



HAL
open science

Une nouvelle approche de segmentation de cartes de disparités basée sur une méthode hiérarchique couplée à des seuillages multi-niveaux. Application au comptage de passagers dans les transports.

Cyril Meurie, Louahdi Khoudour

► **To cite this version:**

Cyril Meurie, Louahdi Khoudour. Une nouvelle approche de segmentation de cartes de disparités basée sur une méthode hiérarchique couplée à des seuillages multi-niveaux. Application au comptage de passagers dans les transports.. Conférence Internationale Francophone d'Automatique - CIFA, Sep 2008, Bucarest, Roumanie. pp.5. hal-04758193

HAL Id: hal-04758193

<https://hal.science/hal-04758193v1>

Submitted on 29 Oct 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Une nouvelle approche de segmentation de cartes de disparités basée sur une méthode hiérarchique couplée à des seuillages multi-niveaux. Application au comptage de passagers dans les transports.

Cyril MEURIE, Louahdi KHOUDOUR

Institut Nationale de Recherche sur les Transports et leur Sécurité
20 rue Elisée Reclus, BP 317, 59666 Villeneuve d'Ascq Cedex, France

cyril.meurie@inrets.fr, louahdi.khoudour@inrets.fr

Résumé— Dans cet article, nous présentons une stratégie de segmentation de cartes de disparités calculées à partir de paires d'images stéréoscopiques dans le but d'extraire les têtes des personnes. La stratégie proposée se décompose en deux étapes. La première étape consiste à pré-traiter les cartes de disparités par une méthode de segmentation/simplification hiérarchique intitulée « Ligne de Partage des Eaux hiérarchique non paramétrique ». Dans une deuxième étape, nous cherchons à extraire les régions correspondant aux têtes des personnes en utilisant une méthode basée sur des seuillages multiples avec disparition de régions. La stratégie proposée est évaluée sur une séquence vidéo de 500 images tournée en laboratoire et simulant le passage de plusieurs personnes sous une caméra de type stéréoscope. Nous affichons un taux de têtes des personnes correctement extraites de 82% avec l'utilisation de notre stratégie contre 68% avec une méthode existante. Nous montrons aussi à travers les résultats produits l'influence de la taille de la fenêtre de corrélation utilisée dans le calcul de la carte de disparités ainsi que le niveau de hiérarchie dans l'étape de pré-traitement de l'image. L'objectif du système global pour lequel nous proposons une nouvelle stratégie de segmentation consiste à effectuer un comptage des passagers entrant et sortant d'un environnement transport (bus, métro, train).

Mots-clés— Segmentation d'images, vidéo-surveillance, comptage de passagers, carte de disparités, transport.

I. INTRODUCTION

Dans cet article, nous présentons une stratégie de segmentation de cartes de disparités calculées à partir de paires d'images stéréoscopiques dans le but d'extraire les têtes des personnes. La stratégie proposée se décompose en deux étapes. La première étape consiste à pré-traiter les cartes de disparité par une méthode de segmentation et de simplification hiérarchique intitulée « Ligne de Partage des Eaux hiérarchique non paramétrique ». Dans une deuxième étape, nous cherchons à extraire les régions correspondant aux têtes des personnes en utilisant une méthode basée sur des seuillages multiples avec disparition de régions. Les séquences vidéo tournées en laboratoire et à partir desquelles sont calculées les cartes de disparités simulent le passage de plusieurs personnes sous une caméra de type stéréoscope. L'objectif du système global pour lequel nous proposons une nouvelle stratégie de segmentation consiste à effectuer un comptage des passagers entrant et sortant d'un envi-

ronnement transport (bus, métro, train). La stratégie de segmentation utilise en entrée des cartes de disparités calculées à partir d'une procédure de mise en correspondance en stéréovision dense développée dans la Thèse de doctorat de T. YAHIAOUI [1]. Nous rappelons que nous pouvons déduire à partir d'une carte de disparités, la distance entre le capteur et l'objet ou la personne observés dans la scène. Ces distances parfois appelées hauteurs sont calculées à partir des cartes de disparités et des paramètres liés à la caméra. Une fois les cartes de disparités et de hauteurs calculées, nous cherchons à extraire les têtes des personnes de ces cartes. L'étape suivante du système global proposé par T. YAHIAOUI que nous ne détaillerons pas dans cet article consiste à utiliser un algorithme additionnel afin d'effectuer une étape de suivi et in fine de comptage des têtes de personnes comme illustré en figure 1.

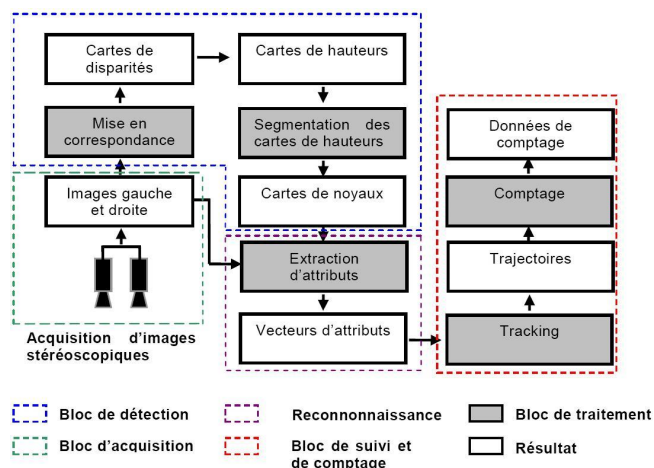


Fig. 1. Chaîne globale de traitement du système de comptage.

Les travaux présentés dans cet article vont donc se focaliser sur l'étape de segmentation des têtes de personnes selon le plan suivant. Après une introduction de notre problématique, nous rappelons dans la section II-B, un algorithme de segmentation et de simplification hiérarchique intitulé « Ligne de Partage des Eaux hiérarchique non pa-

ramétrique (algorithme des cascades) » [2],[3] effectuant une simplification de notre carte de disparités. Nous développons ensuite une procédure d'extraction des têtes des personnes basée sur des seuillages multiples avec disparition de régions. Dans la section III, nous présentons les résultats obtenus sur une base de 500 paires d'images stéréoscopiques acquises en laboratoire. Nous montrons dans cette section, l'influence de la taille de la fenêtre de corrélation dans le calcul de la carte de disparités ainsi que du niveau de hiérarchie dans l'étape de simplification de l'image. Pour finir, nous concluons sur les résultats obtenus et affichons quelques perspectives sur ces travaux.

II. SEGMENTATION DE CARTES DE DISPARITÉS

Dans le cadre de l'application de comptage que nous mentionnons dans cet article, la qualité de l'étape de segmentation des têtes des personnes à partir des cartes de disparité est une étape cruciale. Les cartes de disparités produites à partir d'un traitement de mise en correspondance mentionné en introduction ne permettent pas d'obtenir directement une bonne extraction des têtes des personnes. Nous proposons donc dans cette section, de décrire l'étape de segmentation afin de palier ce problème. En effet, les cartes de disparités fournies en amont de ce travail comportent un nombre élevé de valeurs de disparités différentes. La figure 2 appuie notre remarque et illustre une carte de disparités (figure 2(c)) calculée à partir d'une paire d'images stéréoscopiques (gauche, figure 2(a) et droite (figure 2(b)). Une vérité terrain (figure 2(d)) représentant les têtes des personnes nécessaire à l'évaluation de la qualité de notre segmentation est aussi illustrée sur cette même figure. Nous pensons alors qu'un pré-traitement de l'image à l'aide d'un algorithme de croissance de régions afin de combiner les pixels de valeurs proches pourrait être intéressant [2],[3]. Nous pensons aussi que l'utilisation de techniques hiérarchiques morphologiques pourraient s'avérer intéressantes notamment pour disposer d'images simplifiées à différents niveaux de hiérarchie. Plusieurs méthodes de cette catégorie existent dans la littérature [4],[5],[6],[2],[3],[7],[8] et notamment celles développées dans la Thèse de doctorat de C. MEURIE [9],[10]. Néanmoins, nous nous avons fait le choix d'utiliser une « Ligne de Partage des Eaux (LPE) hiérarchique non paramétrique (algorithme des cascades) que nous rappelons dans la section II-B après avoir introduit quelques définitions.

A. Partition et hiérarchie de partition d'une image

En traitement d'images, une image I est considérée dans la plupart des cas comme étant un ensemble de pixels : $I = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$. Lorsque nous parlons d'image segmentée, nous faisons référence à une image divisée en régions disjointes selon un critère donné où chaque région R est un sous-ensemble de pixels connexes de l'image constituée de $|R|$ pixels répondant à un même critère d'homogénéité. Mais cette même image segmentée se trouve être le résultat d'un algorithme de segmentation et donc une partition du domaine de l'image.

Définition 1 (Partition) Une partition P est un ensemble de composantes connexes ou régions $P = \{R_1, R_2, \dots, R_k\}$ tel que : l'union des régions de la partition donne l'ensemble

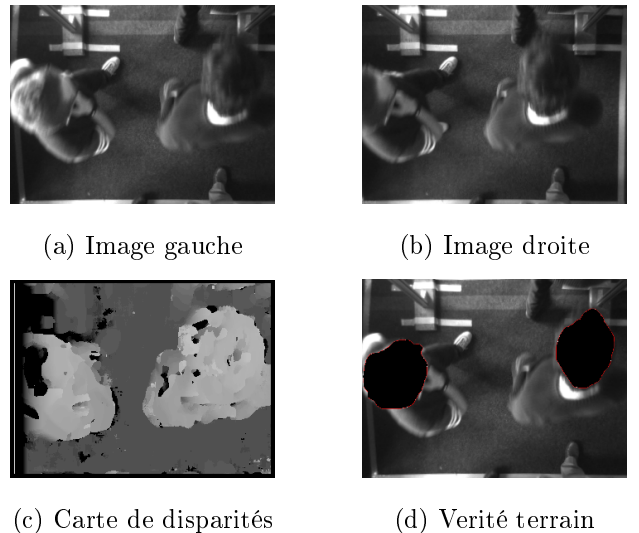


Fig. 2. Carte de disparités calculée à partir d'une paire d'images stéréoscopiques (gauche et droite) avec la vérité terrain correspondante.

de départ : $I = \bigcup_{i=1}^k R_i$, les régions ont une intersection nulle : $\forall i, j, i \neq j, R_i \cap R_j = \emptyset$

Différents algorithmes existants peuvent être utilisés pour segmenter une image et donc créer ce que nous venons d'appeler une partition. Mais ces mêmes algorithmes peuvent également définir, en jouant sur leurs paramètres, un empilement de partitions de niveaux croissants appelé hiérarchie de partitions. Nous comprendrons qu'il est alors important de définir une relation d'ordre entre deux partitions : une partition P est incluse dans une partition Q si toute région R_j^P est incluse dans une région R_i^Q . Ceci nous amène alors à définir une hiérarchie de partitions emboîtées d'une image. Soit H un ensemble de partitions associées à une image. H forme une hiérarchie de partitions s'il est possible d'établir un ordre d'inclusion parmi toute paire d'éléments de l'ensemble H . Deux régions quelconques appartenant à des partitions différentes de la hiérarchie sont soit disjointes soit incluses l'une dans l'autre.

Définition 2 (Hiérarchie de partitions emboîtées) Une hiérarchie de partitions emboîtées d'une image est un ensemble de partitions $H = \{P_1, P_2, \dots, P_l\}$ tel que les régions de la partition $P_i = \{R_1^i, R_2^i, \dots, R_k^i\}$ sont incluses dans les régions de la partition $P_j = \{R_1^j, R_2^j, \dots, R_{k'}^j\}$ avec $j > i, k' > k$ et $R_m^i \subseteq R_p^j$ ou $R_m^i \cap R_p^j = \emptyset$

La notation généralement utilisée consiste à appeler P_i le niveau i de la hiérarchie. P_0 représente le niveau inférieur de la hiérarchie et la partition la plus fine d'où son appellation « partition fine ». P_l constitue quant à lui le niveau supérieur de la hiérarchie et la partition la plus grossière. D'après la définition même de la hiérarchie de partitions emboîtées, les régions des niveaux inférieurs étant incluses dans les régions des niveaux supérieurs, une partition de niveau $i + 1$ peut être obtenue par une fusion de plusieurs régions de niveau i .

B. Pré-traitement des cartes de disparité

La Ligne de Partage des Eaux (LPE) est un opérateur de croissance de régions définissant une connexion par cheminement basée sur le gradient morphologique d'une image. Les germes de la LPE étant les minima du gradient morphologique (il s'agit ici du gradient de DIZENZO [11]). C'est une méthode qui a fait ses preuves et est très utilisée dans le domaine de la segmentation d'images. L'inconvénient majeur réside dans l'obtention d'une sur-segmentation due à un nombre important de minima. Une alternative pour pallier cet inconvénient consiste à ne plus utiliser les minima comme germes de LPE mais des marqueurs correspondant aux régions à segmenter. L'arrivée de techniques de segmentation hiérarchiques a probablement engendré l'intérêt d'une LPE hiérarchique non paramétrique. L'algorithme des cascades de la LPE permet de construire cette LPE hiérarchique non paramétrique qui procède à une fusion des bassins versants. Il est ainsi basé sur la reconstruction de la fonction gradient de l'image mosaïque avec sa LPE. En répétant un certain nombre de fois cette procédure de sorte à obtenir une cascade de LPE, nous obtenons une hiérarchie de partitions avec différents niveaux de segmentation et donc de simplification.

Procédure de pré-traitement (algorithme des cascades)

1. Posons m_0 une image et g_0 le gradient (avec $0 \leq g_0(x) \leq M$),
2. Posons $W(g_i)$ la Ligne de Partage des Eaux (LPE) de g_i ,
3. Définir une nouvelle fonction $h_i = g_i(x)$ si $x \in W(g_i)$ où $h_i = M$ sinon,
4. g_i correspond à une reconstruction par érosion géodésique de h_i c'est-à-dire $g_i^* = \epsilon_{g_i}^{rec}(h_i)$,
5. Calculer la LPE de g_i^* et l'image mosaïque correspondante m_i .
6. Posons g_{i+1} le gradient de l'image mosaïque m_i et incrémentons l'algorithme ($i = i + 1$).

La Figure 3 illustre le pré-traitement d'une carte de disparités à différents niveaux de hiérarchie avec l'utilisation de l'algorithme de LPE hiérarchique non paramétrique. Quatre niveaux de pré-traitement sont illustrés sur cette figure. Nous pouvons noter que le nombre de régions diminue au fur et à mesure que l'on augmente dans le niveau de la hiérarchie et donc dans le degré de pré-traitement. Nous pouvons aussi noter qu'il devient possible d'extraire facilement les régions correspondant aux têtes des personnes à partir du niveau trois. En effet, sur les illustrations de la figure 3, les pré-traitements obtenus pour des niveaux inférieurs laissent encore apparaître un nombre de petites régions (ne pouvant pas correspondre à une tête) trop important. Nous montrons ainsi l'importance de cette étape de pré-traitement visant à regrouper en régions des pixels de valeurs proches afin de permettre une meilleure extraction de la zone d'intérêt de l'image, c'est-à-dire, la tête des personnes.

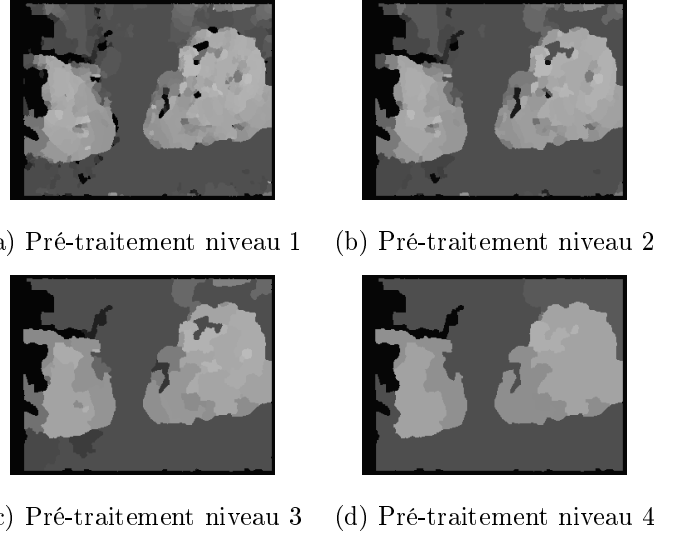


Fig. 3. Résultats de pré-traitements de cartes de disparité obtenus pour différents niveaux (1 à 4) de la hiérarchie.

C. « Extraction » des têtes des personnes

L'étape de pré-traitement des cartes de disparités étant maintenant effectuée, nous disposons d'images avec un nombre de régions moins élevé et de surfaces plus importantes. Le but de cette nouvelle étape consiste à extraire dans l'image pré-traitée, les têtes des personnes passant sous le capteur de type stéréoscope. La position verticale de notre capteur nous permet d'obtenir une vue de dessus des personnes et donc une carte de disparités qui après une transformation basique revient à obtenir une carte de hauteurs. Chaque valeur attribuée à une région correspond à la distance entre la partie du corps mesurée et le capteur. Ainsi, nous montrons facilement que le niveau de gris le plus élevé (à savoir le plus proche du capteur) devrait caractériser la partie la plus haute d'une personne, soit sa tête. Dans ce contexte, nous proposons de détailler ci-dessous, une stratégie d'extraction des têtes des personnes basée sur des seuillages multi-niveaux avec disparition de régions :

Procédure d'« extraction » des têtes de personnes

1. Posons $d_i = d_{initiale}$, la distance minimale entre le capteur et la personne de plus petite taille à détecter,
2. Posons d_{end} la distance maximale entre le capteur et la personne à détecter,
3. Appliquer une binarisation (entre d_i et d_{end}) sur l'image issue du pré-traitement,
4. Créer un masque ne gardant que les régions de l'image dont l'aire est supérieure à 500 pixels,
5. Créer une nouvelle image à partir de l'image précédente et qui pour chaque région : 1) garde les régions de niveau d_i si la région considérée est incluse dans la région du niveau précédent ($d_i - 1$); 2) garde les régions du niveau précédent ($d_i - 1$) si la région a disparu au niveau d_i ,
6. Répéter la procédure jusqu'à ($d_i = d_{end}$).

La figure 4 illustre les différentes étapes de la méthode d'extraction des têtes des personnes. A partir de l'image

pré-traitée obtenue à l'étape précédente, nous effectuons une binarisation de l'image pour un niveau de gris compris entre 110 et 220 (110 correspondant à une distance de 1m10, distance minimale retenue entre le capteur et la personne de plus petite taille ($d_{initiale}$)). Ainsi, nous ne gardons que les régions avec un niveau de gris supérieur à 110 et éliminons ainsi les personnes dont la taille serait inférieure à cette valeur comme les enfants de moins de 7 ans. Dans le cadre de notre application de comptage de passagers entrant et sortant d'un environnement transport de type bus, la requête de l'opérateur est de ne pas prendre en compte les enfants de moins de 7 ans. Par ailleurs, des statistiques nous ont permis de savoir qu'un enfant de 7 ans a une taille moyenne de 1m10. La deuxième phase de notre processus d'extraction de régions consiste à créer un masque ne contenant que les régions d'une surface supérieure à 500 pixels (valeur moyenne déterminée expérimentalement). Afin de ne pas tenir compte des imperfections de la carte de disparités et des petites régions ne pouvant correspondre à une tête. Nous réitérons ensuite la binarisation avec cette fois un niveau de gris compris entre 120 (correspondant à une hauteur de 1m20) et 220 (correspondant à une hauteur de 2m20). Dans l'étape suivante, nous créons une image contenant pour chaque région : 1) la région de l'image binarisée si cette région est incluse dans le masque ; 2) la région du masque qui disparaît dans l'image binarisée. Enfin, nous répétons le traitement jusqu'à la dernière binarisation comprise entre 210 et 220 (valeur d_{end} correspondant à la distance maximale entre le capteur et la personne à détecter). De part la stratégie employée, nous pouvons vulgariser notre système en disant que nous partons d'une région représentant la silhouette entière d'une personne vue de dessus. Nous supprimons ensuite une région de bas niveau (avec une distance inférieure) si une région de plus haut niveau (avec une distance supérieure) est incluse dans celle-ci (de sorte à conserver l'ordre logique du buste, des épaules et de la tête). La dernière région existante étant forcément la tête puisque qu'aucune région ne se trouve être à un niveau plus haut.

III. RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

Dans cette section, nous présentons des résultats de segmentation de cartes de disparités calculées à partir de séquences vidéo tournées en laboratoire et simulant le passage de plusieurs personnes sous un capteur de type stéréoscope. Les résultats de segmentation présentés dans cette section sont le résultat d'une série de tests effectués sur 500 cartes de disparités de taille 320×240 pixels. Le tableau I et la figure 5 illustrent les résultats d'évaluation de la méthode de segmentation proposée c'est-à-dire le nombre de têtes correctement extraites. Nous allons dans cette partie présenter rapidement la méthode d'évaluation utilisée spécifique à notre application et nous terminerons en décrivant les résultats des différents tests.

A. Méthode d'évaluation utilisée

Dans cette section, nous présentons brièvement, la méthode d'évaluation utilisée pour définir les meilleurs paramètres de notre algorithme ainsi que le nombre de têtes des personnes correctement extraites. Dans le cadre de notre application de comptage de passagers, il n'est pas

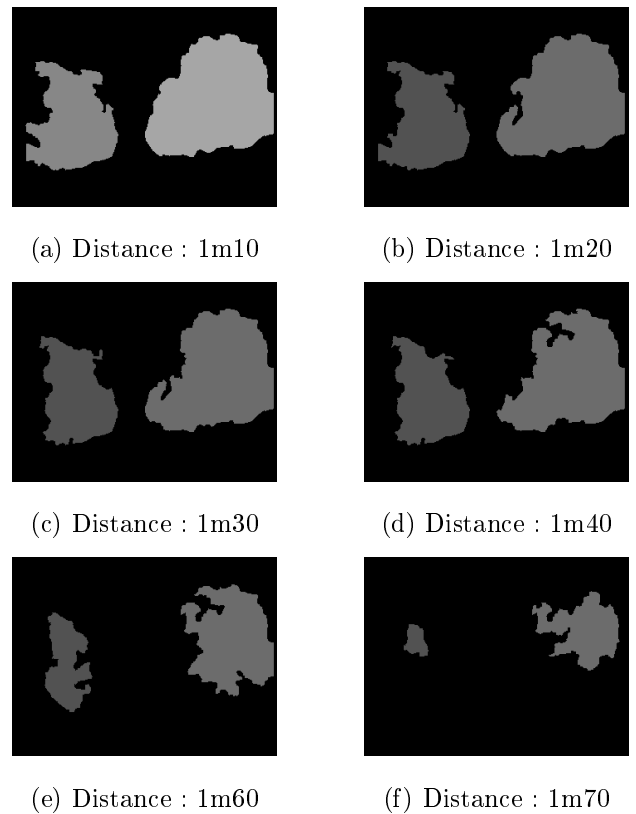


Fig. 4. Résultats de pré-traitement de cartes de disparités obtenus pour différents niveaux (1 à 4) de la hiérarchie.

nécessaire d'obtenir une segmentation parfaite en termes d'aire et de contour. Nous cherchons seulement à obtenir un nombre de régions calculé équivalent au nombre de têtes réellement présentes dans l'image initiale avec un positionnement de ces dernières relativement exact. Pour ce faire, nous avons dans un premier temps créé une base de segmentation de référence (500 images vérité terrain) où chaque tête de passager présente dans l'image initiale (image stéréoscopique gauche) correspond à un marqueur dans l'image de référence comme illustré sur la Figure 2(d).

La méthode d'évaluation utilisée consiste à compter pour chaque image et au global, le nombre de marqueurs de l'image segmentée correctement retrouvés dans l'image de référence. Deux cas peuvent alors exister : 1) le centroïde d'une région de l'image segmentée est inclus dans une région de l'image référence ; 2) le centroïde d'une région de l'image de référence est inclus dans une région de l'image segmentée. Nous présentons donc les résultats obtenus avec cette méthode dans la section suivante.

B. Résultats des tests effectués sur la séquence vidéo

Le tableau I présente pour un niveau de hiérarchie et une taille de fenêtre de corrélation donnés, le taux de reconnaissance de têtes des passagers correctement extraites. Des tests préliminaires ont permis de montrer qu'un niveau de hiérarchie supérieur à cinq donne des résultats peu satisfaisants. C'est pourquoi, nous présentons dans cet article que les résultats de segmentation obtenus pour un niveau de hiérarchie compris entre un et cinq. Nous montrons que ce paramètre ainsi que celui de la taille de la

fenêtre de corrélation (dans le calcul de la carte de disparités) ont une grande importance dans le taux de reconnaissance final. Nous obtenons de très bons résultats pour un niveau de hiérarchie égal à trois ou quatre et une taille de fenêtre de corrélation de 9×9 ou 11×11 . Le premier niveau de la hiérarchie ne donne jamais les meilleurs résultats. Une explication pourrait être que l'image à segmenter n'est pas assez simplifiée. La présence d'un certain nombre d'artefacts correspondant à des petites régions rend ainsi la reconnaissance des têtes difficile. Le cinquième niveau de la hiérarchie donne lui aussi des résultats peu satisfaisants (les moins bons résultats de notre série de tests dans sept cas sur huit). Ceci est probablement dû à une simplification excessive de la carte de disparités dans l'étape de pré-traitement. Nous pouvons alors conclure d'après ce tableau que le meilleur taux de reconnaissance de têtes des passagers, soit 82%, est obtenu avec un niveau de hiérarchie égal à quatre et une taille de fenêtre de corrélation de 9×9 .

	L1	L2	L3	L4	L5
WS (3*3)	73%	71%	69%	74%	77%
WS (7*7)	72%	75%	68%	81%	79%
WS (9*9)	74%	77%	81%	82%	68%
WS (11*11)	77%	78%	81%	79%	65%
WS (13*13)	76%	77%	80%	79%	58%
WS (15*15)	76%	77%	78%	78%	52%
WS (17*17)	77%	77%	79%	74%	51%
WS (19*19)	74%	74%	76%	75%	47%

TABLE I

TAUX DE RECONNAISSANCE PORTANT SUR LE NOMBRE DE TÊTES DES PERSONNES CORRECTEMENT EXTRAITES DANS LA SÉQUENCE TEST. (L_i LE NIVEAU DE LA HIÉRARCHIE, WS LA TAILLE DE LA FENÊTRE DE CORRÉLATION).

La figure 5 présente un comparatif sur la méthode de segmentation proposée dans cet article et la méthode actuellement utilisée dans la chaîne globale de traitement du système de comptage [12]. Nous montrons que la méthode proposée offre un taux de bonne segmentation de 82% contre 68% pour l'autre méthode. Nous montrons également un taux de sous-segmentation de 18% contre 32% ce qui constitue aussi une amélioration. Notre méthode s'avère néanmoins moins efficace sur le taux de sur-segmentation mais ceci n'est pas gênant puisque cette erreur est généralement réduite voir complètement corrigée par l'étape de suivi présente dans le système complet de comptage et se situant en aval de notre étape de segmentation.

IV. CONCLUSION

Dans cet article, nous avons présenté un nouvel algorithme de segmentation de cartes de disparités calculées à partir de paires d'images stéréoscopiques simulant le passage de plusieurs personnes sous un capteur. La première étape du système proposé consiste à effectuer une simplification de la carte de disparité par l'algorithme des cascades (Ligne de Partage des Eaux hiérarchique non paramétrique) en choisissant le niveau de la hiérarchie et la taille de la fenêtre de corrélation. La deuxième étape consiste à ex-

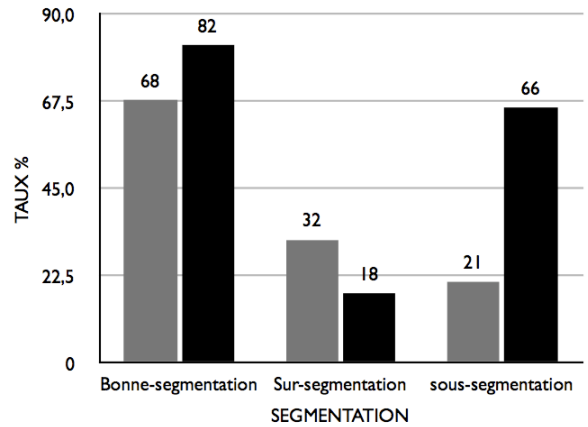


Fig. 5. Comparaison des résultats produits avec la méthode de segmentation proposée et une méthode de la littérature.

traire les régions correspondant aux têtes des personnes par l'utilisation d'une technique basée sur des seuillages multi-niveaux avec disparition de régions. La stratégie proposée a été évaluée sur 500 cartes de disparités calculées à partir de séquences vidéo tournées en laboratoire et simulant le passage de plusieurs personnes sous un capteur de type stéréoscope. Nous montrons un taux de reconnaissance de 82% bien supérieur à l'existant qui est de 68%. Les résultats de cette étape de segmentation seront exploités pour l'étape de suivi et in fine de comptage de passagers. La perspective à brève échéance consiste à évaluer l'influence de la méthode proposée dans le comptage final.

RÉFÉRENCES

- [1] T. Yahiaoui. *A dense stereovision approach integrating similarity constraints. Application to counting passengers entering and outgoing of a bus*. PhD thesis, University of Lille, June 2007.
- [2] S. Beucher. Watershed, hierarchical segmentation and waterfall algorithm. *Mathematical Morphology and its Applications to Image and Signal Processing*, pages 69–76, 1994.
- [3] J. Angulo et J. Serra. Color segmentation by ordered mergings. *Proc. of ICIP 2003*, volume 2, pages 125–128, 2003.
- [4] P. Salembier et J. Serra. Morphological multiscale image segmentation. *SPIE Visual Communications and Image Processing*, pages 620–631, 1992.
- [5] P. Salembier et J. Serra. Flat zones filtering, connected operators, and filters by reconstruction. *IEEE Trans on Image Processing*, 4(8) :1153–1160, 1995.
- [6] Jean Serra. Connections for sets and functions. *Fundam. Inform.*, 41(1-2) :147–186, 2000.
- [7] O. Lezoray, C. Meurie, P. Belhomme, et A. Elmoataz. Hiérarchie de partitions pour la simplification et la segmentation d'images couleur. *COmpression et REprésentation des Signaux Audiovisuels*, pages 231–236, 2005.
- [8] O. Lezoray, C. Meurie, P. Belhomme, et A. Elmoataz. Multi-scale image segmentation in a hierarchy of partitions. *EUSIPCO*, 2006.
- [9] C. Meurie. *Segmentation d'images couleur par classification pixellaire et hiérarchie de partitions*. PhD thesis, Université de Caen Basse-Normandie, 2005.
- [10] C. Meurie et O. Lezoray. A new method of morphological hierarchical segmentation. *IET Visual Information Engineering*, 2007.
- [11] S. DiZenno. A note on the gradient of a multi-image. *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 33 :116–126, 1986.
- [12] T. Yahiaoui. *Une approche de stéréovision dense intégrant des contraintes de similarité. Application au comptage de passagers entrant et sortant d'un autobus*. PhD thesis, Université des Sciences et Technologie de Lille, 2007.