

# Geodätisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz

(Fortsetzung der Publikationsreihe  
«Astronomisch-geodätische Arbeiten in der Schweiz»)

herausgegeben von der

Schweizerischen Geodätischen Kommission  
(Organ der Akademie der Naturwissenschaften Schweiz)

**Vierundsiebzigster Band  
Volume 74**

## **Cartographie Mobile en Temps Réel**

Hervé Gontran

2008

## Table des matières

Résumé	1
Abstract	2
Table des matières	3
Liste des figures	9
Liste des tableaux	13
Chapitre I. Bases de données routières	15
I.1. Inventaire routier	15
1. Voirie routière	15
2. Gestion du patrimoine routier	15
3. Standard de base de données routières	16
3.1. Norme GDF	16
3.2. Producteurs d'informations routières	17
4. Mobile mapping terrestre	17
4.1. Concept	17
4.2. Système originel	17
4.3. Implémentations récentes	18
4.4. Limitations des systèmes actuels	19
I.2. Objectifs et motivations de la thèse	20
1. Contexte	20
2. Objectifs	20
3. Contribution de la recherche	20
Chapitre II. Temps réel	23
II.1. Notion de temps réel	23
1. Concept	23
1.1. Définition	23
1.2. Domaines classiques d'application	24
1.3. Niveaux de contraintes temporelles	24

2. Systèmes d'exploitation "temps réel"	25
2.1. Concept	25
2.2. Systèmes d'exploitation classiques et conformité "temps réel"	26
2.3. Tour d'horizon des systèmes d'exploitation "temps réel"	27
3. Linux comme système d'exploitation "temps réel"	28
3.1. Contexte	28
3.2. Linux : base d'un système "temps réel"	28
3.2.1. Amélioration de la préemption	28
3.2.2. Virtualisation des interruptions	29
3.3. Co-noyaux Linux	29
3.3.1. RTLinux et RTAI	29
3.3.2. Xenomai	30
4. Conclusion	30
II.2. Programmation pour le temps réel	31
1. Sémantique pour le temps réel	31
1.1. Approche traditionnelle	31
1.2. Scrutation et temps réel	31
2. Programmation concurrente	33
2.1. Les états d'un processus	33
2.2. Immersion de processus dans un noyau "temps réel"	34
2.2.1. Contexte d'un processus	34
2.2.2. Altération de contexte d'un processus	35
3. Communication interprocessus et temps réel	36
3.1. Sémaphores	36
3.1.1. Définition	36
3.1.2. Problématique de l'inversion de priorité	37
3.2. Boîte aux lettres	38
4. Conclusion	38
II.3. Chronométrie événementielle sur PC standard	40
1. Introduction	40
2. Étude chronométrique des systèmes d'exploitation	40
2.1. Protocole expérimental	40
2.1.1. Processeurs étudiées	40
2.1.2. Pseudo-code du test	40
2.2. Résultats chronométriques	41
2.2.1. Instructions classiques	41
2.2.2. Instructions avancées	43
2.3. Chronométrie et système "temps réel"	44
3. Remarques conclusives	44

Chapitre III. Traitement autonome de la localisation	47
III.1. GPS différentiel en temps réel	47
1. Des mesures GPS entachées d'erreur	47
2. Messages de correction GPS	49
2.1. Corrections de pseudo-distance (DGPS)	49
2.2. Corrections de phase (RTK)	49
2.3. Format de message	49
3. Conclusion	51
III.2. Diffusion de corrections GPS-RTK	52
1. Liaison radio	52
2. Réseau cellulaire	53
3. Internet	54
3.1. GPRS	54
3.2. Serveur GDGPS	55
3.3. Serveur NTRIP	56
4. Remarques conclusives	56
III.3. Serveur personnalisé de corrections GPS	57
1. Implémentation	57
1.1. Motivation`	57
1.2. Prototypage du serveur relais	57
1.3. Serveur déployé	59
1.4. Test préliminaire	60
1.4.1. Qualité du réseau GSM	60
1.4.2. Serveur relais pour récepteurs immobiles	60
2. Test dynamique du serveur de corrections personnalisé	61
2.1. Protocole expérimental	61
2.2. Constatations	62
3. Interprétation	65
III.4. Localisation et orientation autonomes	67
1. Choix du circuit imprimé GPS	67
1.1. Contexte	67
1.2. Comparaison de circuits imprimés GPS	67
1.3. Stratégie GPS	69
2. Récepteur de référence mobile	69
2.1. Concept	69
2.2. Orientation partielle par GPS bi-antennes	70
2.3. Mise en oeuvre du récepteur JNSGyro-2	72
3. Conclusion	73
Chapitre IV. Traitement autonome de l'imagerie	75
IV.1. Imagerie numérique conventionnelle	75
1. Contexte	75

2. Image numérique monochromatique	75
2.1. Quantification spatiale	75
2.2. Quantification en amplitude	76
2.3. Bruit dans une image numérique	77
3. Capteurs d'image numérique	77
3.1. Capteurs à semi-conducteurs	77
3.2. Présentation des technologies CCD et CMOS	78
3.3. Comparaison des technologies CCD et CMOS	80
3.3.1. Rendement quantique	80
3.3.2. Consommation d'énergie	80
3.3.3. Bruits et courant noir	80
3.3.4. Vitesse	80
3.3.5. Éblouissement et marbrures	81
4. Conclusions	81
IV.2. Capteur d'images logarithmique CMOS	83
1. Capture numérique d'image en extérieur	83
2. Pixels logarithmiques	84
3. Caméra logarithmique CMOS	85
3.1. Caractéristiques de la matrice pixellaire	85
3.2. Contrôle de la matrice pixellaire	86
3.3. Coeur de la caméra	87
4. Images livrées par une caméra CMOS logarithmique	87
5. Conclusion	88
IV.3. Extraction d'axe routier en temps réel	90
1. Concept du traitement d'image	90
2. Algorithmes de pré-traitement	90
2.1. Rehaussement radiométrique	90
2.1.1. Modification d'histogrammes	90
2.1.2. Profil de ligne	91
2.2. Filtrage spatial	92
2.2.1. Accentuation de structure	92
2.2.2. Accentuation de contour	94
3. Segmentation d'image	95
4. Étude de bibliothèques logicielles	97
4.1. Matrox Imaging Library	97
4.2. TLib	98
5. Remarques conclusives	99
IV.4. Calibrage de l'Ethercam	100
1. Contexte	100
2. Techniques de calibrage de caméra	100
3. Algorithme de Tsai	101
3.1. Présentation	101

3.2. Paramètres intrinsèques – de la caméra à l’image	102
3.2.1. Coordonnées du point principal	102
3.2.2. Distorsions géométriques	103
3.2.3. Rééchantillonnage horizontal des pixels	104
3.3. Paramètres extrinsèques – de la scène à la caméra	104
3.4. Algorithmique	105
3.4.1. Stratégie	105
3.4.2. Estimation de la rotation et d'une partie de la translation	105
3.5. Validation de la méthode	110
4. Conclusion	111
Chapitre V. Géoréférencement en temps réel	113
V.1. Conception de la plateforme de mobile mapping	113
1. Conception matérielle	113
1.1. Positionnement des capteurs	113
1.2. Synchronisation du système	115
1.2.1. Introduction	115
1.2.2. Implémentation matérielle	115
1.2.3. Test de synchronisation	115
2. Conception logicielle	116
2.1. Hiérarchisation des messages des capteurs	116
2.2. Routine de géoréférencement	117
2.2.1. Étape statique de géoréférencement	117
2.2.2. Étape dynamique de géoréférencement	119
2.3. Sauvegarde des données	120
3. Validation du géoréférencement	120
3.1. Contrôle de qualité en temps réel	120
3.2. Contrôle de qualité légèrement différé	120
3.2.1. Concept	120
3.2.2. Courbes splines cubiques	121
3.2.3. Qualité des points collectés	122
V.2. Exploitation de la plateforme de mobile mapping	123
1. Expérimentation statique	123
2. Expérimentation dynamique	124
2.1. Introduction	124
2.2. Protocole opératoire	125
2.3. Résultats	125
Conclusions et perspectives	127
1. Technique d’extraction d’axe routier clef en main	127
2. Vers une cartographie totale en temps réel	128

---

Annexe A. Transformation de coordonnées GPS	131
1. Introduction	131
2. Systèmes de référence géodésiques	131
3. Transformation entre datums	132
4. Conversion de coordonnées sur un ellipsoïde	133
5. Formules approchées de la projection suisse	134
5.1. Désignations et unités de mesure	134
5.2. Grandeurs auxiliaires	134
5.3. Calcul	134
6. Organigramme de la transformation des coordonnées GPS	135
7. Conversion d'azimut en gisement	135
7.1. Notion d'azimut et de gisement	135
7.2. Transformation d'azimut	136
7.3. Calcul de gisement	138
Annexe B. Extraits de code	139
1. Extraction des coordonnées pixel du barycentre du marquage routier	139
2. Géoréférencement du barycentre d'une marque de route	142
Annexe C. Intensité du signal GSM	145
Glossaire	147
Bibliographie	155