

DESCRIPTION DES LOGICIELS IMPLANTES DANS LE PROCESSEUR PMM

Note n° 2

Serge BEUCHER

Janvier 1994

Introduction

Cette deuxième note décrit l'algorithme de segmentation de la chaussée de type I, c'est-à-dire sans connaissance a priori de l'image. Cette segmentation doit permettre de définir un premier marqueur de la voie de circulation, marqueur qui sera injecté dans l'algorithme de segmentation de type II. On décrira également dans cette note divers algorithmes utilisés dans la segmentation de type II, en particulier le seuillage automatique et la ligne de partage des eaux avec marqueurs imposés et anamorphose.

I. Principe de la segmentation de type I

Le principe de la segmentation de type I est le suivant: il consiste à effectuer une ligne de partage des eaux du gradient ou du chapeau haut-de-forme d'une image suffisamment filtrée pour que cette LPE ne présente qu'un seul bassin versant correspondant à la voie de circulation empruntée par le véhicule. Ce bassin versant pourra alors (après lissage éventuel) servir de marqueur pour la voie, son complémentaire étant utilisé pour construire un marqueur extérieur. Une deuxième LPE effectuée avec ces deux marqueurs permet alors de segmenter de façon précise la voie de circulation.

Plusieurs approches ont été utilisées pour filtrer l'image et pour définir l'image sur laquelle on applique la première LPE. La première consiste à construire une image mosaïque à partir de l'image initiale et à effectuer sur la mosaïque une ligne de partage des eaux hiérarchique. Cette méthode est très robuste, elle fonctionne quelque soit la chaussée et en particulier en l'absence de marquage au sol. Malheureusement, elle est actuellement très lente et son portage sur un processeur de morphologie classique comme PIMM1 soulève de nombreux problèmes. Elle a donc été abandonnée. La seconde méthode consiste à utiliser un gradient régularisé de l'image et à effectuer la LPE de ce gradient régularisé. Cette approche présente une bonne robustesse, elle fonctionne également sur n'importe quel type de chaussée. Cependant, là encore, elle est assez longue car le gradient régularisé non paramétrique nécessite un grand nombre d'itérations. Une troisième technique a été définie pour améliorer le filtrage de l'image à traiter. Elle consiste à effectuer un filtrage dynamique temporel sur la séquence. Cette transformation a un double avantage:

- elle lisse l'image en supprimant les ombres portées, les taches sombres sur la chaussée.
- si la première opération est une fermeture, elle connecte le marquage au sol discontinu, ce qui améliore énormément la LPE finale.

Son principal défaut reste que, si on veut utiliser des filtres complexes comme les FAS temporels, sa mise en oeuvre est laborieuse, consommatrice de mémoire et lente.

Enfin, lorsque le marquage au sol existe, on préfère souvent utiliser le chapeau haut-de-forme de l'image plutôt que le gradient.

Toutes ces approches ont en commun de nécessiter des opérations coûteuses en temps. De plus, la procédure globale nécessite la réalisation de deux lignes de partage des eaux. On a constaté cependant que, du fait de leurs bonnes propriétés de filtrage et de connexion du marquage au sol, il serait dommage de se priver des opérations morphologiques temporelles.

II. Description de l'algorithme simplifié utilisé

Pour pouvoir effectuer cette segmentation de type I en temps réel (c'est-à-dire à raison de deux images traitées par seconde comme cela avait été stipulé dans le cahier des charges initial), il est nécessaire de simplifier l'algorithme en éliminant les opérations trop gourmandes en temps. Cette simplification entraînant obligatoirement une perte d'efficacité et de robustesse, diverses hypothèses doivent être faites si l'on ne veut pas aboutir à un échec.

II.1. Hypothèses de fonctionnement

Les hypothèses retenues dans cette segmentation de type I simplifiée sont les suivantes:

- La chaussée présente un marquage au sol complet, c'est-à-dire un marquage des voies continu ou discontinu mais aussi un marquage des rives. Ce marquage devra de plus être normalisé.
- Les images sont de qualité correcte, avec un contraste suffisant, la chaussée ne présentant pas de gros défauts (taches sombres de grande taille, marquage erratique, etc...).

II.2. L'algorithme en détails

Les hypothèses énoncées précédemment permettent d'utiliser un algorithme sans gradient régularisé et où la fonction utilisée par la LPE est construite simplement à partir d'une transformation temporelle et d'un chapeau haut-de-forme. De plus l'opération temporelle n'est plus un filtre aussi complexe que le FAS. C'est une simple dilatation. Cette transformation consiste alors à calculer le sup d'un certain nombre d'images de la séquence. L'opération étant extensive, elle assure la connexion du marquage au sol. Elle permet également de filtrer les principaux défauts de la chaussée, notamment les ombres portées, puisque ces défauts sont généralement sombres. Le filtrage final de l'image est assuré par une simple fermeture spatiale de taille suffisante. Enfin, on travaille dans l'avant-scène de l'image, ceci pour plusieurs raisons:

- si le marquage au sol existe, il devient généralement plus difficile à discerner au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la caméra et par conséquent le résultat est très souvent entaché d'erreurs.
- la segmentation de type I a pour but essentiel de fournir un marqueur initial à la segmentation de type II. Or ce marqueur peut facilement être construit et prolongé à partir de la segmentation obtenue à l'avant-scène.
- un marqueur de la voie se prolongeant jusqu'à l'arrière-plan ne peut être obtenu que si aucun obstacle proche ne vient dissimuler le marquage au sol. Or dans cette situation, un marqueur précis de la voie n'est absolument pas indispensable. Il peut de toutes façons être obtenu par la segmentation de type II.
- Le fait de travailler sur une moitié d'image double la vitesse des algorithmes.

La description détaillée de l'algorithme se fera, comme pour l'algorithme de type II, par le biais de son implantation actuelle dans le MorphoPérior.

(variables globales utilisées)
5 VARIABLE NOMB
0 VARIABLE MASK
0 VARIABLE PT
0 VARIABLE TURNBANK
12 ALLOT

La procédure TESTT1 est chargée de segmenter la voie sur chaque image de la séquence. Elle place le résultat dans l'image binaire OD.

```
: TESTT1  
OUTPUT OD  
PARAM NUM1  
NWORK WDK WDM  
WORK WK WL  
INTEGER CUR  
FULL_SCREEN  
OD PCLEAR  
WK PCLEAR  
WL PCLEAR  
WDM NCLEAR
```



Figure 1: L'image courante (à gauche) et le résultat de la dilatation temporelle (à droite)

A intervalles de temps réguliers, une image de la séquence est acquise et stockée dans une mémoire tournante d'images de taille NOMB (pour la fréquence d'échantillonnage et la valeur de NOMB, voir plus loin). Les numéros de mémoire utilisés sont stockés dans un tableau TURNBANK et l'indice dans ce tableau de l'image courante est contenu dans PT. Le numéro d'image courante est stocké dans CUR. Dès que la banque tournante est pleine, l'image suivante sera stockée à la place de l'image la plus ancienne.

```
0 0 0 " D:\IMAGES\SEQ1\SEQ10" NUM1 2 INT_TO_ASC S+ IMAG_LOAD  
0 TURNBANK PT @ 2* + @ PNMOVE
```

```
PT @ -> CUR
PT @ 1+ DUP NOMB @ = IF DROP 0 THEN PT !
```

La dilatation temporelle des images de la banque est effectuée dans la fenêtre correspondant à l'avant-scène. Le résultat est stocké dans WDM (Figure 1).

```
256 128 0 128 WINDOW
NOMB @ 0 DO
  TURNBANK I 2* + @ WDM WDM SUP
LOOP
```

Création d'un cadre dans WL.

```
WK PFILL
WK WL CONTOUR
3 1 WL WL LINOPEN
```

On relève d'une unité la dernière image du sup. Cette opération a pour but de générer une ligne de crête passant par le marquage au sol tel qu'il apparaît sur l'image courante. Cela assure que la LPE passera bien par ce marquage au sol.

```
CLEAR_CARRY
TURNBANK CUR 2* + @ DUP INCR
TURNBANK CUR 2* + @ WDM WDM SUP
```

Fermeture de l'image. La taille de la fermeture doit être suffisante pour assurer une bonne connexion du marquage au sol.

```
3 WDM WDM NCLOSE
```

Extraction du marquage au sol par chapeau Haut-de-forme. La taille de la transformation est définie une fois pour toute en fonction de la largeur normalisée de ce marquage au sol (Figure 2).

```
8 WDM WDK WTOPHAT
```



Figure 2: Chapeau haut-de-forme sur l'avant-scène

Ligne de partage des eaux de l'image chapeau HdF. Le résultat fournit un bassin versant unique correspondant à la voie, pourvu qu'un seul minimum corresponde à cette voie dans l'image chapeau Haut-de-Forme.

```
WDK OD BWSHED
```

Extraction du bassin versant correspondant.

```
OD OD INVERT  
MASK @ WK MOVE  
OD WK BUILD
```

Lissage du bassin versant et élimination de possibles artefacts par clôture du bassin versant en haut et en bas, bouchage des trous et ouverture. Le contour final est stocké dans OD (Figure 3).

```
FULL_SCREEN  
WK WK CLOSE  
WK WL %OR WL MOVE  
WL WK CLOHOLE  
WK WK OPEN  
WK OD CONTOUR
```



Figure 3: Marqueur final (avant-scène) de la voie

Cette routine qui travaille en permanence est initialisée par un premier remplissage de la banque tournante d'images. Elle nécessite uniquement une seule ligne de partage des eaux.

```
: FULL_TEST  
INTEGER IM1 NB  
WORK WK  
." Première image séquence (min=5) : " GETN -> IM1  
." Nombre : " GETN -> NB  
IM1 IM1 NOMB @ 1- - DO  
0 0 0 " D:\IMAGES\SEQ1\SEQ10" I 2 INT_TO_ASC S+ IMAG_LOAD  
0 TURNBANK PT @ 2* + @ PNMOVE
```

```

PT @ 1+ PT !
LOOP
NB IM1 + IM1 DO
    I WK TESTT1
LOOP
0 PT !

```

Au démarrage, les mémoires requises par la banque d'images sont réservées et le pointeur de l'avant-scène est chargé dans l'image MASK.

```

F256
MASK REQUEST
TURNBANK NREQUEST
TURNBANK 2+ NREQUEST
TURNBANK 4 + NREQUEST
TURNBANK 6 + NREQUEST
TURNBANK 8 + NREQUEST
IMAGIN C:\TIM\IMAGES\ROADMARK
0 6 MASK @ PMOVE

```

II.3. Améliorations

Il y a peu d'améliorations importantes pour cet algorithme. On peut néanmoins envisager de s'assurer qu'un seul minimum marque bien le bassin versant correspondant à la voie. Pour ce faire, il suffit d'effectuer la LPE du chapeau Haut-de-Forme en contrôlant qu'à chaque seuil, le minimum extrait et correspondant au marqueur de la voie (c'est-à-dire celui reconstruit par l'image stockée dans MASK) traverse bien l'image d'avant-scène. Si ce n'est pas le cas, on attend le seuil suivant. On peut aussi et plus simplement effectuer la LPE à partir d'une valeur de seuil située au-dessus du bruit. Cette valeur de seuil est fournie par le seuillage automatique (voir ci-dessous).

II.4. Remarques sur les fréquences d'acquisition

La fréquence d'acquisition des images est un paramètre important car il conditionne la connexion correcte du marquage au sol discontinu en fonction de la vitesse du véhicule. L'analyse de ces paramètres permet également de déterminer la taille (c'est-à-dire le nombre d'images NOMB) de la dilatation temporelle.

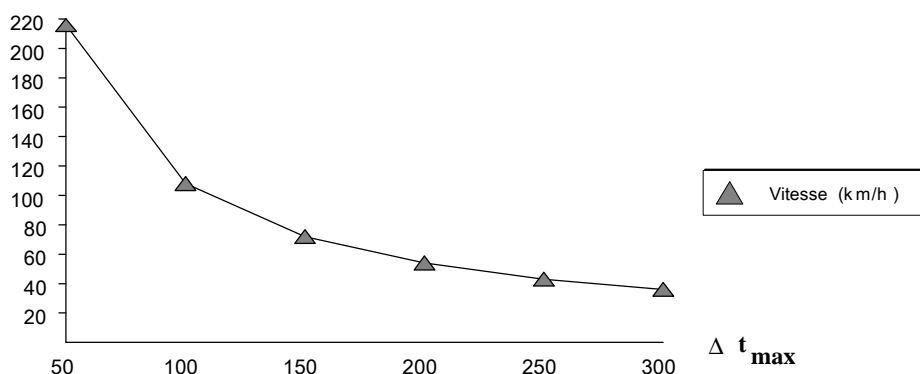


Figure 4: Intervalle de temps maximum entre deux acquisitions en fonction de la vitesse du véhicule

Le marquage au sol discontinu est constitué de segments de longueur l_1 séparés par des intervalles de longueur l_2 . l_1 est généralement égal à 3m tandis que l_2 varie de 3,5m pour les lignes de rive à 10m pour les lignes centrales. Soit v la vitesse du véhicule et Δt l'intervalle de temps entre deux acquisitions. On supposera qu'on est toujours dans les conditions où $v \Delta t < l_1$. On obtient ainsi l'intervalle de temps maximum Δt_{\max} entre deux acquisitions en fonction de la vitesse (Figure 4).

On peut alors estimer la taille de la dilatation temporelle en fonction de la plus grande valeur de l_2 . Pour connecter le marquage au sol, il faudra au minimum k acquisitions, avec:

$$k v \Delta t \geq l_2$$

Ce qui donne:

$$k = PE\left(\frac{l_2}{v \Delta t}\right) + 1$$

En prenant la valeur maximum de Δt , on trouve $k = PE\left(\frac{l_2}{l_1}\right) + 1$. La taille de la dilatation temporelle est donc égale à 3. Cependant, par mesure de sécurité et parce qu'il n'est pas possible de choisir de façon arbitraire l'intervalle de temps entre les acquisitions, une valeur légèrement plus grande est utilisée dans les tests.

III. Les algorithmes annexes

Deux algorithmes utilisés dans cette partie du traitement et dans la segmentation de type II seront décrits ici. Il s'agit du seuillage automatique du chapeau Haut-de-Forme et de la ligne de partage des eaux sans marqueurs associés.

III.1. Le seuillage automatique

L'image IDN contient le chapeau haut-de-forme à seuiller. Après avoir extrait les maxima de cette image, on calcule l'histogramme des valeurs de gris de ces maxima (histogramme en mesure). Cet histogramme présente généralement un mode important correspondant au bruit. On détermine alors une valeur de coupure en calculant la pente de l'histogramme après le mode et en prolongeant la droite ainsi estimée jusqu'à l'axe des valeurs de gris. La valeur de gris correspondant à l'intersection est la valeur de seuil retenue. Cet algorithme permet de modéliser grossièrement la population des maxima dus au bruit par un triangle.

```
: AUTOTHRESH
OUTPUT OD
NINPUT IDN
NWORK WDN
WORK WK
INTEGER VAL1 VAL2 THRVAL
IDN WK MAXIMA
WK LOAD_TEMPLATE
IDN WDN 1 NSELECT
1 -> THRVAL
BEGIN
  THRVAL THRVAL WDN WK THRESH
  WK AREA DROP -> VAL1
  THRVAL 1+ DUP WDN WK THRESH
```

```

WK AREA DROP -> VAL2
THRVAL 1+ -> THRVAL
VAL1 VAL2 > UNTIL
THRVAL 1- 2* VAL1 VAL2 - *
VAL1 3 * VAL2 - +
VAL1 VAL2 - 2* / 1+ -> THRVAL
." Valeur de seuil: " THRVAL . CR
THRVAL 63 IDN OD THRESH
;

```

On remarquera que, étant donné que le mode apparaît pour des valeurs de gris faibles (1 ou 2), il n'est pas nécessaire de calculer l'ensemble des valeurs de l'histogramme et par conséquent l'ensemble des maxima du chapeau Haut-de-Forme. On peut se contenter des trois ou quatre premières valeurs.

III.2. Ligne de partage des eaux classique, avec anamorphose

On donnera simplement l'algorithme de la LPE sur une image après une anamorphose. Cet algorithme correspond à la LPE sans marqueurs imposés contrairement à l'algorithme donné dans la note 1. De plus, il utilise une table de seuils ce qui permet à la fois de choisir le nombre de niveaux et l'anamorphose utilisée.

```

8 VARIABLE NSEUIL
0 VARIABLE TABSEUIL
NSEUIL @ 2* ALLOT

```

(Remplissage de la table de seuils pour une anamorphose Log 2)

```

0 TABSEUIL !
1 TABSEUIL 2+ !
3 TABSEUIL 4 + !
7 TABSEUIL 6 + !
15 TABSEUIL 8 + !
31 TABSEUIL 10 + !
63 TABSEUIL 12 + !
63 TABSEUIL 14 + !

```

```

: BWSHED
OUTPUT OD
NINPUT IDN
WORK WK WL WM
OD PCLEAR
OD %INV WM ERODE
NSEUIL @ 0 DO
    0 TABSEUIL I 2* + @ IDN WK THRESH
    OD WK OD GDSKIZ
    OD WL MOVE
    WK WL BUILD
    WK WL %DIFF WL MOVE
    WM WL %AND WL MOVE
    OD WL %OR OD MOVE

```


LOOP
OD OD INVERT ;

Conclusion

L'algorithme de type I est finalement relativement simple. Le fait de travailler sur l'avant-scène lui assure une certaine rapidité. Il ne faut pas oublier également que l'on utilise des images définies sur 64 niveaux de gris. L'expérience a prouvé que cette résolution était suffisante. Il est indispensable cependant de tenir compte de cette résolution lors du portage des algorithmes sur le processeur PMM, notamment pour les lignes de partage des eaux et l'algorithme de détection automatique des seuils. Cette prise en compte peut se faire sans aucune difficulté en choisissant les seuils par pas de quatre.