

Table des matières

Introduction	11
Maryline CHETTO et Audrey QUEUDET	
Chapitre 1. L'informatique temps réel	13
Audrey QUEUDET	
1.1. Qu'est-ce qu'un système temps réel ?	14
1.1.1. La terminologie « temps réel »	14
1.1.2. Caractéristiques et propriétés des systèmes temps réel . . .	14
1.2. Classification des systèmes temps réel	16
1.2.1. <i>Hard</i> , <i>soft</i> ou <i>firm</i> : quelles exigences temporelles ?	16
1.2.2. <i>Event-Triggered</i> versus <i>Time-Triggered</i> : quel cadencement ?	17
1.3. Exemples typiques de systèmes temps réel	19
1.3.1. Systèmes avioniques	19
1.3.2. Systèmes multimédia	21
1.3.3. Systèmes médicaux	23
1.4. Systèmes d'exploitation temps réel : quelles spécificités ?	24
1.4.1. Ordonnancement des tâches	25
1.4.2. Préemption noyau	26
1.4.3. Allocation dynamique de mémoire	26
1.4.4. Gestion des interruptions	27
1.4.5. Configurations matérielles	28

1.5. Exemples de systèmes d'exploitation temps réel	
dans l'embarqué	28
1.5.1. FreeRTOS	28
1.5.2. μ C/OS-III	29
1.5.3. Keil RTX	32
1.5.4. Nucleus	33
1.5.5. ThreadX-lite	34
1.5.6. Contiki	35
1.6. Conclusion	36

Chapitre 2. Fondamentaux de l'ordonnancement temps réel

39

Audrey QUEUDET

2.1. Caractérisation et modélisation des tâches temps réel	40
2.1.1. Définitions	40
2.1.2. Modélisation des tâches	41
2.2. Problématique de l'analyse d'ordonnançabilité	44
2.2.1. Définitions de base liées à l'analyse d'ordonnançabilité . .	45
2.2.1.1. Le facteur d'utilisation	45
2.2.1.2. Le facteur de charge	45
2.2.1.3. La demande processeur	46
2.2.2. Approches pour l'analyse d'ordonnançabilité	47
2.2.2.1. Analyse du facteur d'utilisation	47
2.2.2.2. Analyse de la demande processeur	47
2.2.2.3. Analyse du temps de réponse	47
2.3. Problématique de l'ordonnancement monoprocesseur	48
2.3.1. Typologie des algorithmes d'ordonnancement	48
2.3.1.1. Monoprocesseur ou multiprocesseur	48
2.3.1.2. Oisif ou non oisif	48
2.3.1.3. Optimal ou non optimal	49
2.3.1.4. En ligne ou hors ligne	49
2.3.1.5. Préemptif ou non préemptif	49
2.3.1.6. Clairvoyant ou non clairvoyant	50
2.3.1.7. Centralisé ou réparti	50
2.3.2. Propriétés des algorithmes d'ordonnancement	50
2.3.3. Complexité des algorithmes d'ordonnancement	51
2.4. Ordonnancement de tâches périodiques	52
2.4.1. Ordonnancement à priorités fixes	53

2.4.1.1. <i>Rate Monotonic</i> (RM)	53
2.4.1.2. <i>Deadline Monotonic</i> (DM)	55
2.4.2. Ordonnancement à priorités dynamiques	57
2.4.2.1. <i>Earliest Deadline First</i> (EDF)	57
2.4.2.2. <i>Least Laxity First</i> (LLF)	62
2.5. Serveurs de tâches apériodiques	64
2.5.1. Approche basée sur un traitement en arrière-plan	64
2.5.2. Approches basées sur un serveur à priorités fixes	64
2.5.3. Approches basées sur un serveur à priorités dynamiques	65
2.6. Conclusion	67

Chapitre 3. L'énergie ambiante au service de l'embarqué . . . 69

Maryline CHETTO

3.1. Pourquoi récupérer l'énergie de l'environnement ?	70
3.1.1. Une technologie en pleine évolution	70
3.1.2. Terminologie	70
3.1.3. L'empreinte écologique	72
3.1.4. La miniaturisation	73
3.1.5. La durée d'autonomie	73
3.1.6. L'économie d'énergie	74
3.1.7. En résumé	75
3.2. Domaines d'application très divers	76
3.2.1. Les infrastructures	77
3.2.2. La santé	77
3.2.3. Le sport	78
3.2.4. Les loisirs	78
3.2.5. Le bien-être	78
3.2.6. La domotique et la sécurité	79
3.2.7. Les véhicules de transport	79
3.3. Sources d'énergie exploitables	79
3.3.1. Diversité et infinité	79
3.3.2. Sources mécaniques	80
3.3.3. La chaleur	82
3.3.4. La lumière	83
3.3.5. Le corps humain	84
3.3.6. Le rayonnement électromagnétique	86
3.4. Le stockage de l'énergie	86
3.4.1. Batteries rechargeables chimiques	87

3.4.2. Supercondensateurs	89
3.4.3. Batteries rechargeables entièrement solides	90
3.5. Mise en œuvre d'un système autonome	92
3.5.1. Composants d'un système autonome	92
3.5.2. Evaluation des besoins énergétiques	93
3.6. Principes de fonctionnement actuels	93
3.6.1. Systèmes de type stockage-utilisation	93
3.6.2. Systèmes à impulsions d'énergie	94
3.7. Conclusion	94

Chapitre 4. Autonomie énergétique et ordonnancement temps réel 97

Maryline CHETTO

4.1. Temps et énergie : une double contrainte	98
4.2. Description d'un système embarqué autonome	100
4.2.1. Architecture matérielle	100
4.2.2. Architecture logicielle	101
4.2.3. Le modèle RTEH	101
4.2.3.1. Les jobs	101
4.2.3.2. La production d'énergie	103
4.2.3.3. Le stockage d'énergie	103
4.2.4. Terminologie	103
4.3. Résultats théoriques clés	105
4.3.1. Faiblesses de EDF	105
4.3.2. Exemple illustratif	106
4.3.3. Forces de EDF	106
4.3.4. Nécessité de clairvoyance	108
4.4. Concepts	109
4.4.1. Concepts liés au temps	109
4.4.2. Concepts liés à l'énergie	110
4.5. L'ordonnanceur ED-H	111
4.5.1. Principes	111
4.5.2. Description algorithmique	112
4.5.3. Performance	114
4.5.4. Clairvoyance	115
4.5.5. Condition d'ordonnançabilité	115
4.5.6. Exemple illustratif	116

4.6. Autre solution d'ordonnancement : LSA	117
4.6.1. Hypothèses	117
4.6.2. Principes	118
4.6.3. Condition d'ordonnançabilité	119
4.6.4. Exemple illustratif	120
4.7. Verrous technologiques	120
4.7.1. Estimation de l'énergie récupérée	121
4.7.2. Evaluation de l'énergie stockée	121
4.7.3. Test d'ordonnançabilité	122
4.8. Conclusion	123
Conclusion	125
Maryline CHETTO et Audrey QUEUDET	
Bibliographie	129
Index	137