



MERNO-AKVIZICIONI SISTEMI I UPRAVLJANJE

Gordana Bojković, Miroslav Nimrihter, Vera Bajović
Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad
gocab@uns.ns.ac.yu, nimm@uns.ns.ac.yu, bajovic@uns.ns.ac.yu

Abstrakt: U ovom radu se podrazumeva da su i merno-akvizicioni sistem i upravljanje automatski, tj. računarima podržani, kao i da se pojmovi vezuju isključivo za tehničke sisteme. Pažnja je usmerena na najniži nivo informaciono-upravljačkog sistema, merno-akvizicioni sistem, od čijeg kvaliteta zavisi kvalitet svakog višeg nivoa, a time i kvalitet tehničkog sistema u celini. Posebno se razmatra uticaj merno-akvizicionog sistema na način rešavanja problema tehničke dijagnostike, koja je izuzetno važan činilac u sistemu za kontrolu i upravljanje, jer omogućava ne samo ispravnost nego i pravovremenost preduzetih akcija u procesu regulacije. Ovde se misli pre svega na ranu dijagnostiku, čija je efikasnost uslovljena podacima obezbeđenim u okviru automatskih procesnih merenja.

Ključne reči: merenje, akvizicija, pretvarači, inteligentni pretvarači, upravljanje, industrijska dijagnostika

1. UVOD

Automatsko upravljanje tehničkim sistemima u suštini je hijerarhijsko. To važi za bilo koji tip (elektro-distributivne mreže, gasovodne i naftovodne mreže, industrijski sistemi) i bilo koju veličinu tehničkog sistema.

Hijerarhija je zastupljena u strukturi ukupnog informaciono-upravljačkog sistema (IUS-a), koji se, u najgrubljem, sastoji od tri osnovna podsistema. Navedeni u hijerarhiji od nižeg ka višem, tri sastavna dela (podsistema) automatskog informaciono - upravljačkog sistema su:

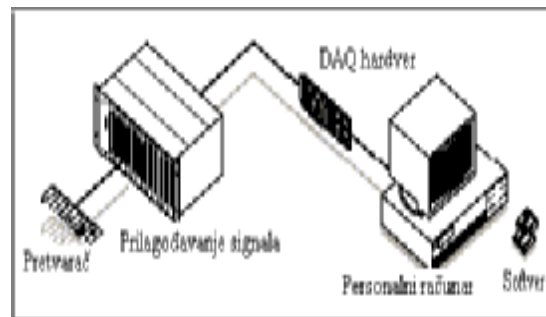
- merno-akvizicioni sistem (skr. MAS),
- simulacioni model (skr. SM) i
- nadzorno-upravljački sistem (skr. NUS), koji obuhvata i automatsku (tehničku) dijagnostiku.

U ovom radu pažnja je usmerena na najniži nivo, merno-akvizicioni sistem, od čijeg kvaliteta zavisi kvalitet svakog višeg nivoa, a time i kvalitet i samog tehničkog sistema u celini. Ukoliko MAS obezbedi potreban i dovoljan broj mernih podataka moguće je realizovati adekvatan SM koji je, zajedno sa mernim podacima, preduslov za realizaciju NUS-a potrebnog

kvaliteta. Konstatacije date u predhodnoj rečenici biće razmatrane u poglavljima koja slede.

2. MERNO-AKVIZICIONI SISTEM

Na Slici 1 je data osnovna, klasična, šema automatskog merno-akvizicionog sistema. Merenje neelektričnih veličina značajnih za proces podrazumeva da se neelektrična veličina preko senzora transformiše u električnu veličinu - napon, koji se dalje podešava u bloku za podešavanje analognih signala. Podešavanje signala obuhvata potrebno pojačanje, filtriranje i prilagođavanje ulaznom naponskom opsegu analogno-digitalnog konvertora. Dobijeni digitalni signal se pomoću nekog tipa računara (personalni, industrijski, ili u najjednostavnijim slučajevima MAS-a mikrokontroler) dalje obrađuje u skladu sa programom. Slikom 1 nisu obuhvaćeni senzori koji neelektričnu veličinu pretvaraju u vremenski period ili frekvenciju srazmernu vrednosti neelektrične veličine.



Slika 1.

U kategoriju veličina pogodnih za električna merenja spadaju, uglavnom, četiri veličine i to: napon, struja, frekvencija i vreme. Poslednje dve su od posebnog značaja jer se mogu direktno digitalno meriti bilo uz računarsku podršku, bilo bez nje.

Do sada pominjani senzori su tzv. konvencionalni ili klasični senzori. Izlaz senzora je analogna veličina, a sam postupak konverzije neelektrične u električnu veličinu ne obuhvata računarsku podršku, ili, kako bi se to u datom trenutku

reklo, ne uključuje nikakav vid inteligencije. Gruba klasifikacija konvencionalnih senzora je data Tabelom 1.

Tabela 1. Klasifikacija konvencionalnih mernih senzora

Izlaz iz senzorskog elementa	Davač	Izlazna veličina iz senzora
otpornost induktivnost kapacitivnost	Most sa jednosmernim ili naizmjeničnim napajanjem	napon ili struja
napon ili struja	najčešće integrisana kola	napon ili struja
induktivnost kapacitivnost	LC oscilator	frekvencija
kapacitivnost	integrator	vreme

U tabeli 1 se koriste pojmovi senzorski element i davač, čije je značenje uglavnom poznato. Ipak, smatramo da ih treba bliže odrediti uzimajući u obzir i nešto šire pojmove kao što su : pretvarač, merni pretvarač, aktuator, ulazni pretvarač i, najzad, izlazni pretvarač, sa kojima su povezani.

U literaturi se preciznije definisanje pomenutih pojmova sreće tek u poslednje vreme, paralelno sa pojavom *inteligentnih senzora*, kao i sa sve intenzivnijim shvatanjem značaja i mogućnosti procesnih merenja i merno-akvizicionih sistema u okvirima automatskog upravljanja.

U referencama [1] i [2], koje se tenutno mogu smatrati merodavnim, jer se baziraju na usvojenom standardu, pomenuti termini se koriste sa sledećim značenjem:

- *senzorski element* je deo u kome se vrši konverzija neke neelektrične veličine u električnu (termopar, termistor, merna traka itd.).

- *Davač* sačinjavaju električna ili elektronska kola (merni mostovi, integrisana kola idr.) u koja se ugrađuje senzorski elemenat, sa ciljem da se izvrši konverzija električne veličine koju daje senzorski elemenat (otpor, kapacitivnost, induktivnost) u električnu veličinu povoljniju za merenje i analognu obradu (izlazne veličine prema Tabeli 1). Kako se to popularno kaže, davač daje život senzorskom elementu.

- *Senzor* je deo u kome su objedinjeni senzorski elemenat i davač;

- *Pretvarač* je deo u kojem se jedan vid energije transformiše u drugi. Pod pojmom *pretvarač* podrazumevaju se dva dela: *senzor* i tzv. *aktuator*, gde se senzor naziva još i *ulazni pretvarač*, a aktuator se drugacije zove *izlazni pretvarač*. Ovakvo definisanje je posledica činjenice da se merenje neke neelektrične (procesne) veličine preko senzora (ulaz) vrši upravo zato da bi se na osnovu njene vrednosti donela odluka o povratnoj veličini, kojom se utiče na proces putem aktuatora (izlaz).

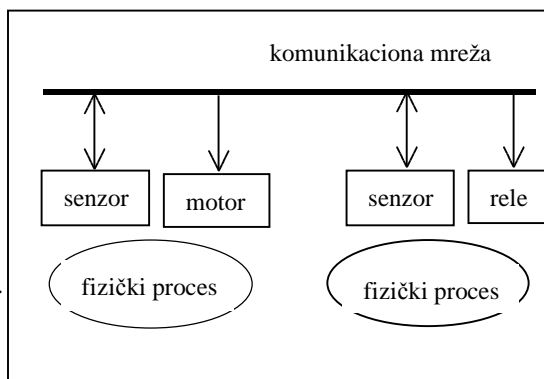
- *Aktuator* je, prema rečenom, deo koji električnu energiju pretvara u neelektričnu, deo preko kojeg NUS upravlja tehničkim sistemom.

Pomenute definicije datiraju od 1997. godine, kada je usvojen standard za povezivanje tzv. *inteligentnih pretvarača*, IEEE Std. 1451.2 - 1997 [1], jedan iz serije tzv. IEEE 1451 standarda. Usvajanjem navedenih definicija rešen je problem neusaglašenosti u korišćenju termina, koji je primoravao autore tekstova iz oblasti pretvarača, konkretnije mernih pretvarača, da uvek daju sopstvene definicije, kako bi se izbegli mogući nesporazumi.

Inteligentni senzori pored pretvaranja neelektrične u električnu veličinu pogodnu za merenje, vrše i dodatnu obradu sirovih mernih podataka, koja se sastoji u kondicioniranju analognih signala, njihovoj konverziji iz analognog u digitalni oblik i nakon toga dodatnoj digitalnoj obradi. Izlaz iz senzora je digitalni podatak. Posedovanje pomenutih funkcija, koje se jednim imenom zovu *inteligencija* senzora, omogućeno je ugradnjom računara, tipa mikroprocesora ili mikrokontrolera, kao i drugih elektronskih kola (konvertori, memorija idr) u sam senzor. S razvojem tehnologije, inteligentne funkcije se ugrađuju i u aktuatore.

Inteligentni pretvarač obuhvata pojmove *inteligentni senzor* i *inteligentni aktuator*.

Razvoj tehnologije omogućio je da se tehničkim procesom upravlja preko komunikacione mreže. Da bi se mreža za povezivanje inteligentnih pretvarača mogla da prilagodi već postojećim računarskim mrežama, razvijena je pomenuta serija standarda za povezivanje pretvarača preko mreže [1, 2], poznata kao IEEE 1451 serija. Standardi definišu pravila i za hardver i za softver pretvarača. Time i inteligentni senzori i inteligentni aktuatori mogu da se priključe na bilo koju konkretnu kontrolnu mrežu, preko standardizovanog interfejsa. Najnoviji predlog za standard IEEE 1451.4, koji je detaljno opisan referenci [1], zahteva da svaki pretvarač u okviru pridruženog mu softvera, između ostalog, poseduje i svoj identifikacioni broj, što dodatno pojednostavljuje ugradnju pretvarača u MAS.



Slika 2. Distribuirani MAS

3. OSLANJANJE VIŠIH NIVOVA IUS-a NA MERNIO-AKVIZICIONI SISTEM

Primenom računara u merenjima, omogućeno je automatizovanje mernog procesa, ali definicija merenja se nije izmenila. Bez obzira kako se izvodi, merenje je uvek i samo *određivanje vrednosti jedne fizičke veličine*. Međutim, arhiviranje mernih podataka, odnosno stvaranje baza sa mernim podacima, dalo je merenjima izuzetnu važnost u procesu upravljanja. U formiranju upravljačke reči učestvuju programi čiji trenutni rad zavisi od trenutnih mernih podataka, a sami programi su, realizovani uz veliku pomoć prethodno arhiviranih takođe **mernih** podataka, čijom se digitalnom obradom ekstrahuju dodatna znanja o tretiranom sistemu. Do sada rečeno odnosi se na oba viša nivoa IUS-a: simulacioni model i nadzorno-upravljački sistem.

3.1. Simulacioni model IUS-a

Simulacioni (računarski) modeli nekog procesa mogu biti kvantitativni, kvalitativni, funkcionalni ili nekog drugog tipa, u zavisnosti od vrste tehničkog sistema čije se ponašanje modeluje, tj. simulira programom. Cilj im je uvek isti: omogućavanje efikasne kontrole i upravljanja sistemom. Obavezni modeli su:

- model *normalnog* procesa, koji predstavlja idealno stanje, bez greške u funkcionisanju sistema i
- model *posmatranog* procesa, čiji su parametri realni (merni) podaci dobijeni od MAS-a.

Softver u okviru najvišeg nivoa IUSa, nadzorno-upravljačkog sistema, u radu koristi podatke dobijene od SM. U ovom radu to se pokazuje na primeru dijagnostike.

3.2. Nadzorno-upravljački sistem

Nadzorno-upravljački sistem omogućava praćenje stanja u procesu, automatsko dijagnosticiranje eventualnih poramećaja, donošenje *odluke* o akcijama koje treba preduzeti (uglavnom preko *aktuatora* u okviru MAS-a).

Automatsko upravljanje procesom se bazira na dijagnostici stanja. U okviru ukupne dijagnostike stanja, izuzetno je bitna *dijagnostika poremećaja*, pa se o tome nešto više govori u sledećem podpoglavlju.

3.2.1. Tehnička dijagnostika

Tehnička ili industrijska dijagnostika je deo sistema za nadzor i upravljanje. U okviru dijagnostike vrši se interpretacija informacija dobijenih od senzora, kako bi se doslo do procene stanja procesa i, zatim, na taj proceni zasnovane upravljačke odluke.

Prema referenci [4], postoje četiri koraka u procesu realizacije dijagnostičkog sistema. To su:

- Izbor odgovarajućih senzora
- Ekstrakcija osobina iz podataka prikupljenih preko senzora
- Poređenje osobina sa definisanim standardima
- Izbor procesa za donošenje dijagnostičke odluke

Prvi korak je izbor odgovarajućih senzora. Odgovarajući senzor u dijagnostičkom smislu je senzor kojim se obezbeđuje podatak od značaja za dijagnostiku. Naime, radi procene ispravnosti stanja sistema, potrebno je poznavati skup veličina na koje će prisustvo određenog poremećaja najviše uticati, tj. skup *osnovnih dijagnostičkih veličina* (ODV), [3]. Uloga MAS-a je da obezbedi pomenute podatke.

Digitalnom obradom arhiviranih podataka ODV obezbeđuju se dodatni podaci, tj. dodatne *osobine*, koje se upoređuju sa standardnim, programom zadatim vrednostima. Skup ODV dodavanjem novih veličina (osobina) prerasta u skup *dijagnostičkih veličina* (DV).

U zavisnosti od toga kako su realizovana poslednja dva koraka u procesu realizacije dijagnostičkog sistema, vrši se klasifikacija automatske tehničke dijagnostike na dve osnovne grupe: *algoritamska dijagnostika* (AD) i *dijagnostika zasnovana na znanju* (DZZ).

Treba istaći da izbor dijagnostičkog metoda, odnosno tipa dijagnostike, zavisi u najvećoj meri od toga koliko je tretirani sistem *pokriven merenjima*, kako je uobičajeno da se kaže, odnosno od toga kako je realizovan MAS.

Algoritamska dijagnostika pokriva onu grupu dijagnostičkih problema za čije je rešavanje moguće napisati algoritam za računarski program kojim je dijagnostika podržana. Uslov za primenu AD je obilje mernih podataka iz skupa ODV, poznavanje zavisnosti između pojedinih ODV i između ODV i nemerljivih stanja sistema.

Gruba klasifikacija algoritamske dijagnostike može da se izvrši na tzv. *dijagnostiku baziranu na signalima*, koja ne koristi simulacione modele i *dijagnostiku koja bazira na simulacionim modelima*.

Dijagnostiku baziranu na signalima koristi postupke digitalne obrade mernih signala (statistički, postupci filtriranja, estimacije, korelacije i dr.), a konačna odluka se donosi u skladu sa unapred zadatim graničnim vrednostima za DV. U ovu grupu dijagnostike spadaju i jednostavni postupci tzv. "alarma" i "trends", inače preovlađujući dijagnostički postupci i u neautomatskoj dijagnostici.

Više primenjivana i značajnija klasa postupaka u okvirima AD pripada *dijagnostici koja bazira na simulacionim modelima*. Postupcima iz ove klase koristi se softver realizovan u okviru SM. Naime, poređenjem DV modela *normalnog* procesa i DV modela *posmatranog* procesa generišu se funkcije odstupanja, tzv. reziduali, čije se vrednosti uvećavaju kada se pojavi greška, što upravo omogućava njenu detekciju. Primena simulacionih modela procesa omogućila je tzv. *ranu dijagnostiku*, koja se sastoji u otkrivanju grešaka u sistemu pre nego što kontrolne veličine izađu iz dozvoljenih granica. Prati se trend ne samo mernih ODV već i izvedenih veličina - osobina, kako bi se poremećaj detektovao dok je još sve na izgled u redu, tj. nisu detektovani alarmi. Drugačije rečeno, rana dijagnostika ne dozvoljava ni da sistem dođe u stanje koje bi se registrovalo alarmima. Ovo je izuzetno važno u sistemima kod kojih zaštita i bezbednost značajno zavise od vrednosti kontrolisanih veličina (npr. primer:

pritisak gasa u gasovodnoj mreži, potrošnja u elektrodistribuciji). Korišteni SM su uglavnom kvantitativni

Značajna osobina AD je visoka, "algoritamska", tačnost u donošenju odluke.

Dijagnostika zasnovana na znanju nastaje iz potrebe da se pod računarsku kontrolu stave i oni dijagnostički problemi za čije algoritamsko rešavanje nema dovoljno mernih podataka, ili se podaci znaju s nedovoljnom tačnošću, ili se u potpunosti ne znaju relacije između raspoloživih podataka i posmatranih stanja sistema, ili, što je najčešće, postoji sve navedeno. Treba objasniti konstataciju da se *najčešće* sve navedeno javlja istovremeno. Razlog tome je činjenica da se ODV često ne poklapaju sa kontrolnim veličinama u sistemu, jer se u velikom broju postojećih sistema rešavanju dijagnostičkih problema pristupilo tek kad je sistem realizovan i bio u operacionom stanju. Iako potreba za dijagnostikom postoji oduvek, kompleksnom rešavanju se moglo pristupiti tek kada je razvoj informacionih tehnologija to dozvolilo. I pored zatečenog stanja koje nije odgovaralo potrebama sa stanovišta AD, savremene informacione tehnologije su uspešno pritekale u pomoć; odnosno, jedan njihov deo: veštačka inteligencija, i bliže, *sistemi zasnovani na znanju (SZZ)*.

DZZ je oblast najintenzivnije primene SZZ. U zavisnosti od toga koji se tip SZZ koristi u dijagnostici, napravljena je klasifikacija DZZ na dve grupe: i) DZZ sa *empirijskim znanjem* i ii) DZZ sa *znanjem zasnovanim na modelu*.

Prva generacija SZZ, poznata pod imenom *ekspertni sistemi*, u oblasti dijagnostike pokušava da reši one probleme koji se ne mogu rešavati algoritamski, koristeći pri tome iskustvom i ekperimentom stečena znanja eksperata iz domena problematike. U dijagnostici, to su dijagnostički ekspertni sistemi *bazirani na empirijskom znanju*, najčešće predstavljenim u obliku pravila. U referenci [3] se pokazuje da su dijagnostički sistemi ovog tipa pogodni za manje složene probleme, koji se u potpunosti mogu pokriti pravilima. Ovo je tip dijagnostike koji može da se koristi ukoliko postoji potrebno empirijsko (ekspertsko) znanje i ukoliko je ekspert voljan i sposoban da ga izloži u formi eksplicitnih pravila. I pored navedenih ograničenja, dijagnostički sistemi zasnovani na empirijskom znanju se u velikoj meri primenjuju. Kao ilustracija može da posluži činjenica da je ceo broj časopisa "PROCEEDINGS IEEE" od maja 1992., referenca [4], posvećen primeni sistema tog tipa u elektro-energetskim mrežama.

Drugi tip DZZ koristi *znanje zasnovano na modelu*. U referencama [3] i [5] daje se potpuniji opis dijagnostičkih sistema tog tipa. Ukoliko nije moguće primeniti AD, a nema ni potrebnog i dovoljnog heurističkog tj. empirijskog znanja, poseže se za fundamentalnim znanjima o problemu, a takva znanja su u tehničkim sistemima najčešće implicitno sadržana u simulacionim modelima. Gradnja dijagnostičkog sistema počiva na intenzivnoj primeni alata iz oblasti veštačke inteligencije, s ciljem da se iz minimuma dijagnostičkih podataka izvuče maksimum informacija, pri čemu se koriste različiti postupci simulacije i različiti metodi za sintetizovanje nepostojećeg dijagnostičkog znanja. Što se

tiče samih postupaka za simulaciju događaja koji se retko dešavaju, pa arhivirani podaci koji bi im odgovarali ne postoje, simulacija je moguća samo ako postoje simulacioni modeli procesa. Neki od postupaka automatske sinteze znanja opisani su u referenci [5].

Može se reći da je upravo nedostatak mernih podataka doveo do potrebe za razvojem najsofisticiranijih dijagnostičkih metoda. S druge strane, **metodologija za gradnju dijagnostičkih sistema, razvijena za sisteme sa nedostatkom takozvane *apriorne* dijagnostičke informacije (malo i znanja i podataka), a zasnovana na primeni simulacionih modela i kompleksnih postupaka iz oblasti veštačke inteligencije, najveće rezultate daje kad se primeni u sistemima koji su građeni tako da ispune sve potrebne dijagnostičke zahteve.** Naglašeni tekst ukazuje na činjenicu koju treba imati u vidu kad se pod automatsku kontrolu stavljaju veliki industrijski sistemi, kao što su, naprimer, energetske distributivne mreže.

4. ZAKLJUČAK

Dat je kratak pregled značaja ispravnog projektovanja automatskih merno-akvizicionih sistema, koji su osnova za kompletan nadzor i upravljanje u tehničkim sistemima. Ukazano je na činjenicu da se zbog nedostatka mernih podataka, čija je direktna posledica nedostatak potrebnog dijagnostičkog znanja, morala da razvije metodologija za gradnju dijagnostičkih sistema koja se bazira na primeni svih raspoloživih sredstava iz oblasti obrade signala, veštačke inteligencije i sistema zasnovanih na znanju. Izuzetno dobre rezultate daje razvijena metodologija kada se primeni u sistemima sa dovoljnom dijagnostičkom informacijom, pod čim se podrazumeva i postojanje pravilno projektovanog MAS-a. Pravilno projektovan i realizovan MAS znači da postoji dovoljan broj pravilno odabranih i pravilno raspoređenih mernih mesta, sa zadovoljavajućom tačnošću merenja, sa mogućnošću arhiviranja i digitalne obrade mernih podataka. Investiranje u merno-akvizicioni sistem sa takvim osobinama je investiranje bez kojeg nije moguće postići zadovoljavajući kvalitet niti jednog tehničkog sistema

5. REFERENCE

- [1] Torben R. Licht, "The IEEE 1451.4 Proposed Standard", IEEE Instrumentation&Measurement Magazine, March 2001.
- [2] Kang Lee, "Smart Transducers (Sensors and Actuators), Interfaces and Networks", in: Clyde Coombs: "Electronic Instrument Handbook", McGrawHill, 1999.
- [3] Gordana Bojković, Vera Bajović, "Klasifikacija automatske (računarima podržane) tehničke dijagnostike", Elektrotehnika 5-6, 1997.
- [4] PROCEEDINGS IEEE, May 1992.
- [5] Vera Bajović, Gordana Bojković, "Sinteza i struktuiranje dijagnostičkog znanja primenom metoda mašinskog induktivnog učenja", Informacione tehnologije IT' 96, Žabljak, mart 1996.

MEASUREMENT-ACQUISITION SYSTEMS AND CONTROL