


INFORMATIQUE
ET SYSTÈMES
D'INFORMATION

Information - Commande - Communication

Systemes temps réel 2

*ordonnancement, réseaux
et qualité de service*

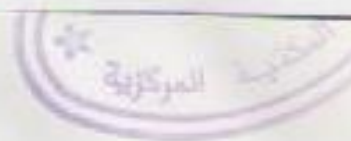
sous la direction de
Nicolas Navet

 *hermes*

Lavoisier



2-004-275-2/1



Systemes temps réel 2

ordonnancement, réseaux et qualité de service

sous la direction de
Nicolas Navet

Hermes
Science
publications

Lavoisier

Table des matières

Préface	19
Nicolas NAVET	
Chapitre 1. Ordonnancement monoprocesseur.	25
Pascal RICHARD et Frédéric RIDOUARD	
1.1. Définitions générales	25
1.1.1. Tâche temps réel	26
1.1.1.1. Tâches périodiques	26
1.1.1.2. Tâches apériodiques	27
1.1.1.3. Tâches sporadiques	27
1.1.2. Ordonnancement	28
1.1.2.1. Algorithmes hors ligne/en ligne	28
1.1.2.2. Validation et ordonnancement	29
1.1.2.3. Simulation/Analyse pire cas	29
1.2. Principaux algorithmes d'ordonnancement en ligne	30
1.2.1. Rate Monotonic (RM)	30
1.2.2. Deadline Monotonic (DM)	31
1.2.3. Earliest Deadline First (EDF)	31
1.2.4. Least Laxity First (LLF)	32
1.3. Extension de l'ordonnancement	32
1.3.1. Gigue sur activation	33
1.3.2. Surcharge du processeur	33
1.3.3. Ordonnancement de configuration comprenant des tâches apériodiques	33
1.3.4. Anomalies d'ordonnancement	34
1.3.5. Contraintes de précédence	34
1.3.6. Partage de ressources	34

1.4. Introduction aux tests d'ordonnançabilité	35
1.4.1. Principe des analyses d'ordonnançabilité	35
1.4.2. Définition des principaux concepts	36
1.4.2.1. Périodes d'activité et scénario de test	36
1.4.2.2. Evaluation de la demande processeur	38
1.4.2.3. Tests approchés	41
1.5. Analyse du facteur d'utilisation	42
1.5.1. Tests exacts	43
1.5.2. Tests approchés	43
1.6. Analyse du temps de réponse	44
1.6.1. Tests exacts	44
1.6.1.1. Ordonnancement à priorité fixe	44
1.6.1.2. Ordonnancement EDF	45
1.6.2. Tests approchés	45
1.7. Analyse de la demande processeur	46
1.7.1. Tests exacts	46
1.7.1.1. Ordonnancement à priorité fixe	46
1.7.1.2. Ordonnancement EDF	47
1.7.1.3. Généralisation	49
1.7.2. Tests approchés (approximation polynomiale)	49
1.8. Conclusion	51
1.9. Bibliographie	51

Chapitre 2. Ordonnancement temps réel multiprocesseur 57

Joël GOOSSENS

2.1. Introduction	57
2.2. Modélisation des applications	58
2.3. Ordonnancement	60
2.4. Taxinomie des plates-formes multiprocesseurs	62
2.5. Familles d'algorithmes multiprocesseurs : généralités	63
2.6. Techniques globales	64
2.6.1. Optimalité inexistante	64
2.6.2. Anomalies d'ordonnancement	65
2.6.3. Techniques par augmentation de ressources	67
2.6.4. Les algorithmes <i>PFAIR</i>	76
2.7. Techniques par partitionnement	77
2.8. Conclusion	79
2.9. Bibliographie	79

Chapitre 3. Conception conjointe commande/ordonnancement et ordonnancement régulé	81
Daniel SIMON, Olivier SENAME et David ROBERT	
3.1. Introduction : commande et rétroaction	81
3.2. Implémentation des systèmes de commande	83
3.3. Limites du modèle classique d'ordonnancement temps réel	84
3.3.1. Connaissance des paramètres temporels.	85
3.3.2. Politique d'affectation des priorités	85
3.3.3. Robustesse et paramètres temporels	86
3.4. Conception conjointe commande et ordonnancement	87
3.5. Ordonnancement régulé (<i>feedback-scheduling</i>)	89
3.5.1. Capteurs et mesures.	90
3.5.1.1. Charge CPU	91
3.5.1.2. Autres mesures possibles	92
3.5.2. Actionneurs et commandes	92
3.6. Exemple de régulateurs d'ordonnancement : administration de serveur par P.I.D.	93
3.7. Exemples de <i>co-design</i> commande/ordonnancement	94
3.7.1. Commande optimale	94
3.7.2. Régulateurs RST à échantillonnage et performances variables	97
3.7.2.1. Spécification de performances	98
3.7.2.2. Régulateur d'ordonnancement	99
3.7.2.3. Simulations	99
3.7.3. Mise en œuvre : commande dynamique de robots	101
3.7.3.1. Performance et périodes.	102
3.7.3.2. Régulateur d'ordonnancement	102
3.7.3.3. Faisabilité et architecture	103
3.7.3.4. Comparaisons TrueTime et Linux/RTAI.	104
3.8. Conclusion et perspectives	105
3.9. Bibliographie.	107
Chapitre 4. Ordonnancement temps réel et minimisation de la consommation d'énergie	109
Nicolas NAVET et Bruno GAUJAL	
4.1. Introduction.	109
4.1.1. Contexte du problème	110
4.1.2. Techniques de réduction de la consommation	110
4.1.3. Contraintes de temps et d'énergie	111
4.1.4. Modèles de tâches et notations	112
4.1.5. Objectifs et organisation	113

4.2. Consommation énergétique d'un processeur	114
4.2.1. Puissance dissipée et consommation énergétique	114
4.2.2. Technologie des processeurs	115
4.2.2.1. Processeurs à vitesse constante et mode veille	115
4.2.2.2. Processeurs à vitesse variable	116
4.3. Politiques hors-ligne	116
4.3.1. Vitesse unique pour le système	116
4.3.1.1. Ordonnancement EDF	117
4.3.1.2. Ordonnancement FPP	118
4.3.2. Vitesse unique par instance de tâche	119
4.3.2.1. Ordonnancement EDF	120
4.3.2.2. Ordonnancement FPP	121
4.4. Politiques dynamiques	124
4.4.1. Ordonnancement stochastique	124
4.4.2. Redistribution du temps processeur non utilisé	125
4.4.2.1. Redistribution intra-tâche	125
4.4.2.2. Redistribution inter-tâches	126
4.5. Conclusions.	127
4.6. Perspectives : vers une prise en compte plus fine du matériel	128
4.7. Bibliographie	130

Chapitre 5. Méthodes d'obtention de majorants sur les temps d'exécution : état de l'art et perspectives 135

Isabelle PUAUT

5.1. Introduction.	135
5.2. Méthodes dynamiques de détermination du WCET	137
5.2.1. Jeux de test explicites	137
5.2.2. Jeux de test symboliques.	138
5.3. Détermination du WCET par analyse statique	139
5.3.1. Analyse de flot	139
5.3.1.1. Représentations du flot de contrôle	139
5.3.1.2. Obtention des informations de flot de contrôle	142
5.3.2. Calcul du WCET	143
5.3.2.1. Techniques utilisant l'algorithmique des graphes (Path-based)	143
5.3.2.2. Techniques IPET	144
5.3.2.3. Techniques basées sur l'arbre syntaxique (Tree-based)	145
5.4. Analyse de bas niveau	146
5.4.1. Analyse de bas niveau globale : le cas des caches d'instructions	146
5.4.2. Analyse de bas niveau locale : le cas des <i>pipelines</i>	148
5.5. Comparaison des différentes méthodes	149

5.6. Tendances actuelles	151
5.6.1. Limites actuelles de l'analyse statique de WCET	151
5.6.2. Perspectives	153
5.7. Pour aller plus loin	154
5.8. Bibliographie	155

Chapitre 6. Java pour le temps réel 159

Marc RICHARD-FOY

6.1. Introduction	159
6.2. Concurrency en Java	159
6.3. Limitations pour les systèmes temps réel	161
6.4. L'apport de Java 5	163
6.4.1. Le JSR-133	163
6.4.2. Le JSR-166	165
6.5. La spécification temps réel RTSJ	169
6.5.1. Les <i>threads</i> temps réel	170
6.5.2. La gestion mémoire	171
6.5.3. L'ordonnancement des <i>threads</i>	172
6.5.4. Le temps et les horloges	176
6.5.5. Synchronisation et partage de ressources	176
6.5.6. Traitement d'événements asynchrones	176
6.5.7. Transfert de contrôle asynchrone	178
6.5.8. Le statut de RTSJ	178
6.6. Le profil SCJ pour les systèmes critiques	179
6.6.1. Le modèle de la concurrence en SCJ	180
6.6.2. Le modèle mémoire SCJ	181
6.6.3. Le statut SCJ	181
6.7. Conclusion	181
6.8. Bibliographie	182

Chapitre 7. Qualité de service dans les réseaux 185

Zoubir MAMMERI

7.1. Introduction	185
7.2. Définitions et concepts	187
7.2.1. Quelques définitions de la QoS	187
7.2.2. Niveaux (classes) de service	187
7.2.3. Classes d'applications et classes de trafic	188
7.2.4. Contrats, SLA	188
7.2.5. Paramètres de QoS	188
7.2.6. Gestion de la QoS	189

7.3. Spécification de trafic	190
7.3.1. Flux individuels (micro flux)	190
7.3.2. Flux agrégés	191
7.4. Spécification de QoS	192
7.4.1. Langage de spécification de la QoS	192
7.4.2. Développement orienté QoS	192
7.5. Contrôle d'admission	193
7.5.1. Contrôle pour QoS déterministe	194
7.5.2. Contrôle d'admission pour QoS statistique	194
7.6. Ordonnancement de paquets	195
7.6.1. Concept et propriétés de l'ordonnancement	195
7.6.2. Techniques d'ordonnancement	197
7.6.2.1. Ordonnancement à priorité fixe	197
7.6.2.2. Ordonnancement en tourniquet avec poids (WRR)	197
7.6.2.3. Ordonnancement équitable (Fair queuing)	197
7.6.2.4. Ordonnancement EDF	198
7.6.2.5. Partage de lien hiérarchique	198
7.7. Routage	199
7.7.1. Routage à QoS	199
7.7.2. Routage intra-domaine et inter-domaine	200
7.7.3. Algorithmes de routage à QoS	200
7.7.3.1. Types de routage selon la prise de décision	200
7.7.3.2. Types de routage selon le nombre de récepteurs	201
7.7.4. Routage à QoS dans les réseaux sans fil	201
7.8. Réservation de ressources et négociation	202
7.8.1. Réservation de ressources	202
7.8.2. Négociation et renégociation	203
7.9. Gestion de <i>buffers</i> , contrôle de congestion	203
7.9.1. Méthodes réactives	204
7.9.2. Méthodes préventives	204
7.10. Autres fonctions de gestion de QoS	205
7.10.1. Contrôle de conformité de trafic	205
7.10.2. Façonnage de trafic	205
7.10.3. Supervision de QoS	206
7.10.4. Métrologie de QoS	206
7.10.5. Classification et marquage de paquets	207
7.10.6. Signalisation de QoS	208
7.10.7. Politique de QoS	208
7.11. Mobilité et QoS	208
7.12. Conclusion	210
7.13. Bibliographie	210

Chapitre 8. Qualité de service temps réel selon le modèle (m,k)-firm	213
Ye-Qiong SONG, Anis KOUBAA et Jian LI	
8.1. Introduction : qualité de service temps réel et le modèle (m,k)-firm . . .	213
8.2. Concept de (m,k)-firm	215
8.2.1. Modèle général de partage de ressource : MIQSS	215
8.2.2. Expression de contraintes (m,k)-firm et WHRT	216
8.3. Algorithmes d'ordonnancement sous contrainte (m,k)-firm	219
8.3.1. Algorithme DBP	220
8.3.2. Algorithme DWCS	221
8.3.3. Algorithme EFP	225
8.4. (m,k)-WFQ pour une meilleure gestion de la QoS temps réel	226
8.4.1. Algorithme WFQ et ses limites	226
8.4.2. Algorithme (m,k)-WFQ	227
8.4.3. Performances de (m,k)-WFQ	228
8.4.4. Borne analytique du délai dans le cas d'une courbe d'arrivée (σ, ρ) -borné.	231
8.4.5. Borne analytique dans le cas d'une courbe d'arrivée à deux segments.	232
8.5. Garantie déterministe et condition suffisante de DBP	233
8.5.1. Etat de l'art sur les conditions suffisantes.	234
8.5.2. Condition suffisante pour NP-DBP-EDF	237
8.6. Conclusion et perspectives	240
8.7. Bibliographie	241
Chapitre 9. L'accès au médium. Concepts des protocoles MAC temps réel . .	245
Jean-Pierre THOMESSE	
9.1. Introduction.	245
9.2. Les principes généraux	246
9.2.1. La place de la couche MAC.	246
9.2.2. Le médium et les stations	247
9.2.3. Les topologies	247
9.2.4. Le service fourni	249
9.2.5. Le principe d'émission	250
9.2.6. Le principe de réception	252
9.2.7. Les principes d'adressage	252
9.2.8. Les aspects temporels	253
9.2.9. Charge et débit réel	254
9.3. Les contraintes de temps et les trafics	255
9.3.1. Périodicité	256
9.3.2. Gigue	257
9.3.3. Trafic aperiodique	257

9.3.4. Cohérence temporelle	258
9.3.5. Gestion des trames par les protocoles MAC	258
9.4. Les classes de protocoles	259
9.4.1. Les protocoles par compétition (la classe CSMA).	259
9.4.2. Les protocoles de multiplexage temporel (la classe TDMA)	260
9.4.3. Les protocoles à accès contrôlé explicite	262
9.5. Les protocoles MAC des principaux réseaux temps réel	264
9.5.1. Classe TDMA	264
9.5.2. Classe scrutation	266
9.5.3. Classe « jeton »	267
9.5.4. Classe CSMA	267
9.5.5. Classe LAS.	269
9.6. Conclusion	269
9.7. Bibliographie	270
Chapitre 10. Les réseaux temps réel embarqués dans les véhicules	275
Françoise SIMONOT-LION et Nicolas NAVET	
10.1. Contexte et contraintes	275
10.2. Réseaux embarqués	279
10.2.1. Réseaux à accès guidé par le temps <i>versus</i> réseaux à accès guidé par les événements	279
10.2.2. CAN (<i>Controller Area Network</i>)	280
10.2.3. TTP/C (<i>Time Triggered Protocol - Class C</i>)	284
10.2.4. FlexRay	287
10.3. Intergiciels embarqués dans l'automobile	289
10.3.2. OSEK/VDX Communication	290
10.3.3. OSEK/VDX Fault Tolerant Communication	293
10.3.3. Configuration d'intergiciels	296
10.4. Sécurité de fonctionnement et architectures de communication embarquées dans l'automobile	297
10.5. Conclusion	301
10.6. Bibliographie	301
Chapitre 11. Ethernet industriel	305
Jean-Dominique DECOTIGNIE	
11.1. Introduction	305
11.1.1. Pourquoi Ethernet seulement maintenant ?	305
11.1.2. Pourquoi Ethernet maintenant ?	306
11.1.3. Obtenir des garanties est un travail de toutes les couches ?	307

11.2. Ethernet	308
11.2.1. Le bon vieil Ethernet	308
11.2.2. Les performances du bon vieil Ethernet	310
11.2.3. Les problèmes du bon vieil Ethernet	310
11.2.4. Les évolutions	311
11.2.5. La notion de priorité	313
11.3. Vers un Ethernet « temps réel »	313
11.3.1. Les modifications qui altèrent la compatibilité	314
11.3.2. Les modifications qui préservent la compatibilité	316
11.3.2.1. Les solutions homogènes	316
11.3.2.2. Les solutions hétérogènes	317
11.4. Les différentes propositions d'Ethernet industriel	318
11.5. Une solution basée sur des standards	322
11.6. Conclusion	323
11.7. Bibliographie	323

Index	327
------------------------	------------