

Dr. sc. Mato Tudor

Pomorski fakultet u Rijeci
Studentska 2
51000 Rijeka

Pregledni članak

UDK: 629.5.083.4:004

Primljeno: 10. ožujka 2007.

Odobreno: 12. travnja 2007.

SAMOODRŽAVANJE BRODSKIH SUSTAVA

U radu je prikazan koncept samoodržavanja kod tehničkih brodskih sustava. Samoodržavajući sustavi su oni sustavi koji su tolerantni na greške te će i u slučaju pojave greške sami izvršiti održavanje te nastaviti s ispravnim radom. Pri tome se pod održavanjem ne misli na popravak ili fizičku zamjenu neispravne komponentne sustava. Samoodržavanje podrazumijeva vraćanje sustava, kod kojeg se pojavila greška, u njegovo ispravno funkcionalno stanje. Ovime se povećava raspoloživost sustava te smanjuju troškovi održavanja. U radu se razmatraju dva tipa samoodržavanja, kontrolni i funkcijsko-redundantni. Kod kontrolnog tipa, popravak se vrši podešavanjem različitih parametara koji utječu na rad sustava, dok se kod funkcijsko-redundantnog tipa povratak u ispravno radno stanje vrši reorganizacijom strukture sustava.

Ključne riječi: samoodržavanje, kontrolni tip, funkcijsko-redundantni tip

1. UVOD

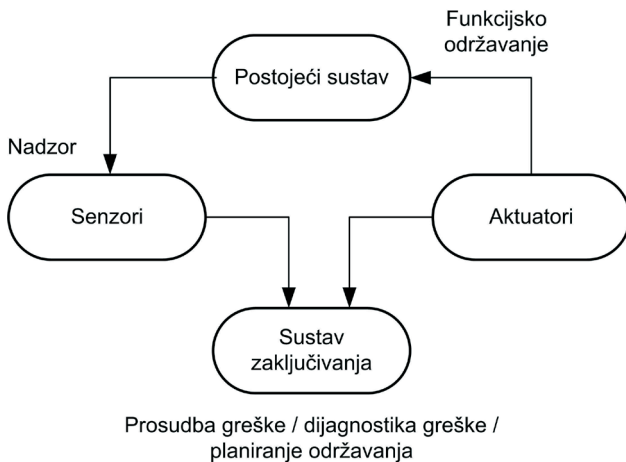
Kako bi se kod vitalnih sustava spriječilo da njihov ispad zbog pojave kvara na nekom uređaju uzrokuje nemogućnost broda da obavlja svoju zadaću, proizvođači takve uređaje nastoje dizajnirati ne samo da su tolerantni na pojavu greške [1], nego da je mogu i otkloniti. Uređaj s ugrađenim samoodržavanjem je uređaj koji može funkcionirati i u slučaju pojave greške. Pod tim pojmom se ne misli na popravak ili zamjenu neispravnih fizičkih dijelova nego na popravak funkcionalnosti sustava. To znači da se u slučaju greške, tj. primijećene razlike u funkciji uređaja, uređaj mora samoodržavanjem vratiti u ispravno funkcionalno stanje. Ovakvo održavanje se zove funkcijsko održavanje te je mnogo kompleksnije od fizičkog održavanja. Njegovom primjenom ne samo da se povećava raspoloživost sustava, poboljšava tolerantnost na greške, nego i smanjuju troškovi održavanja.

2. OSNOVE SAMOODRŽAVANIH SUSTAVA

Pretpostavka za implementiranje samoodržavanja na nekom sustavu je da je na njemu ugrađen sustav nadzora [2] i samodijagnostike. Stoga sustav s implementiranim samoodržavanjem mora imati ugrađenu sposobnost izvršavanja:

- nadzora
- prosudbe (procjene) greške
- dijagnosticiranja
- planiranja održavanja
- održavanja.

Na slici 1. prikazana je arhitektura sustava samoodržavanja. Preko senzora se nadziru zahtijevane funkcije sustava, dok se održavanje provodi preko aktuatora.



Slika 1. Arhitektura sustava samoodržavanja

Ugrađen sustav zaključivanja omogućuje izvršavanje prosuđivanja greške, dijagnosticiranja [3] i planiranja održavanja.

Ograničenja ovoga sustava je da su operacije održavanja ograničene na one koje ne zahtijevaju pričuvne dijelove. Ovo ograničava vrstu grešaka koja se može popraviti. Drugo ograničenje je da je izvršeno održavanje više ili manje privremena mjera. Samoodržavanje će samo odgoditi fizičko održavanje, neće ukloniti stvarne fizičke uzroke kvara što znači da se oni moraju naknadno ukloniti fizičkim održavanjem.

Uzimajući u obzir gornja ograničenja razlikuju se dva pristupa, kontrolni i funkcijsko-redundantni.

Kontrolni tip

Određena vrsta popravka na sustavu se može izvršiti samopodešavanjem radnog stanja bez mijenjanja ili reorganizacije strukture sustava. Ovaj tip održavanja je ostvariv na način da se preko aktuatora obnavlja cijela ili jedan dio zahtijevane funkcije.

Funkcijsko-redundantni tip

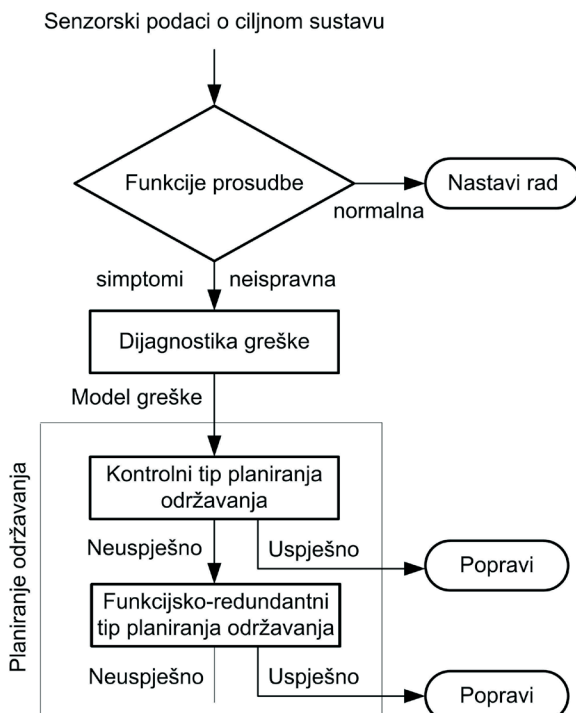
Ukoliko sustav može rekonfigurirati svoje ponašanje kako bi održao obavljanje zahtijevane funkcije bit će tolerantiji na greške. Tradicionalnim načinom ovo se ostvaruje redundantnošću komponenti [4]. Međutim, redundantnost komponenti često rezultira neželjenim troškovima, utječe na fizičke karakteristike (težina, visina, itd.) i kompleksnost sustava. Kod funkcijsko-redundantnog tipa koriste se mogućnosti funkcija komponenti na malo drukčiji način od originalnog dizajna kako bi se povratila i održavala zahtijevana funkcionalnost sustava [5].

3. OSNOVNE METODE ZAKLJUČIVANJA

Metode koje se koriste kod realizacije samoodržanih sustava [6] su:

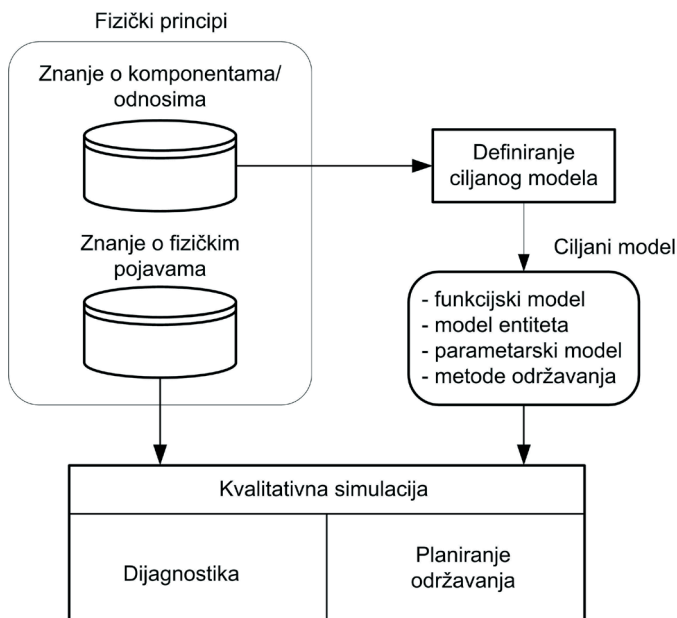
- prosudba o grešci
- dijagnostika greške
- planiranje održavanja.

Algoritam zaključivanja kod sustava s implementiranim samoodržavanjem prikazan je na slici 2.



Slika 2. Algoritam zaključivanja

Arhitektura sustava zaključivanja prikazana na slici 3. zasniva se na pristupu definiranja i uporabe ciljanog modela [7].



Slika 3. Arhitektura sustava zaključivanja

4. PREDSTAVLJANJE ZNANJA

Kako bi se moglo izvršiti samoodržavanje u bazi podataka sustava potrebno je pohraniti različite informacije. U to su uključene informacije o zahtijevanim funkcijama sustava, strukturi sustava, fizičkim karakteristikama, metodama popravka, te greškama koje se mogu pojaviti kod sustava [8]. Ove informacije koje predstavljaju znanje o sustavu mogu se podijeliti u dvije kategorije. Jedna predstavlja znanje o ciljanom modelu, a druga znanje o fizičkim principima koja definiraju ponašanje sustava.

Znanje o ciljanom modelu obuhvaća:

- Funkcijski model koji predstavlja funkcijsku hijerarhiju ciljanog sustava. Svaka funkcija u funkcijskoj hijerarhiji određena je prosudbenim parametrima o tome da li je funkcija izvršena ili ne.
- Model entiteta koji predstavlja topologijsku strukturu komponenti ciljanog sustava.
- Parametarski model koji sadrži informacije o fizičkim karakteristikama ciljanog sustava.

Parametarski model, odnosno mreža parametara sustava generira se na temelju znanja o komponentama i relacijama između njima primijenjenog na modelu entiteta.

- Metode održavanja koje opisuju metode popravka koje se mogu izvršiti na sustavu. Dok se kod kontrolnog tipa pod metodom održavanja misli na podešavanje aktuatora, kod funkcijsko-redundantnog tipa, metode održavanja obuhvaćaju aktiviranje redundatnog funkcijskog moda predstavljenog s alternativnim modelom u kojem je ponašanje sustava različito nego kod normalnog modela.

Znanje o fizičkim principima obuhvaća:

- Znanje o komponentama i relacijama između njih. Ovo znanje opisuje karakteristike komponenti i relacije između njih u formi kvalitativnih rješenja diferencijalnih jednadžbi. Na temelju njih može se konstruirati ciljani model sustava.
- Znanje o fizičkim pojavama. Razlikuju se pojave pridružene greškama zbog strukturalnih promjena ciljanog sustava i one koje se odnose samo na promjenu parametara diferencijalnih jednadžbi koje opisuju ponašanje sustava.

5. METODE ZAKLJUČIVANJA KOD DIJAGNOSTIKE GREŠKE

Postupak zaključivanja kod samoodržavanja sastoji se iz dva koraka, dijagnostike i planiranja održavanja. Cilj dijagnostike [9] je otkriti fizički uzrok greške. Mogu se dijagnosticirati višestruke greške čiji su uzroci povezani. Postupak dijagnostike sastoji se iz četiri koraka:

- Identifikacija simptoma o grešci. Simptomi se identificiraju uspoređivanjem podataka iz senzora s funkcijskim modelom.
- Traženje mogućih uzroka greške. Prvo se traže sve promjene parametara kao i jednakosti koje su povezane sa simptomom. Nakon toga se sve pojave čiji efekti uključuju promjene parametara pronalaze pretraživanjem u bazi podataka o fizičkim pojavama.
- Simulacija greške. Za svaki mogući uzrok greške, sustav mora simulirati ponašanje uređaja i izgraditi njegov model greške. Model greške može se dobiti korištenjem kvalitativnih simulacija [10]. Model greške omogućuje planiranje održavanja s informacijama o strukturi i stanju neispravnosti uređaja.
- Identifikacija uzroka greške. Sustav identificira najvjerojatniji uzrok greške odabirući model greške koji se najviše slaže i nije proturječan sa senzorskim podacima.

6. METODE ZAKLJUČIVANJA KOD PLANIRANJA ODRŽAVANJA

Kod kontrolnog tipa sustav prvo pokušava obnoviti funkcije primjenom metoda kontrolnog tipa popravka. Ukoliko ovaj pristup nije uspio primjenjuju se metode funkcijsko-redundantnog tipa. Planiranje održavanja kod kontrolnog tipa sastoji se iz sljedećih koraka:

- Donošenje odluke o cilju popravka

Nakon što je dijagnosticirana greška sustav zaključivanja donosi odluku o smjeru promjene funkcijskih parametara (npr. ukoliko neki funkcijski parametar trenutno raste, cilj popravka je njegovo smanjivanje).

- Generiranje kandidata

Sustav izabire moguće metode popravka koje mogu ispuniti zadovoljavanje cilja popravka. Ovo se ostvaruje pretraživanjem baze podataka o modelima greški.

- Simulacija popravka

Simulira se ponašanje ciljanog sustava za svakog odabranog kandidata iz prijašnjeg koraka. Pri tome se koriste odabrani modeli greški pri čemu se povećavaju ili smanjuju parametri odabranih kandidata. Kao rezultat, sustav zaključivanja provjerava za svakog kandidata može li obnoviti ciljanu funkciju. Kandidat kod kojeg je to nemoguće se isključuje. Također sustav zaključivanja pri tome provjerava imaju li kandidati i popratne efekte.

- Odabir metode popravka

Od mogućih kandidata sustav zaključivanja odabire metodu popravka koja može popraviti ili poboljšati ciljanu funkciju.

Ukoliko kontrolni tip održavanja nije uspio, odnosno nije se mogao definirati odgovarajući plan održavanja, pristupa se funkcijsko-redundantnom tipu planiranja održavanja. On se sastoji iz sljedećih koraka:

- Odabir metode popravka

Prvo sustav selektira funkcijsko-redundantnu metodu popravka čija je ciljana funkcija jednaka onoj koja je zahtijevana te čiji alternativni model ne upotrebljava komponente u kvaru. To se postiže uspoređivanjem alternativnog modela s modelom greške.

- Rekonstrukcije ciljanog modela

Sustav rekonstruira novi model upotrebljujući alternativni model iz prijašnje točke. Ovo se radi iz razloga što ovaj tip potiče strukturalne promjene.

- Izvršavanje kontrolnog tipa planiranja održavanja

Sustav provodi kontrolni tip planiranja održavanja s ponovno konstruiranim ciljanim modelom.

7. ZAKLJUČAK

Mogućnost broda da izvršava svoju osnovnu funkciju i donosi profit usko je povezana s održavanjem. Troškovi održavanja predstavljaju znatnu stavku u poslovanju brodaru. Na brodovima se nastoje implementirati takva rješenja da su vitalni sustavi tolerantni na greške, odnosno da pojave greške ne uzrokuju i zastoj u njihovom radu. Tradicionalnim načinom ovo se postiže redundantnošću komponenti sustava. Redundantnost komponenti utječe na fizičke karakteristike sustava, pa se u slučaju gdje je to ograničavajući faktor moraju primijeniti druga rješenja. Jedno od rješenja je implementiranje samoodržavanja. Samoodržavanje omogućuje da u slučaju pojave greške na nekoj komponenti sustava, ta greška bude prevaziđena na način da se sustav vrati u ispravno funkcionalno stanje. Razlikuju se dva tipa samoodržavanja. Kod kontrolnog tipa sustav će se nastojati vratiti u ispravno funkcionalno stanje podešavanjima

radnih parametara. Ukoliko je to nemoguće onda će se pristupiti funkcijsko-redundantnom tipu samoodržavanja gdje se vraćanje u ispravno stanje nastoji postići rekonfiguriranjem strukture sustava. Ograničenje samoodržavanja je da se ne može primijeniti kod kvarova gdje se za popravak zahtijevaju rezervni dijelovi. Samoodržavanjem će se sustav vratiti u ispravno funkcionalno stanje, ali se neće izvršiti fizičko održavanje, odnosno zamjena komponenta na kojoj je detektirana greška. Fizičko održavanje se samo odlaže na način da se popravak može izvršiti za brodaru u najpovoljnijem trenutku (npr. brod u luci) kad su i troškovi održavanja najmanji.

LITERATURA

- [1] Blanke, M., et al., *What is fault tolerant control*, Budapest, IFAC, Fault Detection, Supervision and Safety for technical Processes, 1, 2000.
- [2] Tudor, M., *Modeliranje integriranog informacijskog sustava nadzora brodskih procesa s gledišta održavanja*, doktorska disertacija, Rijeka, M. Tudor, 2006.
- [3] Cassar, J., M. Staroswiecki, *A Structural Approach for the Design of Failure Detection and Identification System*, Belfast, IFAC-IFIP-IMACS Conference on Control of Indust. Processes, 1997.
- [4] Tudor, M., A. Bukša, P. Kralj, *Analiza kvarova brodskih redundantnih sustava*, Pomorstvo, 18(2004), str. 111-120.
- [5] Umeda, Y., T. Tomiyama, H. Yoshikawa, *A design methodology for self-maintenance machines based on functional redundancy*, Proceedings of Design Theory and Methodology DTM'92, Taylor, D.L., and Stauffer, L.A., eds, DE-Vol. 42, ASME, 317-24.
- [6] Umeda, Y., T. Tomiyama, H. Yoshikawa, *A design methodology for self-maintenance machines*, Journal of Mechanical Design, ASME, 1995, 117(1995), 3, str. 355-62.
- [7] Winston, H. A., R. T. Clark, *AGETS MBR: an application of model-based reasoning to gas turbine diagnostic*, Proceedings of the Seventh Innovative Applications of Artificial Intelligence Conference, AAAI, 1994., str.181-9.
- [8] Tudor, M., *Računalni model održavanja broda*, magistarski rad, Rijeka, M. Tudor, 1997.
- [9] Bukša, A., M. Tudor, D. Martinović, *Research of the Failure Incidences in the Diesel-engine Propulsion System*, Portorož, 9th International Conference on Traffic Science, 14.-15. november, 2005.
- [10] Kuipers, B., *Qualitative Simulation*, *Artificial Intelligence*, 29(1986), 3, str. 289-338.

SELF-MAINTANENCE OF SHIP'S SYSTEMS

SUMMARY

The paper aims at presenting the self-maintenance concept of the ship's systems. The self-maintenance systems are fault tolerant systems that, in case of failure detection, will perform the self-maintenance procedure and continue with normal operation. But the term maintenance does not refer here to the repair or manual replacement of the faulty part in the system. Self-maintenance includes getting back the failure detected system into normal function, thus increasing the functional redundancy of a system and, at the same time, reducing the maintenance costs. Two types of self-maintenance are analyzed in this paper: the controlling and functionally-redundant one. When the controlling type is in question, repairs are undertaken by adjusting different parameters that have an impact on the ship's operation, while in the functionally-redundant one, the ship's system is returned into normal working condition by restructuring the system.

Key words: *self-maintenance, controlling type, functionally-redundant type*

Mato Tudor, Ph.D.

Faculty of Maritime Studies Rijeka

Studentska 2

51000 Rijeka

Croatia