

CUPRINS

Prefață	XIII
Notații, simboluri și acronime	XV
19. SISTEME DISIPATIVE (<i>Corneliu POPEEA, Jora BORIS</i>)	1
19.1. Introducere	1
19.2. Inegalități matriciale liniare în teoria sistemelor	3
19.2.1. Sisteme liniare	3
19.2.2. Funcții Liapunov pătratice	5
19.2.3. Exemple, exerciții și completări	9
19.3. Proprietăți interne	17
19.3.1. Inegalități și ecuații Liapunov. Stabilitate	17
19.3.2. Dihotomie	21
19.3.3. Cazul discret	21
19.3.4. LMI în sinteza compensatoarelor stabilizatoare	23
19.3.5. Exemple, exerciții și completări	27
19.4. Proprietăți intrare-ieșire	38
19.4.1. Sisteme contractive	39
19.4.2. Sisteme pasive	46
19.4.3. Sisteme disipative	51
19.4.4. Sisteme pozitive	56
19.4.5. Cazul discret	58
19.4.6. LMI în sinteza H_2 / H_∞	61
19.4.7. Exemple, exerciții și completări	77
19.5. Probleme de programare liniară	92
19.5.1. Formularea problemelor de programare liniară	93
19.5.2. Dualitatea în programarea liniară	95
19.5.3. Metode de punct interior	97
19.6. Probleme de programare semidefinită	100
19.6.1. Formularea problemelor SDP	102
19.6.2. Dualitatea în programarea semidefinită	102
19.6.3. Metode de punct interior	106
BIBLIOGRAFIE	110
20. ANALIZA SISTEMELOR MIMO (<i>Cristian OARĂ</i>)	115
20.1. Fascicule matriciale	116
20.1.1. Fascicule regulate	116
20.1.2. Spații de deflație ale unui fascicul regulat	119
20.1.3. Fascicule singulare	123
20.1.4. Spații de deflație ale fasciculelor singulare	130
20.2. Matrice de transfer raționale	132
20.2.1. Forma Smith-McMillan generalizată	133
20.2.2. Forma Smith-McMillan locală	135
20.2.3. Poli și zerouri	136
20.2.4. Indici minimali	139
20.2.5. Indici structurali ai unui fascicul matricial	140
20.3. Realizări generalizate de stare	141
20.3.1. Realizări centrate de stare	141
20.3.2. Realizări polinomiale	148
20.3.3. Construcția realizărilor generalizate prin inspecție	150
20.3.4. Conversii între realizări generalizate	152
20.4. Elemente structurale în termenii realizărilor	155
20.4.1. Realizări centrate improprii	155

20.4.2. Realizări centrate proprii.....	157
20.4.3. Realizări polinomiale.....	158
20.5. Note și referințe.....	160
BIBLIOGRAFIE.....	160
21. SINTEZA SISTEMELOR MIMO (Cristian OARĂ).....	162
21.1. Parametrizarea reguletoarelor Ω -stabilizante.....	163
21.1.1. Factorizări dublu coprime pentru sisteme generalizate.....	163
21.1.2. Parametrizarea reguletoarelor și a sistemelor în buclă închisă.....	166
21.1.3. Un exemplu numeric.....	167
21.2. Reducerea pătrată a sistemelor generalizate.....	169
21.2.1. Descompunerea spectrală a fasciculului sistem.....	170
21.2.2. Reducerea pătrată.....	174
21.2.3. Un exemplu numeric.....	176
21.3. Sinteza compensatoarelor serie cu alocarea structurii.....	179
21.3.1. Compensarea zerourilor.....	181
21.3.2. Compensarea structurii singulare.....	190
21.3.3. Compensarea polilor.....	199
21.4. Factorizările (J, J') – lossless și spectrală generale.....	202
21.4.1. Descompuneri spectrale ale fasciculelor de poli și sisteme.....	204
21.4.2. Factorizările (J, J') – lossless și (J, J') – spectrală.....	205
21.4.3. Algoritmi și exemplu numeric.....	208
21.5. Factorizări coprime normalizate generale.....	210
21.6. Note și referințe.....	214
BIBLIOGRAFIE.....	214
22. SISTEME ROBUSTE (Cristian OARĂ).....	218
22.1. Preliminarii.....	219
22.1.1. Sisteme liniare.....	219
22.1.2. Spații de matrice raționale, norme și continuitate.....	221
22.1.3. Gramieni și valori singulare Hankel.....	223
22.1.4. Evoluții L^2	225
22.2. Triplete Popov.....	232
22.2.1. Definiții, echivalență și semnificație.....	233
22.2.2. Obiecte asociate unui triplet Popov.....	234
22.2.3. Cazuri particulare importante.....	243
22.3. Teoria Riccati generalizată.....	244
22.3.1. Existența soluției stabilizatoare: cazul stabil.....	245
22.3.2. Ridicarea ipotezei de stabilitate.....	247
22.3.3. Existența soluției stabilizatoare în cazul antistabil.....	248
22.3.4. Condiții de semnătură.....	249
22.3.5. Condiții frecvențiale.....	251
22.3.6. Inecuații algebrice Riccati.....	255
22.4. Ecuații Riccati și fascicule matriciale.....	255
22.4.1. Structura de valori proprii generalizate a unui FHE regulat.....	255
22.4.2. EMAR și FHE.....	257
22.4.3. Ecuația Bernoulli.....	258
22.4.4. Structura Kronecker a unui FHE singular.....	259
22.4.5. Sistemul Riccati generalizat și FHE.....	261
22.5. Algoritmi de calcul al soluțiilor Riccati.....	263
22.5.1. Algoritmi fundamentali.....	263
22.5.2. Calculul spațiilor proprii de deflație.....	268
22.5.3. Calculul soluțiilor ecuațiilor și sistemelor Riccati.....	271
22.6. Aplicații în Teoria Sistemelor.....	273
22.6.1. Lema de real mărginire.....	273
22.6.2. Convergența EMAR asociate cu tripletul Popov de pozitivitate.....	274
22.6.3. Factorizări coprime normalizate.....	276

22.6.4. Teorema micii amplificări.....	276
22.6.5. Indice pătratic cu dinamică constrânsă.....	277
22.6.6. Factorizările spectrale și <i>inner-outer</i> : cazul de rang arbitrar.....	278
22.7. Problema de aproximare Nehari.....	279
22.7.1. Problema Nehari și condiția de semnătură.....	279
22.7.2. Problema Parrott.....	282
22.7.3. Condiții necesare și suficiente de solvabilitate.....	284
22.8. Problema de reglare optimală H^2	287
22.8.1. O evaluare alternativă a normei H^2	289
22.8.2. Soluția optimală.....	290
22.9. Problema de reglare H^∞ suboptimală.....	291
22.9.1. Formularea problemei.....	291
22.9.2. Ipoteze de bază.....	293
22.9.3. Teorema Redheffer.....	295
22.9.4. Soluția.....	296
22.9.5. Soluția în condiții de normalizare.....	298
22.9.6. Soluția cu reacție după stare.....	300
22.10. Stabilizarea robustă.....	301
22.10.1. Formularea problemei.....	301
22.10.2. Soluția optimală.....	304
22.10.3. Stabilizarea robustă pentru incertitudini modelate pe factori coprimi.....	310
22.10.4. Stabilizarea robustă pentru incertitudini modelate multiplicativ.....	312
22.11. Note și referințe.....	315
BIBLIOGRAFIE.....	316
23. SISTEME STOCASTICE (Marin CONSTANTIN, Ioan DUMITRACHE)	319
23.1. Elemente de teoria probabilităților și variabile aleatorii.....	319
23.1.1. Evenimente și experimente întâmplătoare.....	319
23.1.2. Tipuri de probabilități.....	321
23.1.3. Variabile aleatorii și caracteristicile lor probabilistice.....	322
23.1.4. Caracteristici statistice ale variabilelor aleatorii.....	325
23.1.5. Caracteristici ale variabilelor aleatorii îmbinate.....	329
23.1.6. Caracteristici probabilistice și statistice ale vectorilor și matricelor aleatoare.....	333
23.1.7. Exemple de variabile aleatorii.....	339
23.1.8. Funcții de variabilă aleatorie.....	342
23.2. Procese stocastice.....	345
23.2.1. Procese Gauss-Markov.....	346
23.3. Ecuații diferențiale stocastice.....	350
23.3.1. Calculul în medie pătrată.....	350
23.3.2. Integrale Wiener.....	351
23.3.3. Integrale Itô	353
23.3.4. Ecuații diferențiale stocastice și exponențiale.....	354
23.3.5. Propagarea funcției densitate de probabilitate.....	356
23.3.6. Analiza Fourier a proceselor aleatorii.....	358
23.4. Conducerea proceselor stocastice.....	362
23.4.1. Formularea problemei de conducere optimală.....	362
23.4.2. Sinteza legii de conducere optimală.....	365
23.4.3. Problema conducerii optimale LQG cu informație parțială.....	367
23.5. Algoritmi de conducere de minimă varianță.....	371
23.5.1. Introducere.....	371
23.5.2. Sinteza predictorului optimal.....	372
23.5.3. Sinteza legii de reglare de minimă varianță.....	375
23.5.4. Algoritmi de minimă varianță cu penalizarea comenzii.....	378
23.5.5. Algoritmi de minimă varianță modificați.....	381
23.5.6. Probleme ale implementării algoritmilor de minimă varianță.....	384
23.5.7. Algoritmi de minimă varianță pentru procese multivariabile.....	386
BIBLIOGRAFIE.....	387

24. SISTEME ADAPTIVE (<i>Ioan DUMITRACHE, Emil PETRE, Clement FEȘȚILĂ</i>).....	389
24.1. Introducere	389
24.1.1. Structura unui sistem adaptiv cu model de referință	392
24.1.2. Structura unui sistem adaptiv cu identificarea modelului	395
24.2. Estimarea adaptivă a parametrilor.....	398
24.2.1. Modele în spațiul stărilor	399
24.2.2. Modele intrare/ieșire	401
24.2.3. Parametrizarea modelelor.....	405
24.2.4. Estimarea on-line a parametrilor pentru procese continue	415
24.2.5. Estimarea on-line a parametrilor pentru procese discrete	436
24.3. Sisteme adaptive cu model de referință (SAMR).....	442
24.3.1. Introducere	442
24.3.2. Sinteza legii de reglare adaptivă cu model de referință pentru procese monovariabile.....	448
24.3.3. Procedura generală de sinteză a SAMR	453
24.4. Sisteme adaptive cu identificarea modelului (sisteme adaptive cu autoacordare – SAA).....	457
24.4.1. Reglatoare cu autoacordare indirectă	457
24.4.2. Reglatoare adaptive cu autoacordare directă.....	461
24.5. Sisteme adaptive cu reacție după stare	464
24.5.1. Cazul proceselor monovariabile.....	464
24.5.2. Cazul proceselor multivariabile	467
24.6. Conducerea adaptivă a sistemelor neliniare	475
24.6.1. Conducerea liniarizantă a unei clase de sisteme neliniare.....	476
24.6.2. Sisteme cu minim de fază.....	484
24.6.3. Conducerea adaptivă a sistemelor neliniare cu minim de fază.....	488
24.7. Parametrizarea reglatoarelor adaptive robuste	494
BIBLIOGRAFIE.....	504
25. REGLAREA PREDICTIVĂ (<i>Corneliu LAZĂR</i>).....	506
25.1. Introducere	506
25.2. Reglarea predictivă a sistemelor liniare monovariabile	507
25.2.1. Conceptul de reglare predictivă.....	508
25.2.2. Modele și predictorii	510
25.2.3. Funcția obiectiv.....	514
25.2.4. Sinteza algoritmului de reglare predictivă.....	519
25.2.5. Acordarea parametrilor algoritmului de reglare predictivă	526
25.3. Reglarea predictivă a sistemelor liniare multivariabile	528
25.3.1. Modele și predictorii	528
25.3.2. Funcția obiectiv.....	537
25.3.3. Algoritmul predictiv multivariabil	538
25.3.4. Performanțe.....	541
25.4. Reglarea predictivă a sistemelor neliniare.....	542
25.4.1. Formularea problemei	542
25.4.2. Reglarea predictivă neliniară cu garantarea stabilității.....	545
BIBLIOGRAFIE.....	549
26. SISTEME CU ÎNTÂRZIERE (<i>Răsvan VLADIMIR</i>).....	551
26.1. Întârzieri în dinamica sistemelor. Exemplificări și modele.....	551
26.1.1. Modele ale dinamicii arderii	552
26.1.2. Modele din ingineria mecanică	552
26.1.3. Modele din optica neliniară și fizica laserelor.....	553
26.1.4. Modele ale traficului	553
26.2. Întârzieri în sistemele automate. Abordare sistemică (intrare/ieșire) și newtoniană (de stare)	554
26.3. Ecuații diferențiale liniare cu argument deplasat	559
26.4. Ecuații liniare cu argument deplasat constant și coeficienți constanți	561
26.5. Utilizarea transformatei Laplace în analiza sistemelor cu întârziere. Tranziția forțată și funcția de transfer.....	566
26.6. Controlabilitate și degenerare punctuală	570
26.7. Stabilitate și comportament asimptotic la sistemele liniare cu întârziere	572
26.8. Funcționalele Liapunov-Krasovski	579

26.9. Neliniaritate și întârziere. Criteriul frecvențial al lui V. M. Popov și metoda funcției de descriere.....	584
26.10. Reglarea automată convențională (clasică) a sistemelor cu întârziere	586
26.11. Predictorul Smith și dezvoltările sale.....	590
26.12. Alocarea finită a spectrului la sistemele cu întârziere în comandă.....	594
26.13. Despre rolul stabilizator al întârzierii.....	598
BIBLIOGRAFIE.....	601
27. CONTROLUL PROCESELOR CU PARAMETRI DISTRIBUIȚI (Tiberiu COLOȘI, Mihai ABRUDEAN, Vlad MUREȘAN).....	603
27.1. Introducere. Evoluții privind controlul proceselor cu parametri distribuiți.....	603
27.1.1. Etapa consolidării metodelor matematice specifice SPD și CSPD	603
27.1.2. Etapa consolidării aplicațiilor industriale specifice SPD și CSPD.....	604
27.1.3. Probleme și evoluții în perspectivă	605
27.2. Modele specifice ale sistemelor cu parametri distribuiți	606
27.2.1. Noțiuni teoretice introductive	606
27.3. Proprietăți structurale și de analiză ale sistemelor cu parametri distribuiți	609
27.3.1. Stabilitatea sistemelor cu parametri distribuiți	609
27.3.2. Observabilitatea sistemelor liniare cu parametri distribuiți.....	610
27.3.3. Controlabilitatea sistemelor cu parametri distribuiți	614
27.4. Proiectarea reguletoarelor pentru sisteme cu parametri distribuiți.....	616
27.4.1. Problematika proiectării regulatorului.....	616
27.4.2. Controlul H_{∞}	621
27.4.3. Proiectarea regulatorului pe baza metodei <i>backstepping</i> . Ecuația nestabilă a căldurii – aplicație ..	629
27.4.4. Ecuația nestabilă a căldurii	633
27.4.5. Structura preliminară pentru un observer	635
27.4.6. Metoda de proiectare Liapunov.....	637
27.4.7. Proiectarea prin identificatori pasivi de echivalare	639
27.5. Studii de caz	641
27.5.1. Sisteme de difuzie prin advecție.....	641
27.5.2. Structuri complex-cuplate de EDP	642
27.5.3. Sisteme hiperbolice de ordinul 1	643
27.5.4. Ecuația undelor	644
27.5.5. Grinzi	646
27.6. Concluzii	647
ANEXE.....	648
A1. Metode uzuale de integrare numerică a ecuațiilor diferențiale și cu derivate parțiale.....	648
A2. Metoda soluției aproximante prin M_{dpx} și serii Taylor pentru EDP II.2 liniară	650
A3. Metoda soluției aproximante prin M_{dpx} și serii Taylor pentru EDP II.2 neliniară	652
BIBLIOGRAFIE.....	654
28. SISTEME CU EVENIMENTE DISCRETE (Aurelian Mihai STĂNESCU (coordonator), Viorel MÂNZU, Simona Iuliana CARAMIHAI, Octavian PĂSTRĂVANU).....	658
28.1. Introducere	658
28.2. Cadrul conceptual – metodologic.....	661
28.3. Problema conducerii supervizate SED	667
28.4. Teoria Sistemelor cu Evenimente Discrete	667
28.4.1. Modelarea multireprezentare a sistemelor cu evenimente discrete	667
28.4.2. Reprezentarea SED ca mașini de stare	668
28.4.3. Reprezentarea sistemelor SED prin modele cu fire (cozi) de așteptare.....	701
28.4.4. Reprezentarea sistemelor SED prin modele bazate pe fluxuri de activități și alocare de resurse comune.....	712
28.4.5. Analiza sistemelor SED	718
28.4.6. Sinteza sistemelor SED în circuit închis	723
28.5. Ingineria sistemelor cu evenimente discrete	732
28.5.1. Sisteme de fabricație flexibile ca studiu de caz pentru ingineria sistemelor	732
28.5.2. Proiectarea controlerelor conform standardelor GRAFCET	735
28.5.3. Proiectarea sistemelor de conducere automată cu supervizare.....	737
BIBLIOGRAFIE.....	743

29. SISTEME HIBRIDE (<i>Ioan DUMITRACHE, Ion NECOARĂ, Simona Iuliana CARAMIHAI</i>)	748
29.1. Introducere	748
29.2. Modelarea sistemelor hibride	750
29.2.1. Sisteme afine pe porțiuni (PWA)	750
29.2.2. Sisteme mixte dinamice și logice (MLD).....	751
29.2.3. Sisteme liniare complementare (LC).....	753
29.2.4. Sisteme <i>Max-Min-Plus-Scaling</i> (MMPS)	754
29.2.5. Echivalența sistemelor MLD, LC, ELC, PWA și MMPS	754
29.2.6. Incluziuni hibride	759
29.3. Sisteme dinamice și bine-puse	759
29.3.1. Sisteme dinamice netede	759
29.3.2. Ecuații diferențiale discontinue	760
29.3.3. Evoluții ale automatelor hibride	762
29.3.4. <i>Well-posedness</i> (bine-puse)	764
29.4. Stabilitatea sistemelor hibride	768
29.5. Stabilizarea sistemelor în comutație	771
29.6. Sinteza legii de comandă optimală pentru sisteme hibride.....	775
29.6.1. Formularea problemei de conducere optimală	775
29.6.2. Conducere predictivă bazată pe model (MPC).....	777
29.6.3. MPC pentru sisteme MLD	780
29.6.4. MPC pentru sisteme MMPS.....	781
29.6.5. MPC pentru sisteme PWA	786
29.7. Rețelele Petri continue și hibride	795
29.7.1. Rețele Petri continue și hibride autonome (<i>Autonomous Continuous and Hybrid Petri Nets</i>).....	796
29.7.2. Rețele Petri continue temporizate cu viteză maximă constantă	801
29.8. Concluzii	815
BIBLIOGRAFIE.....	816
30. SISTEME INTELIGENTE DE CONDUCERE (<i>Ioan DUMITRACHE, Cătălin BUIU, Toma DRAGOMIR</i>)... ..	819
30.1. Introducere	819
30.2. Sisteme inteligente autonome	822
30.3. Sisteme bazate pe cunoștințe (sisteme expert)	826
30.3.1. Introducere	826
30.3.2. Arhitecturi de sisteme expert.....	829
30.3.3. Sisteme expert în timp real.....	833
30.4. Tehnici fuzzy în conducerea proceselor.....	836
30.4.1. Elemente introductive	836
30.4.2. Reglarea fuzzy a proceselor	843
30.4.3. Proiectarea reguletoarelor fuzzy.....	848
30.5. Sisteme de conducere bazate pe rețele neurale.....	855
30.5.1. Rețele neurale artificiale.....	855
30.5.2. Arhitecturi de rețele neurale artificiale.....	858
30.5.3. Algoritmi de antrenare a RNA	860
30.5.4. Rețele neurale aplicate pentru modelarea și conducerea proceselor.....	866
30.6. Algoritmi genetici	868
30.7. Sisteme de conducere bazate pe reguletoare de tip interpolativ	874
30.7.1. Metode matematice de tip interpolativ.....	874
30.7.2. Reglarea cu reguletoare de tip interpolativ bazate pe reguli.....	878
30.8. Tehnici inteligente hibride	889
BIBLIOGRAFIE.....	890
Index de termeni	893
Forward	901
Contents	903

PREFAȚĂ

Al doilea volum al lucrării AUTOMATICA are ca obiectiv prezentarea stadiului actual al cercetărilor din domeniul sistemelor cu mai multe intrări și ieșiri, al sistemelor stocastice, adaptive, inteligente, precum și al sistemelor cu evenimente discrete, al sistemelor hibride, cu întârziere și al celor cu parametri distribuiți.

Acest volum prezintă sintetic atât rezultate teoretice, cât și rezultate procedurale legate de implementarea unor tehnici avansate de conducere a proceselor complexe.

Astfel, în capitolul al 19-lea sunt prezentate principalele aspecte privind Inegalitățile Matriciale Liniare (IML) în teoria sistemelor și în sinteza H_2/H_∞ , dar și metodele numerice pentru rezolvarea problemelor de programare liniară și de programare semidefinită. În același timp, sunt evidențiate domeniile de aplicabilitate a acestor rezultate teoretice în automatică, prelucrarea semnalelor și economie.

Capitolele 20, 21 și 22 se constituie într-o sinteză de actualitate a rezultatelor notabile din domeniul analizei și sintezei sistemelor cu mai multe intrări și mai multe ieșiri. Sunt prezentate principalele instrumente de reprezentare formală a sistemelor multivariabile, reprezentări de stare și reprezentări intrare-ieșire, sub forma unor matrice de transfer raționale. Totodată, sunt prezentate realizări generalizate de stare, dar și elemente structurale în termenii realizărilor. Capitolul al 21-lea tratează cele mai importante rezultate din sinteza sistemelor cu mai multe intrări și mai multe ieșiri (MIMO), fiind evidențiate aspecte specifice de parametrizare a reguletoarelor, reducere pătrată a sistemelor generalizate și sinteză a compensatoarelor cu alocarea structurii, dar și diferite probleme de factorizare, inclusiv factorizări coprime normalizate generale.

Capitolul 22 reprezintă o sinteză a problematicii sistemelor de reglare robustă. Prima parte a capitolului cuprinde rezultate generale în teoria sistemelor și teoria Riccati generalizată. În partea a doua se regăsesc soluțiile unor probleme specifice de reglare robustă, fiind aduse în dezbatere și câteva exemple de triplete Popov importante în reglarea robustă și optimală a sistemelor.

În capitolul 23 sunt prezentate sintetic principalele elemente de analiză și sinteză a sistemelor stocastice de reglare. Prima parte a capitolului descrie elementele esențiale asociate variabilelor și proceselor stocastice, pentru ca în partea a doua să se identifice metodele și procedurile de sinteză a sistemelor supuse acțiunii perturbațiilor descrise ca procese stocastice. Se formulează și se dau soluții problemelor de conducere optimală în mediu stocastic, inclusiv sinteza filtrelor Kalman.

Capitolul 24 sintetizează principalele rezultate teoretice și aplicative referitoare la sistemele adaptive, fiind analizate cele mai eficiente arhitecturi de sisteme adaptive, metode și tehnici de estimare adaptivă, de sinteză a legii de conducere adaptivă, atât pentru SISO, cât și pentru sisteme MIMO.

Problematika conducerii predictive a proceselor este abordată în capitolul al 25-lea. Astfel, se formulează problema conducerii predictive bazate pe model-MPC (Model Predictive Control) și se sintetizează legea de conducere predictivă, pentru modele liniare și modele neliniare. De asemenea, se evidențiază elemente specifice implementării acestor strategii de conducere, în prezența restricțiilor funcționale și structurale impuse de particularitățile proceselor conduse.

O sinteză a celor mai importante rezultate teoretice privind analiza și sinteza sistemelor cu întârziere este prezentată în capitolul al 26-lea. După o scurtă introducere în problematica sistemelor cu întârziere, sunt explicate modelele asociate acestora, ecuațiile diferențiale liniare cu argument

deplasat și soluțiile. Proprietățile structurale și stabilitatea sistemelor cu întârziere sunt, de asemenea, subiecte abordate, pentru ca, partea finală a capitolului să dezbată problema structurilor convenționale de reglarea proceselor cu timp mort.

În capitolul 27 se regăsesc unele rezultate referitoare la modelarea, analiza și sinteza sistemelor cu parametri distribuiți, fiind evidențiate particularitățile sistemelor de conducere a proceselor descrise cu ajutorul ecuațiilor cu derivate parțiale și limitările introduse prin aproximațiile modelelor matematice asociate acestora.

Capitolul 28 sintetizează sistemele cu evenimente discrete, cu prezentarea modelelor asociate, a rețelelor Petri, a rețelelor Petri temporale și hibride, automate etc. Modelele specifice de sinteză a sistemelor cu evenimente discrete, cu exemplificări în domeniul controlului traficului și al fabricației, precum și cele mai importante rezultate din domeniul sistemelor hibride legate de modelare, analiză și sinteză constituie temele capitolului 29, în care este descrisă, ca aplicație, conducerea optimală și predictivă a sistemelor hibride.

Ultimul capitol al acestui volum abordează o sinteză a problematicii sistemelor de conducere inteligente, analizând arhitecturi ale sistemelor inteligente de conducere, metodologii inteligente și arhitecturi ale sistemelor inteligente hibride, cu evidențierea direcțiilor de cercetare și a unor rezultate aplicative ale sistemelor inteligente.

Analiza la zi a principalelor rezultate din domeniul teoriei sistemelor, al strategiilor avansate de conducere a proceselor, caracterizate prin modele matematice și modele lingvistice, evidențiază necesitatea utilizării unor modele cu adecvanță maximă la realitate în cazul unor procese de mare complexitate.

Integrarea calculatoarelor, a comunicațiilor și a strategiilor avansate de conducere a proceselor fizice generează o nouă clasă de sisteme complexe de tipul Cyber Physical Systems (CPS). Modelarea, analiza și proiectarea acestor sisteme cu luarea în considerație atât a calității performanțelor (QoC), cât și a puterii de calcul și a comunicațiilor ca servicii (QoS) presupun dezvoltarea unei noi teorii a sistemelor complexe, o teorie a „sistemelor de sisteme”.

Larga aplicabilitate a acestor sisteme complexe impune considerarea tuturor aspectelor legate de funcționarea ca sisteme stocastice, neliniare hibride, însă, impactul acestei paradigme CPS asupra științei și tehnologiei este astăzi greu de estimat.

Prof. univ. dr. ing. Ioan Dumitrache
Membru corespondent al Academiei Române

FORWARD

The second volume of AUTOMATICA is aiming at presenting the current status of multiple-input multiple-output systems, of stochastic, adaptive, intelligent systems, as well as discrete event systems, hybrid systems, delayed systems and distributed parameters systems.

This volume synthesizes both theoretical and procedural results regarding the implementation of advanced control techniques for complex processes.

Hereby, in chapter 19 of this work there are presented the main aspects regarding Linear Matrix Inequalities (LMIs) in systems theory and H_2/H_∞ synthesis, but also numerical methods for solving linear programming and semidefinite programming problems. At the same time, the domains from automation, signal processing and economics in which these theoretical results can be applied, are also presented.

Chapters 20, 21 and 22 represent an up-to-date synthesis of notable results from the domain of analysis and synthesis for multiple-input, multiple-output systems. The main tools for formal representation of multivariable systems, state space representation, and input-output representations, under the form of rational transfer matrices, are presented. At the same time, generalized state realizations are presented, as well structural elements in terms of realizations. Chapter 21 overviews the most important results from multiple-input multiple-output (MIMO) systems synthesis, while highlighting specific aspects regarding controller parameterization, squaring down of generalized systems and the synthesis of compensators with structural allocation, as well as different factorization problems, including normalized general coprime factorizations.

Chapter 22 represents a synthesis of the problematic of robust control systems. The first part of the chapter encompasses general results in systems theory and generalized Riccati theory. In the second part, the solutions to specific robust control problems are to be found, with a few examples of important Popov triplets in robust and optimal control of systems being brought into debate.

In chapter 23 the main elements for analysis and synthesis of stochastic control systems are synthetically presented. The first part of the chapter describes essential elements associated to stochastic variables and processes, while the second part identifies the synthesis methods and procedures for systems under the influence of disturbances which are described as stochastic processes. Problems arising from stochastic optimal control are presented and their solutions given, including the synthesis of Kalman filters.

Chapter 24 synthesizes the main theoretical and applicative results regarding adaptive systems, with the most efficient architectures for adaptive systems being analyzed, as well as methods and techniques for adaptive estimation and adaptive control law synthesis, both for SISO and MIMO systems.

The problematic of process predictive control is approached in chapter 25. Hence, the model based predictive control (MPC) problem is formulated and the predictive control law is synthesized for linear and nonlinear models. Also, the specific elements regarding the implementation of these control strategies are highlighted, in the presence of functional and structural restrictions imposed by the particularities of the controlled processes.

A synthesis of the most important theoretical results regarding the analysis and synthesis of time-delay systems are presented in chapter 26. After a brief introduction in the problematic of time-delay systems, their associated models are explained, the linear differential equations with retarded argument and their solutions. The structural properties and the stability of time-delay

systems are also approached, such that the final part of the chapter debates the problem of conventional control structures for processes with dead time.

In chapter 27, results regarding the modeling, analysis and synthesis for distributed parameter systems are to be found, with the particularities of control systems for processes described with the help of partial derivative equations being highlighted, as well as the limitations introduced by the approximations of their associated mathematical models.

Chapter 28 synthesizes discrete event systems, while presenting their respective models, Petri networks, as well as temporal, hybrid and automated Petri networks. The specific synthesis models of discrete event systems, with examples from traffic control and manufacturing, as well as important results from hybrid systems regarding modeling, analysis and synthesis constitute the themes of chapter 29, in which is described, as an application, the predictive and optimal control of hybrid systems.

The final chapter of this volume approaches a synthesis of the problematic of intelligent control systems, analyzing architectures of intelligent control systems, intelligent methodologies and architectures of intelligent hybrid systems, with highlighting the directions of research and some applicative results of intelligent systems.

The up-to-date analysis of the main results in systems theory, of advanced control strategies, characterized by mathematical models and linguistic models, highlight the necessity of using models with maximum adequacy towards reality in the case of very complex systems.

The integration of computers, of communications and advanced control strategies for physical processes creates a new class of complex systems of Cyber Physical Systems (CPS) type. The modeling, analysis, and design of these systems, with taking into consideration of both quality of control (QoC), as well as computing power and communications as services (QoS or quality of service) imply the development of a new theory on complex systems, a theory of “systems of systems”.

The wide applicability of these complex systems implies the consideration of all aspects regarding the functioning of these systems as stochastic, nonlinear hybrids systems, but, the impact of this CPS paradigm upon science and technology is difficult to estimate today.

Prof. Dr. Ioan Dumitrache
Corresponding member of the Romanian Academy

CONTENTS

Foreword	XIII
Notations, symbols and acronyms	XV
19. DISSIPATIVE SYSTEMS (<i>Corneliu POPEEA and Jora BORIS</i>).....	1
19.1. Introduction	1
19.2. Linear matrix inequalities in systems theory	3
19.1.1. Linear systems	3
19.1.2. Quadratic Lyapunov functions	5
19.1.3. Exercises.....	9
19.3. Internal properties.....	17
19.3.1. Lyapunov equations and inequalities. Stability	17
19.3.2. Dichotomy	21
19.3.3. The discrete case.....	21
19.3.4. LMI in stabilizing compensator synthesis	23
19.3.5. Exercises.....	27
19.4. Input/output properties	38
19.4.1. Contractive systems.....	39
19.4.2. Passive systems	46
19.4.3. Dissipative systems	51
19.4.4. Positive systems.....	56
19.4.5. The discrete case.....	58
19.4.6. LMI in H_2/H_∞ synthesis.....	61
19.4.7. Exercises.....	77
19.5. Linear programming problems	92
19.5.1. Formulating linear programming problems.....	93
19.5.2. Duality in linear programming	95
19.5.3. Interior point methods	97
19.6. Semidefinite programming problems (SDP).....	100
19.6.1. Formulating SDP problems	102
19.6.2. Duality in SDP.....	102
19.6.3. Interior point methods	106
REFERENCES	110
20. MIMO SYSTEMS ANALYSIS (<i>Cristian OARĂ</i>).....	115
20.1. Matrix pencils.....	116
20.1.1. Regular matrix pencils.....	116
20.1.2. Deflation subspaces of a regular pencil	119
20.1.3. Singular matrix pencils.....	123
20.1.4. Deflating subspaces of singular pencils.....	130
20.2. Rational transfer matrices	132
20.2.1. Generalized Smith-McMillan form	133
20.2.2. Local Smith-McMillan form	135
20.2.3. Poles and zeroes	136
20.2.4. Minimal indices.....	139
20.2.5. Minimal indices of matrix pencils	140
20.3. Generalized state-space realizations.....	141
20.3.1. Centered state-space realizations.....	141
20.3.2. Polynomial realizations	148
20.3.3. Generalized state-space realizations by inspection.....	150
20.3.4. Conversions between generalized realizations	152
20.4. Structural elements in terms of realizations.....	155

20.4.1. Nonproper centered realizations	155
20.4.2. Proper centered realizations	157
20.4.3. Polynomial realizations	158
20.5. Notes and references	160
REFERENCES	160
21. MIMO SYSTEMS SYNTHESIS (Cristian OARĂ)	162
21.1. Parameterization of Omega-stabilizing controllers	163
21.1.1. Doubly-coprime factorizations of generalized state-space systems	163
21.1.2. Parameterization of controllers and closed-loop systems	166
21.1.3. A numerical example	167
21.2. Squaring-down generalized state-space systems	169
21.2.1. Spectral decomposition of the system pencil	170
21.2.2. Squaring down	174
21.2.3. A numerical example	176
21.3. Synthesis of compensators achieving a desired structure	179
21.3.1. Zeroes compensators	181
21.3.2. Singular structure compensators	190
21.3.3. Poles compensators	199
21.4. (J,J) – lossless and spectral factorizations in the general case	202
21.4.1. Spectral decomposition of pole and system pencils	204
21.4.2. The factorizations	205
21.4.3. Algorithms and numerical example	208
21.5. Normalized coprime factorizations in the general case	210
21.6. Notes and references	214
REFERENCES	214
22. ROBUST SYSTEMS (Cristian OARĂ)	218
22.1. Preliminaries	219
22.1.1. Linear systems	219
22.1.2. Spaces of rational matrices, norms and continuity	221
22.1.3. Gramians and Hankel singular values	223
22.1.4. L^2 evolutions	225
22.2. Popov triplets	232
22.2.1. Definitions, equivalence, and significance	233
22.2.2. Objects associated with a Popov triplet	234
22.2.3. Important particular cases	243
22.3. Generalized Riccati theory	244
22.3.1. Existence of the stabilizing solution: the stable case	245
22.3.2. Removing the stability assumption	247
22.3.3. Existence of the stabilizing solution: the antistable case	248
22.3.4. The signature condition	249
22.3.5. Frequency conditions	251
22.3.6. Algebraic Riccati inequalities	255
22.4. Riccati equations and matrix pencils	255
22.4.1. The generalized eigenvalue structure of a regular extended Hamiltonian pencil	255
22.4.2. Algebraic Riccati equations and extended Hamiltonian pencils	257
22.4.3. The Bernoulli equation	258
22.4.4. The Kronecker structure of a singular extended Hamiltonian pencil	259
22.4.5. The generalized algebraic Riccati system and the extended Hamiltonian pencil	261
22.5. Numerical computation of Riccati solutions	263
22.5.1. Basic algorithms	263
22.5.2. Computation of proper deflating subspaces	268
22.5.3. Computation of solutions for Riccati equations and systems	271
22.6. Applications in Systems Theory	273
22.6.1. Bounded real lemma	273
22.6.2. Convergence of the positivity algebraic Riccati equation	274
22.6.3. Normalized coprime factorizations	276
22.6.4. Small gain theorem	276

22.6.5. Quadratic index with constrained dynamics.....	277
22.6.6. Spectral and inner-outer factorizations: the arbitrary rank case	278
22.7. Nehari approximation problem.....	279
22.7.1. Nehari problem and the signature condition.....	279
22.7.2. Parrott's problem.....	282
22.7.3. Necessary and sufficient solvability conditions	284
22.8. The optimal H^2 control problem.....	287
22.8.1. Alternative H^2 norm evaluation.....	289
22.8.2. The optimal solution.....	290
22.9. The suboptimal H^∞ infinity control problem.....	291
22.9.1. Problem statement	291
22.9.2. Basic assumptions	293
22.9.3. Redheffer's theorem.....	295
22.9.4. The solution.....	296
22.9.5. The solution under normalizing assumptions.....	298
22.9.6. State-space solution.....	300
22.10. Robust stabilization	301
22.10.1. Problem statement.....	301
22.10.2. Optimal solution.....	304
22.10.3. Robust stabilization for normalized coprime factors uncertainties.....	310
22.10.4. Robust stabilization for multiplicative uncertainties.....	312
22.11. Notes and references	315
REFERENCES.....	316
23. STOCHASTIC SYSTEMS (Marin CONSTANTIN and Ioan DUMITRACHE).....	319
23.1. Elements of probability theory and random variables.....	319
23.1.1. Random events and experiments	319
23.1.2. Probability types.....	321
23.1.3. Random variables and their probabilistic characteristics	322
23.1.4. Statistical characteristics of random variables.....	325
23.1.5. Characteristics of joined random variables.....	329
23.1.6. Probabilistic and statistical characteristics of random vectors and matrices	333
23.1.7. Examples of random variables. Normal or Gaussian distribution.....	339
23.1.8. Functions of random variable.....	342
23.2. Stochastic processes	345
23.2.1. Gauss-Markov processes.....	346
23.3. Stochastic differential equations.....	350
23.3.1. Mean-square calculus.....	350
23.3.2. Wiener integrals	351
23.3.3. Itô integrals	353
23.3.4. Stochastic and exponential differential equations	354
23.3.5. Probability density function propagation	356
23.3.6. Fourier analysis of random processes.....	358
23.4. Stochastic process control.....	360
23.4.1. Formulating the optimal control problem.....	362
23.4.2. Optimal control synthesis.....	365
23.4.3. Optimal LQG problem with partial information	367
23.5. Minimum variance control algorithms	371
23.5.1. Introduction	371
23.5.2. Optimal predictor synthesis.....	372
23.5.3. Minimum variance control synthesis.....	375
23.5.4. Minimum variance algorithms with input penalties	378
23.5.5. Modified minimum variance algorithms	381
23.5.6. Problems of implementing minimum variance algorithms.....	384
23.5.7. Minimum variance algorithms for multivariable processes	386
REFERENCES.....	388

24. ADAPTIVE SYSTEMS (<i>Ioan DUMITRACHE, Emil PETRE, Clement FEȘTILĂ</i>)	389
24.1. Introduction	389
24.1.1. Structure of model reference adaptive systems	392
24.1.2. Structure of model identification adaptive systems	395
24.2. Adaptive parameter estimation	398
24.2.1. State-space models	399
24.2.2. Input/output models	401
24.2.3. Model parameterizations	405
24.2.4. Online parameter estimation for continuous processes	415
24.2.5. Online parameter estimation for discrete processes	436
24.3. Model reference adaptive systems (MRAS)	442
24.3.1. Introduction	442
24.3.2. Model reference adaptive control design for SISO processes	448
24.3.3. General synthesis procedure for MRAS	453
24.4. Model identification adaptive systems (self-tuning adaptive systems)	457
24.4.1. Indirect self-tuning controllers	457
24.4.2. Direct self-tuning controllers	461
24.5. State feedback adaptive systems	464
24.5.1. SISO case	464
24.5.2. MIMO case	467
24.6. Adaptive control of nonlinear systems	475
24.6.1. Linearizing control of a class of nonlinear systems	476
24.6.2. Minimum-phase systems	484
24.6.3. Adaptive control of nonlinear minimum-phase systems	488
24.7. Robust adaptive controllers parameterization	494
REFERENCES	504
25. PREDICTIVE CONTROL (<i>Corneliu LAZĂR</i>)	506
25.1. Introduction	506
25.2. Predictive control of single input – single output linear systems	507
25.2.1. Predictive control concept	508
25.2.2. Models and predictors	510
25.2.3. Objective function	514
25.2.4. Predictive control algorithm synthesis	519
25.2.5. Tuning of predictive control algorithms parameters	526
25.3. Predictive control of linear multivariable systems	528
25.3.1. Models and predictors	528
25.3.2. Objective function	537
25.3.3. Multivariable predictive algorithm	538
25.3.4. Performances	541
25.4. Predictive control of nonlinear systems	542
25.4.1. Problem formulation	542
25.4.2. Nonlinear predictive control with guaranteed stability	545
REFERENCES	549
26. DELAY SYSTEMS (<i>Răsvan VLADIMIR</i>)	551
26.1. Delays in systems dynamics. Examples and models	551
26.1.1. Models of burning dynamics	552
26.1.2. Models from mechanical engineering	552
26.1.3. Models from nonlinear optics and laser physics	553
26.1.4. Traffic models	553
26.2. Delays in control systems. Systemic (input/output) approach and Newtonian (state) approach	554
26.3. Differential equations with deviating argument	559
26.4. Differential equations with constant deviating argument and constant coefficients	561
26.5. Laplace transform in delayed systems analysis. Forced transition and the transfer function	566
26.6. Controllability and punctual degeneration	570
26.7. Stability and asymptotic behavior for delayed linear systems	572
26.8. Lyapunov-Krasovskii functionals	579

26.9. Nonlinearity and delay. V.M. Popov frequency criterion and the describing function method	584
26.10. Conventional control of time-delayed systems.....	586
26.11. The Smith predictor and its developments	590
26.12. Finite spectral allocation in systems with input delay	594
26.13. About the stabilizing role of the delay.....	598
REFERENCES	601
27. CONTROL OF PROCESSES WITH DISTRIBUTED PARAMETERS (<i>Tiberiu COLOȘI, Mihai ABRUDEAN, Vlad MUREȘAN</i>).....	603
27.1. Introduction. Evolution of distributed parameters systems control.....	603
27.1.1. Consolidation stage of mathematical models Distributed Parameters Systems (DPS) and Control of DPS (CDPS).....	603
27.1.2. Consolidation stage of industrial applications specific to Distributed Parameters Systems (DPS) and Control of DPS (CDPS)	604
27.1.3. Problems and trends developments	605
27.2. Specific models of distributed parameters systems.....	606
27.2.1. Introductory theoretical issues.....	606
27.3. Structural properties and analysis of distributed parameter systems (DPS).....	609
27.3.1. Distributed parameter system stability	609
27.3.2. Observability of distributed parameter linear systems	610
27.3.3. Controllability of distributed parameter systems.....	614
27.4. Distributed parameter systems controller design.....	616
27.4.1. Controller design problems (issues)	616
27.4.2. H_{∞} control.....	621
27.4.3. Controller design based on the backstepping method. Application – unstable heat equation.....	629
27.4.4. Unstable heat equation	633
27.4.5. Preliminary observer structure	635
27.4.6. Lyapunov-based design	637
27.4.7. Design by passive equalization identifiers	639
27.5. Case studies	641
27.5.1. Systems with advective diffusion	641
27.5.2. Complex-coupled systems.....	642
27.5.3. First-order hyperbolic systems	643
27.5.4. Wave equation.....	644
27.5.5. Elastic beams.....	646
27.6. Conclusions	647
APPENDIX	648
A.1 Classical methods for numerical integration of differential and partial derivative equations.....	648
A.2 Approximant solution method via M_{dpx} and Taylor series for linear EDP II.2.....	650
A.2 Approximant solution method via M_{dpx} and Taylor series for nonlinear EDP II.2	652
REFERENCES	654
28. DISCRETE EVENT SYSTEMS (<i>Aurelian Mihai STĂNESCU, Viorel MĂNZU, Simona Iuliana CARAMIHAI, Octavian PĂSTRĂVANU</i>).....	658
28.1. Introduction	658
28.2. Methodological and Conceptual Frame.....	661
28.3. Supervised Control of DES	667
28.4. Theory of Discrete Event Systems (DES).....	667
28.4.1. Multi-representation modeling of Discrete Event Systems	667
28.4.2. State-machines representation of DES	668
28.4.3. Queuing Systems representation of DES.....	741
28.4.4. Representation of DES via models based on activity flows and common resource allocation ...	712
28.4.5. DES Analysis	718
28.4.6. Closed-loop synthesis of DES	723
28.5. DES Engineering.....	732
28.5.1. Flexible manufacturing systems as case study for systems engineering	732
28.5.2. Controller design based on GRAFCET standards.....	735

28.5.3. Design of supervised control systems	737
REFERENCES.....	743
29. HYBRID SYSTEMS (<i>Ioan DUMITRACHE, Ion NECOARA, Simona CARAMIHAI</i>).....	748
29.1. Introduction	748
29.2. Hybrid system modeling	750
29.2.1. Piecewise affine (PWA) systems.....	750
29.2.2. Mixed logical dynamical systems (MLD).....	751
29.2.3. Complementary linear systems.....	753
29.2.4. Max-Min-Plus-Scaling (MMPS) systems	754
29.2.4. Equivalence of MLD, LC, ELC, PWA and MMPS systems	754
29.2.5. Hybrid inclusions	759
29.3. Dynamic and well-posedness systems.....	759
29.3.1. Smooth dynamic systems	759
29.3.2. Discontinuous differential equations	760
29.3.3. Evolution of hybrid automates	762
29.3.4. Well-posedness	764
29.4. Hybrid systems stability	768
29.5. Switching systems stability	771
29.6. Optimal control law synthesis for hybrid systems.....	775
29.6.1. Formulating the optimal control problem.....	775
29.6.2. Model predictive control (MPC)	777
29.6.3. MPC for MLD systems	780
29.6.4. MPC for MMPS systems.....	781
29.6.5. MPC for PWA systems	786
29.7. Continuous and hybrid Petri networks	795
29.7.1. Autonomous continuous and hybrid Petri nets.....	796
29.7.2. Temporized continuous Petri nets with constant maximum speed.....	801
29.8. Conclusions.....	815
REFERENCES.....	816
30. INTELLIGENT CONTROL SYSTEMS (<i>Ioan DUMITRACHE, Buiu CĂȚĂLIN, Toma DRAGOMIR</i>)...	819
30.1. Introduction	819
30.2. Autonomous intelligent systems.....	822
30.3. Knowledge based systems (expert systems).....	826
30.3.1. Introduction	826
30.3.2. Expert systems architectures	829
30.3.3. Real time expert systems.....	833
30.4. Fuzzy techniques in process control.....	836
30.4.1. Introductory notions	836
30.4.2. Fuzzy process control.....	843
30.4.3. Fuzzy controller design	848
30.5. Neural network based control systems	855
30.5.1. Artificial neural networks.....	855
30.5.2. Artificial neural networks architectures	857
30.5.3. Training algorithms	860
30.5.4. Applied neural networks for process modeling and control	866
30.6. Genetic algorithms	875
30.7. Control systems based on interpolating regulators.....	874
30.7.1. Mathematical interpolating models	874
30.7.2. Rule based interpolating control.....	878
30.8. Hybrid intelligent techniques	889
REFERENCES.....	890
Index terms	893
Foreword	901