

## PRIKAZ UREĐAJA DSPACE MICROAUTOBOX I MOGUĆNOSTI PRIMENE U ANALIZI I UPRAVLJANJU PROCESIMA

Igor Petričković, Goran Kvašček, Branko Kovačević  
Elektrotehnički fakultet u Beogradu

**Sadržaj** - U radu je obrađena problematika upotrebe specijalizovanog uređaja za automatsku kontrolu – MicroAutoBox. Uređaj je autonoman, velike procesorske moći i izvršava upravljanje u realnom vremenu. Opisan je proces razvoja kontrolera, dat je primer vođenja eksperimenta pomoću ovog uređaja i opisan princip u kratkim crtama. Navedeno je i nekoliko oblasti primene uređaja za koje je najbolje prilagođen.

### 1. UVOD

MicroAutoBox, opisan u [1] i [5], je uređaj koji upravlja sistemom bez intervencije korisnika. Sadrži internu memoriju u kojoj se čuvaju svi potrebni podaci, jedan ili više procesora, zavisno od složenosti sistema kojim se upravlja i ulaznu izlaznu jedinicu za komunikaciju sa sistemom. Ostale tehničke detalje ovde nema svrhe navoditi.

Prednost ovog uređaja u odnosu na mikrokontrolere je u ogromnoj procesorskoj moći koju poseduje. Većina realnih sistema (linearnih ili nelinearnih) ima skoro beskonačnu složenost i potrebna je velika količina proračuna da bi se njima upravljalo u realnom vremenu bez određenih aproksimacija i velikih kašnjenja u odzivu.

MicroAutoBox poseduje i razumno male dimenzije (2.5 X 10 X 15 cm) pa je moguće ugradjivati ga i u izuzetno ograničenom prostoru što mu daje široku oblast komercijalne primene (npr. automobolska industrija). Izuzetno je robustan i otporan na temperaturne promene (od -40 do 90 °C) pa je zbog toga primenjiv i u mnogim drugim vrstama industrije, saobraćaja... Naravno ove karakteristike mu uvećavaju cenu pa je potrebno analizirati ekonomsku isplativost pre nego što se odluči za ovakav uređaj.

PC ili notebook se povezuje na MicroAutoBox radi download-ovanja programa, analize podataka i kalibracije. Moguće je povezivanje preko BUS interface-a ili Ethernet-a (kada je moguće da ga koristi više korisnika).

Ovakav softversko-hardverski sistem upravljanja ima zaštićeno ime dSPACE. Sistem se konfiguriše u laboratoriji i učitava se aplikacije na MicroAutoBox.

Model sistema koji učitavamo na MicroAutoBox razvija se u Simulink-u (pri čemu se koriste blokovi iz Real-Time Interface (RTI), koji predstavlja deo dSPACE-a i koristi se u MATLAB-u) ili se piše kao linijski program (handcoded algorithm) u C-u ili Python-u što je prilično zamoran posao, [2] i [4].

Postoji i softver za vršenje eksperimenata u realnom vremenu pomoću MicroAutoBox-a, opisan u [3], koji se naziva ControlDesk. U njega je integrisan i Platform Manager za manipulisanje dSPACE sistemom.

### 2. TEHNIČKE KARAKTERISTIKE

- 16 ulaza i izlaza
- Period semplovanja je 1 ms
- Napajanje treba da bude u opsegu 6-40 V (30 W, 5 A)

### 3. RAZVOJ KONTROLERA

Kontroler može biti bolje ili lošije prilagođen sistemu kojim se upravlja. Kada kontroler nije idealan može se imati, na primer, preveliki preskok, spor odziv sistema, veliki uticaj raznih poremećaja ili uopšte loše performanse u bilo kom smislu. Generalno je slučaj da je kontroler koji kvalitetno reguliše realan sistem veoma kompleksan. Takav kontroler nije moguće, ili je veoma teško, napraviti uobičajenim 'ručnim' metodama. Drugi problem sa kojim se u praksi susreće je što je potrebna jako velika procesorska moć kontrolera da bi ogromnu količinu složenih matematičkih operacija obavljao u realnom vremenu čak i ako se uspe u modelovanju takve prenosne funkcije, posebno kod multivarijabilnih sistema gde se operiše sa matricama.

Korišćenjem MicroAutoBox-a moguće je prevazići obe poteškoće. O drugoj je već bilo reči pa se sada treba pozabaviti prvom, t.j. modelovanjem dobre prenosne funkcije kontrolera.

Princip razvoja kontrolera pod dSPACE sistemom je da se prvo zadaje samo 'inicijalna' prenosna funkcija, a ona se zatim optimizuje.

Potrebno je izvršiti i inicijalizaciju sistema (t.j. procenu njegovih karakteristika, koja se može obaviti samo približno). Na osnovu dobijenih parametara, nekom od metoda automatskog upravljanja određuje se 'inicijalna' prenosna funkcija kontrolera.

Standardizovani dSPACE postupak je da se na računaru simulira model realnog sistema, dodaje se kontroler, što je opisano u [6], [7] i [8], i na kraju vrši njegovo testiranje na realnom sistemu i optimizacija [3]. Posle toga MicroAutoBox je spreman da autonomno upravlja sistemom i odvaja se od računara.

### 4. RAZVOJNI KORACI

#### 4.1 MODELOVANJE KONTROLERA I SIMULACIJA POMOĆU SIMULINK-A

U ovoj fazi razvoja simulacija se vrši u Simulink-u. Računar ima na raspolaganju 'beskonačno' mnogo vremena da obavi potrebne proračune kako bi odredio ponašanje sistema. Ako se zada jednostavan model proračuni se obave brzo, a ako je složen trajaće duže. Pošto nije potrebno ispuniti vremenska ograničenja, koja se imaju prilikom upravljanja u realnom vremenu, nema ni potrebe za aproksimacijom modela (redukcijom složenosti).

#### 4.2 PROTOTIP UPRAVLJANJA U REALNOM VREMENU

Razvijena je prva verzija kontrolera i sada je potrebno testirati kontroler na realnom sistemu. MicroAutoBox se vezuje za sistem preko AD/DA konvertora, ali se kontroler još uvek nalazi na računaru jer će biti potrebne i dodatne izmene. Ovog puta simulacija se obavlja u realnom vremenu i mora se vršiti podjednako brzo kao što se odvija proces. Ovaj

korak je posebno zanimljiv jer predstavlja kombinaciju simulacije i stvarnog procesa.

### 4.3 HARDWARE-IN-THE-LOOP SIMULACIJA

Kada je razvijen kontroler koji je u stanju da upravlja sistemom sa zadovoljavajućim performansama snima se na MicroAutoBox. Poslednje testiranje vršimo sa pravim kontrolerom i simulacijom procesa na računaru da bismo bili sigurni da neće doći do oštećenja sistema. Simulacija modela sistema vrši se u realnom vremenu.

## 5. PRIMER PRIMENE

Na katedri za automatiku Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu realizovan je primer primene MicroAutoBox-a za upravljanje veoma zahtevnim sistemom. Objekat upravljanja je Feedback<sup>®</sup>-ova laboratorijska vežba, opisana u [9], koja sadrži dva zasebna toka vode i razmenjivač toplote kojim se toplota iz jednog toka predaje drugom. Sistem je model centralnog grejanja. Prikazan je na Sl.1.



Sl.1. Aparatura

Primarni tok predstavlja kružni tok vode u radiatorima korisnika, veličina koja je od interesa u ovom toku je temperatura u raznim tačkama. U sekundarnom toku se nalazi grejač koji modeluje centralu. I u sekundarnom toku je moguće regulisati temperaturu jer postoje termistorski senzori za merenje, ali u realnosti je ova veličina više informativnog karaktera, bitno je jedino da se ne prekorači izvesna temperatura koje bi dovela do oštećenja sistema. U oba toka se nalazi ventil kojim se reguliše brzina protoka vode i kojim je moguće upravljati. Kružni tok vode obezbeđuje pumpa koja ovde nije od interesa jer njom nije moguće upravljati (a nije ni potrebno).

Ukratko, postoji sedam regulisanih promenljivih (izlaza sistema) a to su pet temperatura na raznim mestima u primarnom i sekundarnom toku i dve brzine protoka vode (u primarnom i sekundarnom toku), pošto sistem raspolaže impulsnim meraćima brzine. Upravljačke promenljive su uglovi otvora dva ventila kojima se reguliše brzina protoka vode (0.4 – 4.4 l/min) a time posredno i temperatura.

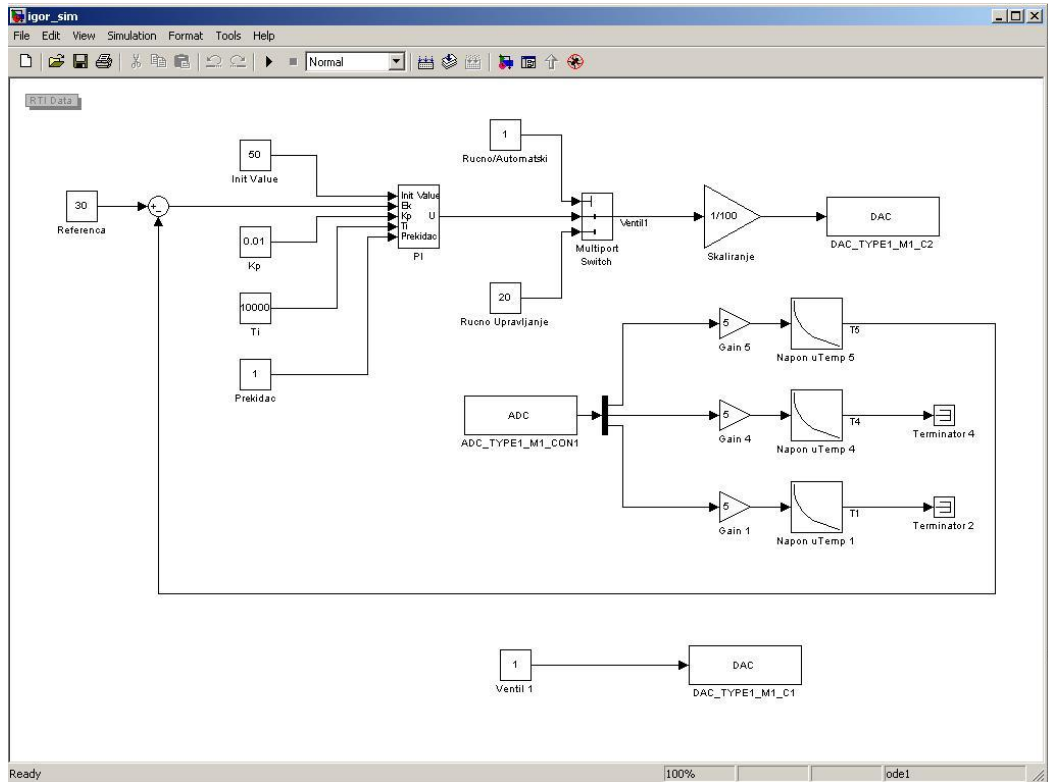
Sistem sadrži dosta nelinearnosti, prvenstveno na razmenjivaču toplote, i kašnjenja odziva koji potiču od konvektivnog i konduktivnog provodjenja toplote (na razmenjivaču, sensorima, ...) kao i od brzine protoka vode.

Da bi se shvatila kompleksnost sistema kojim se upravlja dovoljno je pomenuti samo neke od osobina koje bi trebalo uzeti u obzir prilikom njegovog modelovanja:

- Karakteristike sistema se menjaju u zavisnosti od temperature, a potrebno je predvideti veoma širok opseg očekivanih temperatura.
- Termičke kapacitivnosti i otpornosti provođenju brojnih delova.
- Frikcija prilikom kretanja tečnosti uz ivice cevi (i mogućnost turbulencije).
- Termičke karakteristike hladnjaka (u realnosti radijatora).

Jasno je da je potreban moćan procesor za realizaciju kontrolera za ovaj sistem. Istini za volju, u ovom sistemu su promene veoma spore pa su zahtevi za upravljanje u realnom vremenu niski ali MicroAutoBox je komercijalni proizvod specijalizovan upravo za 'real-time' pa ne treba sumnjati da bi ispunio i veoma visoke zahteve.

Blok dijagram sistema realizovan u Simulink-u dat je na Sl.2.

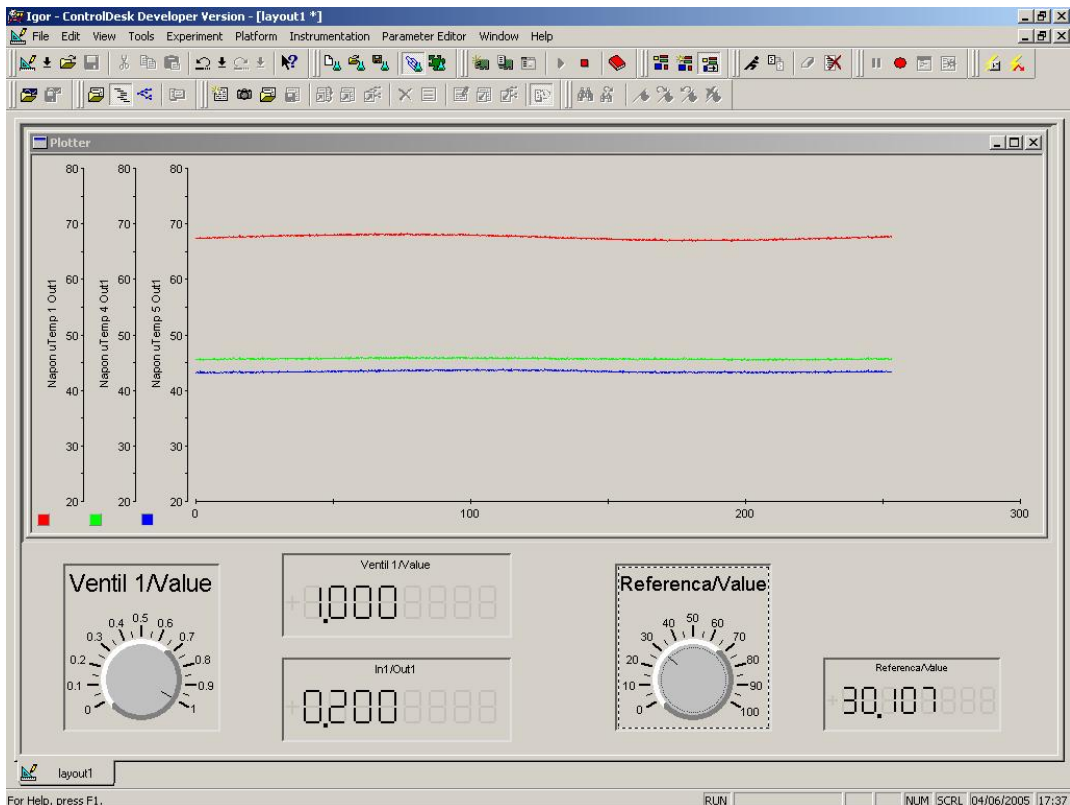


Sl.2. Model sistema u Simulink-u

U konkretnom primeru PI regulator upravlja ventilom u sekundarnom kolu. Sa šeme se može primetiti da je na ventil u primarnom kolu doveden konstantan ulaz (maksimalni otvor ventila). U toku vršenja eksperimenta moguće je menjati ovu vrednost (kao i sve ostale ulazne parametre). Ovo je posebna pogodnost dSPACE sistema i vrlo je korisna za laboratorijske vežbe studenata. Prilikom eksperimentisanja

nije potrebno menjati Simulink-model i ponovo vršiti kompajliranje, snimanje na MicroAutoBox i sve ostale korake već se iz layout-a, koje se vrlo lako definiše, raspoloživim alatima, u toku vršenja eksperimenta, menjaju vrednosti parametara.

Primer layout-a dat je na Sl.3.



Sl.3. Layout u ControlDesk software-u

U primeru su korišćena samo tri (od desetina raspoloživih) alata [3]. Dijagram zavisnosti temperatura od vremena (plotter array), 'dugme' za zadavanje ulaznih parametara (knob) i display za ispis neke vrednosti u sistemu (promenljive ili parametra). Može se primetiti da je vrednost na knob-u u dva slučaja ista kao i na display-u, tako je postavljeno zbog pokaznog karaktera primera i jer se na display-u očitavaju tri decimale (moguće je podesiti da ih bude više ili manje). Umesto knob-a može se koristiti progress bar ili ukucavati vrednost tastaturom ili ... Postoji više različitih alata za crtanje dijagrama. Uopšte, omogućena je velika sloboda pri definisanju layout-a za eksperimentisanje.

## 6. ZAKLJUČAK

MicroAutoBox objedinjuje veliki broj korisnih funkcija : velika procesorska moć i odlične performanse za upravljanje u realnom vremenu, male dimenzije, robusnost, mogućnost autonomnog rada i praktičnost pri programiranju. Uz to može da služi kao odličano sredstvo za nastavu. Veoma je praktičan za izvođenje laboratorijskih vežbi iz automatike na bilo kojoj aparaturi i iz bilo koje oblasti.

Vremenom će cene ovakvih uređaja postajati pristupačnije pa se može predvideti da će sve više zauzimati mesto uobičajenih mikrokontrolera koji u suštini i nemaju potpunu autonomiju jer je za složenije zadatke upravljanja potrebno vezivati ih u SCADA sisteme. U slučaju da neko želi da nadgleda proces, MicroAutoBox samo treba ostaviti vezan za računar i raditi isto što i prilikom eksperimenta (kada se ima stvarni proces, a ne simulacija, i stvarni kontroler, a računar služi samo za intervencije i nadgledanje).

Podaci koji se snimaju u memoriji MicroAutoBox-a mogu se preuzeti u bilo kom trenutku i kasnije koristiti u istraživačke svrhe ili za verifikaciju ispravnosti rada procesa.

U suštini, ne može se reći da MicroAutoBox donosi neke principijelne novine u oblasti automatskog upravljanja, ali znatno povećava mogućnosti upravljanja i proširuje oblasti primene.

## LITERATURA

- [1] MicroAutoBox, "Installation and Configuration", dSPACE GmbH, 2003.
- [2] MicroAutoBox, Real-Time Interface (RTI and RTI-MP), "Implementation Guide", dSPACE GmbH, 2003.
- [3] MicroAutoBox, ControlDesk, "Experiment Guide", dSPACE GmbH, 2003.
- [4] MicroAutoBox, ControlDesk, "Automation Guide", dSPACE GmbH, 2003.
- [5] MicroAutoBox, "New Features and Migration", dSPACE GmbH, 2003.
- [6] Krishna Singh and Gayatri Agnihotri, "System Design through MATLAB<sup>®</sup>, Control Toolbox and Simulink<sup>®</sup>", Springer-Verlog London Limited, 2001.
- [7] MATLAB<sup>®</sup> On-line Help Manuals Provided by MathWorks, Inc.
- [8] SIMULINK<sup>®</sup>: Dynamic System Simulation for MATLAB<sup>®</sup> (1999), Using SIMULINK<sup>®</sup>.
- [9] PROCON – Process Control Trainers, "Temperature Process Control Practicals", Feedback Instruments Limited.

**Abstract** – Possibilities and advantages of using the product, specialized for control systems, MicroAutoBox, are examined in this paper. Unit is automotive, has a lot of computing power, and almost used for real-time control. Development steps for controller design, and example and principles of experimenting with control desk are described. Areas of control systems, which MicroAutoBox is best suited for, are also mentioned.

### dSPACE MICROAUTOBOX SYSTEM OVERVIEW, AND POSSIBILITIES FOR USING IN SYSTEMS CONTROL AND ANALYSIS

Igor Petričković, Goran Kvašćev, Branko Kovačević