da li je uhvatio predmet ili ne. Ovi senzori se mogu koristiti i kao spoljašnji senzori. Postavljeni na spoljašnju stranu hvataljke oni omogućavaju robotu da pipajući iz-begava prepreke ili pronalazi traženi predmet. Međutim, za ove namene razvijeni su znatno savršeniji sistemi, pa binarni senzori dodira uglavnom ostaju u upotrebi kao senzori hvatanja. Ipak, i tu dobijaju veće mogućnosti. Površinski raspoređeni, oni formiraju senzorski sistem koji omogućava i identifikaciju oblika uhvaćenog predmeta. Na slici je prikazana hvataljka opremljena površinskim binarnim sistemom dodira.



**Podela senzora sile**

Merenje sile može se zasnivati na dva različita pristupa. U prvom pristupu. koriste se materijali koji pod dejstvom sile, dakle, kada su mehanički napregnuti, menjaju neke svoje fizičke osobine, na primer, električnu otpornost, dielektričnu konstantu itd.

Drugi pristup zasniva se na merenju elastične deformacije. Ovakvi merni uređaji sadrže bar jedan elastični elemenat. Pod dejstvom sile elastični elemenat se deformiše, pa se tako dobija pomeranje koje sadrži podatak o primenjenoj sili. Često je deformacija proporcionalna sili. Tako, merenjem pomeranja merimo pos­redno silu. Uređaji koji na ovaj način mere silu veoma se razlikuju zbog toga što se merenje pomeranja može izvesti na niz različitih načina.

**Senzori sa materijalima koji reaguju na mehanička naprezanja**

Materijali koji pod dejstvom mehaničkog napona i deformacije menjaju svoje fizičke osobine omogućavaju direktno merenje sile. Najčešće se koriste tzv. piezorezistivni materijali tj. oni koji menjaju specifičnu električnu otpornost kada su izloženi mehaničkom naponu i deformaciji.

Jedan od piezorezistivnih materijala je silicijum i on se koristi za izradu sen­zora koji se nazivaju poluprovodničke merne trake. Silicijum se oblikuje u male trake koje se izlažu istezanju. Pri tome dolazi do povećanja dužina trake () i to je jedan od uzroka promene njene otpornosti. Drugi uzrok leži u promeni spe­cifične otpornosti () silicijuma. Ovaj drugi efekat je kod poluprovodničkih traka znatno važniji od prvog. Promena otpornosti usled promene  višestruko je veća od promene otpornosti usled promene .

Silicijumu koji se koristi za izradu traka dodaju se različite primese (dopiranje) čime se smanjuje osetljivost senzora na temperaturu ali se istovremeno smanjuje i osetljivost za merenje malih sila. Postoje i drugačije merne trake – otporničke, kod kojih je dominantan uticaj promene dužine.

Osim silicijuma, postoje i drugi piezorezistivni materijali. Obično su u pi­tanju različiti izolatori ili slabi poluprovodnici kojima se dodaju čestice provod­nika. Koristi se, na primer, guma impregnirana zrncima grafita. Piezorezistencija se manifestuje na sledeći način: kada se guma pritisne, dolazi do njenog ugibanja i grafitna zrnca se zbiju jedno uz drugo, što izaziva smanjenje električne otpornosti. Promena otpornosti zavisi od deformacije, pa tako i od primenjene sile. Osnovni nedostatak ovakvog sistema je njegova prilično strma karakteristika. Naime, do određene vrednosti sile grafitna guma se ponaša kao izolator, da bi nakon prelaska te vrednosti (praga) senzor dosta brzo stigao u zasićenje i ponašao se kao provodnik konstantne otpornosti. Zbog ovakve karakteristike smanjena je mogućnost merenje različitih sila. Tako se ovaj senzor približava karakteristikama binarnih senzora koji detektuju samo prisustvo sile.

Druga grupa materijala (različite polimerne plastike) pokazuje osobinu pro­mene dielektrične konstante u prisustvu mehaničkog naprezanja. Ovi materijali koriste se za izradu kapacitivnih senzora sile, no oni još nisu u široj primeni.

Specifičnu grupu senzora sile čine senzori zasnovani na korišćenju piezoelektričnog efekta. Ovaj naziv označava pojavu da određeni materijali, kada se izlože dejstvu sile, proizvode na svojim krajevima potencijalnu razliku – električni na­pon. Merenjem ovog napona možemo odrediti i silu. Ovde, međutim, treba biti precizniji: piezoelektrični materijali reaguju na promenu sile. U dopuni još treba naglasiti da dobijeni napon relativno brzo opada i konačno nestaje. Na primer, ako senzor opteretimo silom F, pojaviće se na njegovim krajevima napon U, koji će potom opadati do nule, iako sila još uvek dejstvuje. Ako sada ukinemo silu, senzor će na ovu promenu reagovati stvarajući napon -U. Tako detektujemo promenu sile -F. Zbog ovakvih karakteristika, piezoelektrični senzori koriste se uglavnom za različita dinamička merenja.

**Merenje sile na osnovu elastične deformacije**

Već je ranije istaknuto da ovakvi merni uređaji sadrže bar jedan elastični elemenat. To može biti opruga, neki konzolni elemenat ili bilo koja druga deformabilna struktura. Sila koja se meri dejstvuje na taj elemenat izazivajući njegovu deformaciju. Ovu deformaciju najčešće merimo tako da je svedemo na neko translotorno pomeranje ili promenu neke dužine. Senzori ove vrste razlikuju se međusobno po načinu merenje ovih pomeranja.

**Otporničke merne trake**

Ovi senzori mere pomeranje na osnovu promene električne otpornosti pri promeni dužine otpornika. Traka se sastoji od otporne žice savijene kao što je prikazano na slici i zatim postavljene na savitljivu podlogu oblika trake. Ukoliko se traka isteže, povećava se dužina žice, a time i otpornsot. Otpornost dopunski raste i usled promene specifične otpornosti ali je prvi efekat dominantniji. Promena otpornosti meri se mernim mostom.





Na slici je prikazan jedan mogući način merenja sile i momenta. Kao elastični elemenat koristi se elastična greda, a trake se postavljaju u parovima (par 1,1 i par 2,2). Primer pokazuje da se isti uređaj može koristiti i za merenje sile i za merenje momenta. U slučaju dejstva sile (sl. 11b), trake 1 i 2 će se izdužiti, a trake 1 i 2 skratiti. Par 1,1 određuje deformaciju levog dela grede, a par 2,2 deformaciju desnog dela. Trake koje sačinjavaju par vezuju se, pri merenju otpornosti, diferencijalno kako bi se postigla temperaturska i druga kompenzacija. Promena otpornosti je tada

R = R“ – R’ =R+R“ -(R-R) = R“ + R’

**Induktivni i drugi pretvarači**

Na slici je prikazan princip merenja sile zasnovan na merenju pomeranja induktivnim pretvaračem. Kao elastični elemenat koristi se elastična membrana. Pod dejstvom sile, membrana se ugiba i time se pomera jezgro kalema. Pomeranjem jezgra menja se induktivnost kalema. Tako se merenjem induktivnosti određuje vrednost sile.



Na sličan način može se formirati i kapacitivni pretvarač. Radi se o promeni kapacitivnosti kondenzatora pri pomeranju unutrašnje obloge.

**Senzori blizine**

Senzori blizine detektuju prisutnost nekog objekta u svojoj blizini. Oni su predviđeni da rade kao binarni uređaji koji daju signal ukoliko je neki predmet unutar zadate zone. Granično udaljenje na kome senzor daje signal može biti različito, od nekoliko milimetara, pa do jednog metra i više.

Radna karakteristika senzora ne mora biti binarna. Njihov izlazni signal često je funkcija udaljenja ali, po pravilu, nedovoljno pogodna da bi omogućila merenje udaljenja. Zato se prateća elektronika projektuje tako da se istakne binarni karakter senzora.

Naznačićemo nekoliko pristupa detektovanju blizine.

Induktivni senzori detektuju prisustvo metalnih predmeta na osnovu promene induktivnosti. Funkcionisanje senzora može se objasniti slikom. Ako u blizini nema metalnih predmeta slučaj (a) formira se određeno magnetno polje stalnog magneta karakterisano magnetnim linijama. Ako se približi, na primer, gvozdeni predmet slučaj (b), magnetne linije se izdužuju. Pri tome one presecaju namotaje kalema i u kalemu se indukuje elektromotorna sila koju možemo detektovati.



**Senzori rastojanja**

Merenje rastojanja u tesnoj je vezi sa opštim problemima vizuelnih sistema. U ovom odeljku, međutim, obradićemo neke uređaje ističući, pre svega, njihovu funkciju daljinara (merenje rastojanja) bez obzira na to što se uz određene dopune ovi sistemi mogu koristiti i za dobijanje kompletne vizuelne informacije.

Udaljenost nekog predmeta ili podloge efikasno možemo meriti na bazi emi-tovanja talasa, a zatim prijema odbijenog signala. Upotreba ultrazvuka već je naznačena u prethodnom odeljku, pa ćemo se ovde ograničiti na uređaje koji ko­riste lasersku svetlost. Razmotrićemo dva načina korišćenja lasera: daljinare koji rade u impulsnom režimu i daljinare sa kontinualnim režimom rada.



Laserski daljinar sa impulsnim režimom sastoji se od predajnog i prijemnog optičkog sistema i merača vremena. Pomoću predajnog sistema laserski snop se usmerava na objekat čije se udaljenje meri. Laserska svetlost šalje se u impulsima. Jedan impuls, odnosno jedan kratki osvetljaj traje približno 0,05 s. Deo svetlosti odbijene od objekta vraća se i prihvata je prijemni optički sistem. S obzirom na to da je brzina svetlosti poznata, merenjem vremena T koje protekne od trenutka slanja svetlosnog impulsa do trenutka njegovog povratka dolazimo do zaključka kolika je udaljenost posmatranog objekta: d = cT/2. Način merenja vremena je specifičnost svakog konkretnog tipa daljinara. Zajedničko im je to da merenje mora biti veoma precizno s obzirom na veliku brzinu svetlosti, zbog čega su vremenski intervali koje treba meriti kratki. Na primer, da bi se postigla tačnost od 1 mm pri merenju daljine, rezolucija merača vremena mora biti čak 6,7 ps.

Ovi uređaji koji rade na principu impulsnog režima veoma su efikasni, ali se ne mogu koristiti za merenje manjih rastojanja. Ako bi, na primer, rastojanje bilo 3m, tada bi vreme putovanja svetlosti bilo 0,2 s što je već uporedivo sa dužinom trajanja samog svetlosnog impulsa, te se dovodi u pitanje tačnost merenja. Zato se za merenje manjih rastojanja koriste laserski uređaji sa kontinualnim režimom rada.

Laserski daljinar sa kontinualnim režimom rada sastoji se od predajnog i prijemnog optičkog sistema i merača faze. Ovoga puta predajni sistem neprekidno emituje lasersku svetlost. Ako se izmeri fazna razlika  između signala koji se emituju i primljenog odbijenog signala, može se odrediti pređeni put 2d. Faza signala koji se emituje je 2ft, gde je f frekvenca, a t vreme.



Pri ovakvom određivanju rastojanja neophodno je zadovoljiti uslov  < 2 da bismo obezbedili jednoznačno rešenje. Iz ovog uslova sledi d < /2 čime je određena najmanja udaljenost koja se može meriti. S obzirom na to da su talasne dužine laserske svetlosti male, ovakvo ograničenje bi onemogućilo praktičnu upot­rebu uređaja. Zato se daljinari sa kontinualnim režimom rada projektuju tako da predajni sistem emituje modulisanu svetlost i vrši se merenje fazne raz­like kod modulišućeg signala čija je talasna dužina znatno veća od talasne dužine laserske svetlosti.

**Ostala merenja**

Opisaćemo merenje još nekih fizičkih veličina. Merenje ubrzanja može se izvršiti posredno, merenjem inercijalne sile. Takav senzor sadrži teg koji, u slučaju ubrzanja, svojom inercijalnom silom opterećuje elemenat za merenje sile. Budući da je inercijalna sila proporcionalna ubrzanju, njenim merenjem smo omogućili izračunavanje ubrzanja. Kao elemenat za merenje sile može se koristiti, na primer, piezorezistivni poluprovodnik. Uređaji (senzori) kojima se meri ubrzanje nazivaju se akcelerometri.

Merenje temperature može se izvršiti na različite načine. Spomenućemo dve mogućnosti. Jedna se zasniva na korišćenju metalnih (na primer; platinskih) ter­mometara kod kojih se koristi efekat promene otpornosti sa temperaturom. Druga mogućnost je upotreba termosprega. Tu se koristi efekat pojave elektromotorne sile u kolu sastavljenom od dva različita metala kada se spojevi nalaze na različitim temperaturama. Pored ovih klasičnih metoda koristi se i niz savremenijih postu­paka merenja temperature.

Brzina pokretnog objekta može se meriti ultrazvučnim sistemom na bazi Doplerovog efekta. Prostorna orijentacija (ugaona) pri kretanju (npr. odstupanje od vertikale) vrši se na osnovu takozvanih žiroskopskih merenja.

Spomenimo, konačno, da se nekada ukazuje potreba za merenjem i raznih drugih fizičkih veličina kao što je, na primer, brzina fluida (merenje Pitoovom cevi) koncentracija nekog gasa ili pare, itd.