

# Cuprins

<b>1. Privire de ansamblu .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Interfața versatilă de achiziție a datelor (VISA) .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1. Arhitectura generală a subsistemului mobil .....</b>	<b>4</b>
<b>2.2. Proiectarea modulelor de interfață .....</b>	<b>7</b>
2.2.1. Unitatea centrală .....	7
2.2.2. Subsistemul intrărilor analogice .....	8
2.2.3. Subsistemul ieșirii analogice .....	10
2.2.4. Interfața pentru magistrala de comunicație .....	10
2.2.5. Interfața de comunicație radio .....	11
2.2.6. Acumulatorul .....	13
2.2.7. Stabilizatorul de tensiune .....	13
2.2.8. Modulul pentru încărcarea acumulatorului .....	13
<b>2.3. Funcțiile modulelor de interfață .....</b>	<b>14</b>
2.3.1. Achiziția datelor de la senzori .....	14
2.3.2. Generarea semnalelor de probă .....	24
<b>2.4. Modulul de conectare .....</b>	<b>25</b>
2.4.1. Unitatea centrală .....	25
2.4.2. Interfața pentru magistrala de comunicație .....	26
2.4.3. Interfața de comunicație radio .....	26
2.4.4. Interfața USB .....	26
2.4.5. Acumulatorul și stabilizatorul de tensiune .....	27
2.4.6. Modulul pentru încărcarea acumulatorului .....	27
2.4.7. Funcțiile modulului de conectare .....	28
<b>2.5. Modulul de comunicație .....</b>	<b>28</b>
<b>2.6. Proiectarea interfeței de comunicație radio .....</b>	<b>30</b>
2.6.1. Elemente de bază .....	30
2.6.2. Schema electronică a interfeței de comunicație radio .....	32
A. Unitatea centrală .....	32
B. Circuitul formator de semnal .....	33
C. Circuitul de condiționare a semnalului .....	35
D. Transceiverul radio .....	36
2.6.3. Metoda de modulare-demodulare a semnalului .....	37
A. Considerații generale .....	37
B. Modulația cu multiplexare pe frecvențe ortogonale .....	40
C. Demodularea semnalului recepționat .....	42
2.6.4. Stabilirea protocolului de comunicație .....	44
<b>3. Configurarea pachetelor de senzori .....</b>	<b>45</b>
<b>3.1. Considerații generale .....</b>	<b>45</b>
<b>3.2. Caracteristici generale ale trusei de senzori eco-meteorologici Crossbow .....</b>	<b>46</b>
<b>3.3. Descriere succintă a eKo-senzorilor și componentelor auxiliare .....</b>	<b>49</b>
3.3.1. EKo-nodul eN2100 .....	49
3.3.2. EKo-senzorul eS1101, de umiditate și temperatură în sol .....	52

3.3.3. EKO-senzorul eS1201, de umiditate și temperatură în mediul ambiant .....	52
3.3.4. Puntea de legătură (gateway) eG2100 și stația radio eB2110 .....	53
3.4. Cîteva detalii privind măsurarea temperaturii și umidității din sol .....	53
3.5. Cîteva detalii privind măsurarea temperaturii și umidității din mediul ambiant .....	55
4. Modele clasice de predicție ale seriilor de timp .....	57
4.1. Fenomene stocastice, serii de timp și modele clasice de predicție .....	57
4.2. Estimarea tendinței (polinomiale a) unei serii de timp .....	60
4.3. Estimarea componentei sezoniere .....	62
4.3.1. Metoda Wittacher-Robinson (în timp) .....	62
4.3.2. Metoda periodogramei Schuster (în frecvență) .....	64
4.4. Estimarea componentei aleatoare .....	68
4.4.1. Modelul auto-regresiv (AR) .....	68
4.4.2. Modelul auto-regresiv de medie alunecătoare (ARMA) .....	71
4.5. Predicția seriei de timp .....	72
4.5.1. Extrapolarea componentelor deterministe .....	72
4.5.2. Predicția componentei nedeterminate de tip AR .....	73
4.5.3. Predicția componentei nedeterminate de tip ARMA .....	74
4.6. Calitatea predicției .....	76
4.7. Alegerea predictorului optimal folosind calitatea predicției .....	78
4.8. Algoritmul general de predicție .....	79
5. Modele cu reprezentare pe stare, ale seriilor de timp distribuite .....	82
5.1. Despre filtrarea Kalman .....	82
5.2. Reprezentarea discretă pe stare a rețelei de senzori .....	84
5.3. Identificarea adaptivă a unui model ARMAX multi-dimensional .....	86
5.4. Conversia unui model ARMAX într-un model de stare .....	89
5.5. Estimatorul Markov în variantă adaptivă .....	96
5.6. Algoritmul Kalman-Bucy-Markov .....	99
5.7. Predictorul Kalman-Bucy-Markov optimal .....	107
6. Primele rezultate ale subsistemului mobil în funcțiune .....	109
6.1. Detalii privind implementarea algoritmilor clasici de predicție .....	109
6.2. Analiza rezultatelor de simulare pentru seria de timp a radiației solare .....	114
7. Concluzii și perspective .....	118
Anexa A. Descrierea inițială a proiectului .....	119
Anexa B. Proiectul de execuție al interfeței VISA .....	127
Anexa C. Listinguri ale programelor și rutinelor simulatorului <b>PARMA</b> .....	140
B.1. Programe principale .....	140
B.2. Rutine auxiliare .....	155
Anexa D. Rezultate de predicție obținute cu ajutorul simulatorului <b>PARMA</b> .....	189
Bibliografie .....	207

## Lista figurilor

1.1. Structura minimală a subsistemului fix de calcul, utilizat în laborator. ....	2
1.2. Structura minimală a subsistemului mobil de calcul, utilizat în teren. ....	3
2.1. Arhitectura generală a unității mobile. ....	6
2.2. Schema bloc a modului de interfață VISA. ....	7
2.3. Conectarea microcontrolerului ADUC832 în circuit. ....	9
2.4. Circuitul de adaptare a semnalului achiziționat. ....	9
2.5. Circuitul de adaptare a semnalului pentru ieșirea analogică. ....	10
2.6. Circuitul de adaptare pentru magistrala de comunicație (RS-485). ....	11
2.7. Circuitul de comunicație radio. ....	12
2.8. Stabilizatorul de tensiune. ....	13
2.9. Circuitul pentru încărcarea acumulatorului. ....	14
2.10. O schemă de prelucrare clasică a semnalelor, cu prefiltrare analogică. ..	16
2.11. Principiul prefiltrării semnalului prin intermediul unui filtru hibrid analogic-numeric. ....	17
2.12. Implementarea mecanismului de eșantionare și filtrare. ....	17
2.13. Caracteristicile de frecvență ale filtrelor eliptice proiectate. ....	19
2.14. Corespondența dintre valorile curentului furnizat de senzori și valoarea numerică oferită de CAN. ....	21
2.15. Fenomenul de neliniaritate asociat măsurării cu ajutorul senzorilor. ....	22
2.16. Schema bloc a modului de conectare al interfeței VISA. ....	25
2.17. Structura microcontrolerului de conectare ADUC832 în circuit. ....	26
2.18. Circuitul de interfață USB. ....	27
2.19. Circuitul pentru încărcarea acumulatorului. ....	28
2.20. Modelul comunicației. ....	29
2.21. Formatul unui mesaj vehiculat pe canalul de comunicație. ....	29
2.22. Modulația în cod Manchester. ....	30
2.23. Modulația în fază. ....	31
2.24. Structura interfeței de comunicație radio. ....	32
2.25. Unitatea centrală – microcontroler cu procesor de semnal. ....	32
2.26. Semnal cu impulsuri modulate în durată. ....	34
2.27. Circuitul formator de semnal (filtrul trece-jos). ....	34
2.28. Circuitul de condiționare a semnalului. ....	35
2.29. Conectarea transceiverului radio. ....	36
2.30. Metoda creșterii raportului semnal-zgomot prin limitarea benzii utile. ....	37
2.31. Influența SNR asupra probabilității de apariție a erorilor în cazul diferitelor tehnici de modulație. ....	39
2.32. O strategie de aproximare a fazelor calculate. ....	43
2.33. Structura unui pachet de date transmis de interfața radio. ....	44
2.34. Organizarea informației în interfața de achiziție a datelor. ....	45
3.1. Principiul conectării eKo-senzorilor în rețea. ....	47
3.2. Integrarea senzorilor, interfeței VISA și calculatorului portabil într-un tot unitar. ....	47
3.3. O rețea de eKo-senzori în spațiu deschis. ....	47
3.4. O rețea de eKo-senzori într-o seră. ....	48
3.5. Instalarea eKo-nodurilor în vederea efectuării primelor teste. ....	48
3.6. Amplasarea unui eKo-nod în vecinătatea unei plante de interior. ....	49
3.7. Calculatorul portabil din cadrul unității mobile afișând datele preliminare legate de rețeaua de eKo-senzori. ....	50

3.8. Informații de detaliu despre rețeaua de eKo-senzori și semnalele măsurate, afișate de către calculatorul portabil. ....	50
3.9. Imagini ale eKo-nodului eN2100. ....	51
3.10. Baza eKo-nodului eN2100. ....	51
3.11. EKo-senzorul eS1101 de temperatură și umiditate în sol. ....	52
3.12. EKo-senzorul eS1201 de temperatură și umiditate în mediul ambiant. ....	52
3.13. Puntea de legătură eG2100 (stînga) și baza radio eB2110 (dreapta). ....	53
3.14. Variația umidității din sol în raport cu tensiunea acestuia, pentru diferite tipuri de sol. ....	54
3.15. Variația tensiunii din sol în raport perioadele de irigare, pe durata unei luni de zile. ....	55
3.16. Curbele de precizie ale eKo-senzorului eS1201. ....	56
4.1. Componentele clasice ale unui model numeric de predicție. ....	59
4.2. Determinarea perioadei optime cu Metoda Wittacker-Robinson. ....	64
4.3. Determinarea perioadei optime cu Metoda periodogramei Schuster. ....	66
4.4. Reprezentarea uzuală a datelor predictate și a preciziei asociate. ....	77
6.1. Fereastra principală a simulatorului <b>PARMA</b> , bazat pe algoritmi clasici de predicție. ....	109
6.2. Structura unui fișier de date pentru simulatorul <b>PARMA</b> . ....	110
6.3. Fereastra simulatorului <b>PARMA</b> , în cursul determinării modelelor de predicție. ....	112
6.4. Ferestrele de încărcare a unui context matematic în mediul de programare. ....	113
6.5. Localizarea unității mobile pe teritoriul Finlandei. ....	115
C.1. Seria de timp a radiației solare măsurate în Finlanda (la latitudinea de 61°), pe durata a 4 zile de vară. Componenta deterministă optimală în cazul modelului stocastic de tip AR optimal. ....	190
C.2. Seria de timp a radiației solare, împreună cu modelul de predicție de tip AR optimal. ....	191
C.3. Eroarea de predicție obținută cu modelul de tip AR optimal. ....	192
C.4. Performanța predicției, realizată cu ajutorul modelului de tip AR optimal. ....	193
C.5. Variația funcției de calitate a predicției în raport cu ordinul modelului de tip AR. ....	194
C.6. Seria de timp a radiației solare măsurate în Finlanda (la latitudinea de 61°), pe durata a 4 zile de vară. Componenta deterministă optimală în cazul modelului stocastic de tip MA optimal. ....	195
C.7. Seria de timp a radiației solare, împreună cu modelul de predicție de tip MA optimal. ....	196
C.8. Eroarea de predicție obținută cu modelul de tip MA optimal. ....	197
C.9. Performanța predicției, realizată cu ajutorul modelului de tip MA optimal. ....	198
C.10. Variația funcției de calitate a predicției în raport cu ordinul modelului de tip MA. ....	199
C.11. Seria de timp a radiației solare măsurate în Finlanda (la latitudinea de 61°), pe durata a 4 zile de vară. Componenta deterministă optimală în cazul modelului stocastic de tip ARMA optimal. ....	200
C.12. Seria de timp a radiației solare, împreună cu modelul de predicție de tip ARMA optimal. ....	201
C.13. Eroarea de predicție obținută cu modelul de tip ARMA optimal. ....	202

<b>C.14. Performanța predicției, realizată cu ajutorul modelului de tip ARMA optimal. ....</b>	<b>203</b>
<b>C.15. Variația funcției de calitate a predicției în raport cu ordinele modelului de tip ARMA. ....</b>	<b>204</b>
<b>C.16. Variația maximului funcției de calitate în raport cu gradul tendinței, pentru cele 3 tipuri de modele (AR, MA și ARMA). ....</b>	<b>205</b>

### Lista tabelelor

<b>2.1. Coeficienții polinoamelor funcției de sistem ai unor filtre eliptice. ....</b>	<b>19</b>
<b>2.2. Coeficienții etajelor de ordinul 2 din implementarea filtrului eliptic de ordin 6. ....</b>	<b>20</b>
<b>2.3. Coduri diferențiale ale simbolului curent, reprezentate pe 2 biți. ....</b>	<b>41</b>
<b>2.4. Valorile curente real-imaginar ale caracteristicii de fază. ....</b>	<b>41</b>
<b>C.1. Valori ale maximului funcției de calitate și indicilor structurali optimali ai modelelor (AR)(MA), în raport cu gradul tendinței. ....</b>	<b>206</b>

### Lista algoritmilor

<b>4.1. Algoritmul Levinson-Durbin. ....</b>	<b>70</b>
<b>4.2. Strategia generală de selecție a indicilor structurali pentru predictorii din clasa (AR)(MA). ....</b>	<b>79</b>
<b>4.3. Un algoritm clasic de predicție a proceselor stocastice. ....</b>	<b>80</b>
<b>5.1. Procedura de conversie a unui model SISO-ARMAX într-un model cu reprezentare pe stare. ....</b>	<b>95</b>
<b>5.2. Estimatorul Markov în variantă adaptivă. ....</b>	<b>100</b>
<b>5.3. Algoritmul de predicție cu un pas (prin filtrare) Kalman-Bucy-Markov. ....</b>	<b>104</b>
<b>5.4. Algoritmul de predicție multi-pas (prin filtrare) Kalman-Bucy-Markov. ....</b>	<b>105</b>