

# Analyse et gestion de l'occupation de places de stationnement par vision artificielle

Karim Hammoudi\*, Halim Benhabiles\*\*, Mahmoud Melkemi\*, Fadi Dornaika\*\*\*,\*\*\*\*

\*Université de Haute-Alsace (UHA), LMIA (EA 3993), MAGE  
6 rue des Frères Lumière, 68093 Mulhouse, France  
karim.hammoudi@uha.fr, mahmoud.melkemi@uha.fr  
<http://www.lmia.uha.fr/>

\*\*LRDSI Laboratory, Faculty of Sciences, Saad Dahlab University, Blida, Algeria  
halim.benhabiles@univ-blida.dz

\*\*\*Department of CS & AI, University of the Basque Country, 20018 San Sebastián, Spain  
\*\*\*\*IKERBASQUE, Basque Foundation for Science, 48011 Bilbao, Spain  
fadi.dornaika@ehu.es

**Résumé.** Cet article présente un système de surveillance basé sur la vision pour le développement de services de gestion de places de parking. Le système présenté est un système adaptable pour l'analyse de places de stationnement dans des parkings de différentes configurations. Dans ce but, des expérimentations ont été menées sous différentes prises de vue en utilisant une caméra connectée à une station de travail mobile. Les résultats obtenus montrent la faisabilité du système dans l'analyse et dans la gestion des emplacements de parking avec des véhicules.

## 1 Introduction et motivations

Face à l'augmentation continue du nombre de véhicules dans le monde, il est nécessaire d'apporter de nouvelles solutions de gestion du trafic. Il devient parfois extrêmement difficile de trouver une place de stationnement disponible, notamment en zones urbaines denses. De plus, ces phénomènes de congestion du trafic engendrent d'autres problèmes de nature économique et écologique. Dans ce travail, nous avons conçu un système de vision visant à simplifier la recherche d'une place de parking par l'analyse en temps réel de places vacantes ; le résultat de cette analyse pouvant être alors communiqué à travers des écrans numériques ou des applications mobiles.

Par ailleurs, nous nous intéressons aux systèmes d'analyse de places de parking basés vision car ils pourraient s'avérer être une alternative intéressante pour compléter ou remplacer les systèmes actuels exploitant des infrastructures physiques (capteurs de pression au sol ou autres systèmes mécaniques), relativement complexes à adapter aux différents types de parking et parfois coûteux en terme de déploiement et de maintenance.

## **2 État de l'art**

Durant cette dernière décennie la communauté de la vision par ordinateur a montré un grand intérêt en ce qui concerne le développement d'approches de surveillance de places de parking. Dans ce contexte, une grande partie des approches existantes sont fondées sur des techniques d'apprentissage (e.g. ; [Wu et Z. \(2006\)](#), [Huang et Sheng-Jyh \(2010\)](#), [Ichihashi et al. \(2009\)](#)). Elles exploitent principalement un classifieur entraîné à partir d'une base de vérité-terrain composée d'images représentant des places de parking (disponibles ou occupées). Généralement, la différence principale entre ces approches réside dans le choix de l'algorithme d'apprentissage et le protocole adopté pour la création de la base de vérité-terrain et pour la construction des données d'apprentissage.

Wu and Zhang ([Wu et Z. \(2006\)](#)) ont proposé une approche basée sur ce modèle. Plus spécifiquement, un modèle d'apprentissage multi-classes est construit en utilisant un classifieur SVM (Support Vector Machine). Dans ce but, ils ont utilisé un ensemble de données d'apprentissage où chaque instance consiste en un vecteur de caractéristiques basé sur la couleur de pixels qui représente un patch de trois places de parking adjacentes. Par conséquent, le classifieur entraîné possède huit sorties correspondant à huit états possibles du patch de véhicules. Les auteurs ont montré que l'apprentissage de l'état des patches à l'endroit d'une place de parking a permis l'amélioration de la robustesse du classifieur en terme de changement de la luminosité. Plus précisément, le classifieur a atteint 83.75% de succès.

Ching-Chun et Sheng-Jyh ([Huang et Sheng-Jyh \(2010\)](#)) ont également proposé une approche établie sur l'apprentissage pour l'identification de l'état des places de parking rangée par rangée. Leur modèle d'apprentissage est fondé sur un framework bayésien hiérarchique. Il inclut trois étapes à savoir le modèle de classification, le modèle d'adjacence et le modèle sémantique. Les auteurs ont montré que le modèle qu'ils ont proposé permet de gérer efficacement le problème d'occlusion inter-objet. En effet, sur 1500 images de test, les taux de fausses acceptations et de faux rejets sont respectivement 3.2% et 2%.

Similairement aux travaux précédents, Ichihashi et al. ([Ichihashi et al. \(2009\)](#)) ont proposé un système de surveillance de places de parking. La différence principale avec les travaux précédents réside dans l'algorithme d'apprentissage utilisé pour apprendre l'état des places de parking. Dans ce travail, les auteurs ont utilisé un algorithme de classification Fuzzy C-Mean [Sadaaki et al. \(2008\)](#). Pour augmenter la robustesse du système, les auteurs ont pris en considération les conditions climatiques dans les données d'apprentissage. Dans ce but, ils ont collecté des images qui couvrent un large éventail de conditions climatiques incluant notamment la pluie, le soleil, le jour, la nuit. Le classifieur entraîné a montré sa performance à travers un taux de détection d'occupation des places de parking dépassant 80%.

Certains travaux récents proposés dans la littérature évitent l'utilisation de techniques d'apprentissage (voir [Suhr et al. \(2010\)](#) and [Shih et Wen-Hsiang \(2014\)](#)). Leurs mises en oeuvre peuvent s'avérer délicates en raison de la complexité d'implémentation et de paramétrage pour l'obtention de solutions efficaces.

Dans ce qui suit, nous proposons un système qui est simple à implémenter et qui limite l'usage d'opérations coûteuses en mémoire et en calcul tout en préservant des performances comparables à celles des travaux précédemment décrits dans l'état de l'art. Nous présentons ci-dessous une synthèse de travaux publiés concernant les mécanismes de notre système de surveillance de places de parking ([Hammoudi et al. \(2016b\)](#) and [Hammoudi et al. \(2016a\)](#)).

### 3 Système de surveillance de places de parking présenté

Le système que nous présentons consiste en une application temps réel qui permet d'analyser l'occupation d'un ensemble de places de parking visualisé par une caméra statique. Il n'y a aucune contrainte sur le positionnement de la caméra mis à part le fait qu'elle doit couvrir dans son champ de vision des places de parking ciblées. En conséquence, elle peut être fixée en hauteur sur un poteau ou bien sur un bâtiment, ou même encore derrière la vitre d'un bâtiment.

Afin d'initialiser le système de surveillance, une étape de sélection manuelle des places de parking est réalisée dans une image de référence. Cette image de référence est une image de parking pour lequel les places surveillées sont vacantes ou bien une image d'un parking entièrement non occupée. Ainsi, le système de surveillance sera en mesure d'analyser automatiquement l'occupation des places de parking (analyse spatiale) en comparant chaque couple de places sélectionné sur l'image de référence avec son homologue dans le flux vidéo. Pour améliorer l'analyse des places, nous avons intégré dans notre système un mécanisme d'analyse temporelle. Les étapes et les mécanismes de notre système d'analyse et de gestion des places de parking sont décrits ci-dessous et illustrés en Figure 1.

#### 3.1 Sélection des places de parking

Comme indiqué précédemment, cette étape a pour but de sélectionner manuellement chaque place de parking sur l'image de référence à travers l'interface graphique. À cette fin, un opérateur trace un quadrilatère sur chaque emplacement (i.e. ; étape de focalisation). La taille du quadrilatère est flexible mais doit couvrir au moins une partie significative de la place considérée. Les quadrilatères tracés sur l'image de référence sont projetés directement sur le flux de vidéo puisque nous supposons que la caméra est fixe. Il n'est pas nécessaire de sélectionner l'empreinte complète d'un emplacement de parking pour analyser son occupation. Le fait de focaliser l'analyse sur la partie centrale des emplacements permet de limiter des effets de bords (véhicules mal stationnés) et rend le système plus efficace en temps de calcul.

#### 3.2 Analyse de l'occupation des emplacements

Une fois les places de stationnement sélectionnées, notre système procède au calcul d'une mesure de dissimilarité entre les régions des quadrilatères situés sur l'image de référence et leurs correspondantes sur le flux de vidéo temps réel. Nos études ont conduit à proposer deux stratégies qui mènent à des résultats concluants en ce qui concerne l'analyse de l'occupation des places (occupées ou vacantes).

##### 3.2.1 Stratégie 1

La première stratégie a consisté à exploiter des mesures de dissimilarités connues en photométrie pour leur robustesse (e.g. ; [Chen et al. \(2003\)](#)). Par exemple, nous avons employé des mesures basées sur la différence des intensités entre les couples de quadrilatères (image référence et homologues vidéo) de la façon suivante.

Soient  $I_{p(i)_{ref}}$  et  $I_{p(i)_{flux}}$  les intensités du  $i^{ème}$  pixel situé respectivement dans la région d'une place de parking sélectionnée dans l'image de référence et son homologue positionné

dans le flux vidéo. La différence d'intensité entre les deux régions notée  $\Delta I$  est calculée comme suit :

$$\Delta I = \sum_{i=1}^n \left( \left[ I_{p(i)_{ref}} - \bar{I}_{ref} \right] - \left[ I_{p(i)_{flux}} - \bar{I}_{flux} \right] \right)^2$$

où  $n$  est le nombre de pixels contenus dans le quadrilatère tracé autour d'une place de parking et :

$$\bar{I}_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{p(i)_x}, x \text{ est } ref \text{ ou bien } flux$$

Une grande valeur de  $\Delta I$  indique une différence significative entre les deux places ce qui signifie potentiellement que la place est occupée. Le contraire est vrai ; une petite de valeur de  $\Delta I$  signifie que la place est disponible. Cette mesure (i.e. ; Zero-mean Sum of Squared Differences (ZSSD)) commence par calculer l'écart des intensités par rapport à la moyenne pour l'image de référence d'une part et pour l'image vidéo d'autre part. Ceci permet de limiter l'effet de variation d'éclairage qui survient au cours du temps. Cette mesure calcule alors la somme totale des écarts (Sum of Squared Differences (SSD)) puis un seuil global est appliqué pour déterminer le statut d'occupation des emplacements de stationnements. Le score calculé pour chaque emplacement est normalisé par rapport à sa taille. Ce seuil d'occupation est déterminé par expérimentation après un étalonnage initiale.

Malgré l'usage d'une mesure limitant les effets de variations d'éclairage, nous avons observé que l'exposition pouvait changer de manière importante d'une heure à l'autre. Par conséquent, nous avons proposé un algorithme de calcul d'un seuil adaptatif qui rafraichit la valeur du seuil de façon dynamique en retenant la valeur centrale entre les moyennes des scores des emplacements vacants et ceux des emplacements occupés. Cette méthode a permis d'augmenter la robustesse de notre système aux changements de luminosité.

### 3.2.2 Stratégie 2

La seconde stratégie a consisté à employer une mesure basée sur la présence de contours dans les images analysées. En effet, une place occupée est caractérisée par un nombre de contours important. Pour extraire des contours, nous utilisons un détecteur de Canny qui est basé sur l'analyse de la magnitude de gradients des images. Ensuite, pour comparer les régions d'un emplacement (référence et flux vidéo), nous calculons la différence entre cardinalité de leurs contours  $\Delta Card_\zeta$  comme suit :

$$\Delta Card_\zeta = |Card(\zeta_{ref}) - Card(\zeta_{flux})|$$

où  $\zeta$  représente l'ensemble des pixels appartenant aux contours extraits respectivement d'une place de référence et sa correspondante dans le flux vidéo. Similairement à  $\Delta I$ , une grande valeur de  $\Delta Card_\zeta$  signifie potentiellement que la place est occupée. Si cet écart  $\Delta Card_\zeta$  (nombre de pixels contour apparants) dépasse un certain pourcentage du nombre de pixels du quadrilatère traité, alors l'emplacement est considéré occupé. Sinon, l'emplacement est vacant.



FIG. 1 – Prototype de l’application développée pour la gestion et la surveillance en temps réel des places de parking.

Cette seconde stratégie basée sur une analyse de primitives géométriques s’est avérée plus robuste que l’usage seul d’une mesure de similarité exploitant des propriétés photométriques (e.g. ; celle employée Stratégie 1).

Ces deux stratégies comprennent des mécanismes qui ont permis de déterminer en temps réel des statuts d’occupation de places de parking corrects en employant des critères basés image simples à implémenter.

### 3.3 Filtrage des occultations et horodatage des emplacements

De plus, comme la caméra observe un environnement dynamique incluant des objets en mouvement tels que des piétons ou bien des voitures, les places de parking peuvent être couvertes partiellement ou bien complètement par ces objets a priori pour une courte durée. De ce fait, les scores calculés peuvent être faussés ce qui conduit à une analyse erronée de l’état d’une place de parking. Pour faire face à ce problème, un minuteur est déclenché à chaque fois qu’une place est potentiellement occupé (e.g. ; score d’un emplacement dépassant le seuil fixé). La décision est validée si et seulement si le score de l’emplacement reste stable pendant un certain temps. De plus, le minuteur permet d’horodater chaque emplacement. Ce mécanisme d’horodatage basé vision peut permettre de déclencher une alerte de dépassement du temps alloué. Notre système peut aussi permettre d’informer les usagers lorsqu’un parking est entièrement occupé.

## 4 Expérimentations et résultats

La Figure 1 montre l’interface de l’application de gestion des places de parking développée. Le panneau situé dans la partie haute comprend trois paramètres ajustables dans le cadre d’utilisation de la stratégie 1. Le paramètre “Occupancy” correspond au seuil global pré-défini



FIG. 2 – Étude de la robustesse de notre système face aux objets dynamiques occultants. Scène de parking avec un véhicule occultant des emplacements de stationnement (partie gauche). Histogramme des scores (stratégie 1) associés à chaque emplacement (partie droite).

pour la prise de décision (ici 1400). Les paramètres “Validation” et “Park\_Limit” sont liés aux minuteurs déclenchés pour chaque emplacement. Un emplacement ayant un score supérieur au seuil pré-défini pendant une durée supérieure au temps de validation (ici 5 secondes) sera considéré comme occupé. L’emplacement sera alors colorisé en rouge. Un emplacement ayant un score inférieur au seuil pré-défini signifie que l’emplacement est vacant. L’emplacement est colorisé en vert. “Park\_Limit” permet de déclencher un bip sonore (ou une alerte textuelle) après un temps de stationnement autorisé. L’image de gauche correspond à l’image acquise en temps réel et l’image de droite correspond à une image de référence. Le panneau du bas présente les scores calculés avec différentes métriques ainsi que les minuteurs qui permettent d’obtenir à partir d’analyses visuelles l’horodatage automatique pour chaque emplacement surveillé.

La Figure 2 illustre le phénomène d’occultation des emplacements de stationnement qui peut être occasionné par des objets mobiles. Dans l’histogramme des scores, nous observons que les valeurs des scores sont élevées (supérieures au seuil global pré-défini) mais les couleurs des emplacements n’ont pas changé grâce au paramètre de validation. De cette façon, notre système est robuste aux occultations de cette nature.

Par ailleurs, la Figure 3 expose un phénomène d’ombrage qui peut parfois survenir et mettre en défaut un système de ce type. Le véhicule à l’emplacement 2 se gare. L’ensoleillement important fait apparaître une zone d’ombre significative dans l’emplacement 1 (colorisé en bleu). Ce cas illustre l’importance d’ajuster le seuil dans le cadre de la stratégie 1.

D’autres expérimentations de notre système ont été menées en appliquant la stratégie 1. Ces dernières ainsi que les expérimentations réalisées en appliquant la seconde stratégie sont présentées en détails dans Hammoudi et al. (2016b) and Hammoudi et al. (2016a).



FIG. 3 – Effet d’ombre sur un emplacement de stationnement. Le stationnement d’un véhicule a produit une ombre sur un emplacement adjacent causant alors une mauvaise détection (partie gauche). Histogramme des scores (stratégie 1) associés à chaque emplacement (partie droite).

## 5 Conclusions et perspectives

Nous avons présenté un système basé vision pour l’analyse et la gestion des places de parking. Ce système peut être employé pour automatiquement connaître la disponibilité de places de stationnement. Il peut être également employé pour contrôler le temps d’occupation des places par un horodatage visuel. Ce système exploite des mécanismes d’analyse d’occupation simples à mettre en oeuvre par l’utilisation de métriques image basées sur l’étude de propriétés photométriques ou géométriques à partir de données brutes (e.g.; images obliques non pré-traitées). Des recherches (Hammoudi et al. (2016b) and Hammoudi et al. (2016a)) ont permis de valider le fonctionnement des mécanismes d’analyse présentés pour chacune des stratégies.

Les résultats montrent une robustesse aux objets dynamiques occultants ainsi qu’aux faibles variations lumineuses. En perspective, nous escomptons confronter les deux stratégies et réaliser des expérimentations dans des conditions rudes (intempéries, faible éclairage, ombrages par diverses sources). Dans ce sens, nous menons des expérimentations pour rafraîchir à différents moments les intensités des emplacements vacants de l’image de référence pour limiter l’effet des changements d’éclairage.

## Références

- Chen, J., C. Chen, et Y. Chen (2003). Fast algorithm for robust template matching with m-estimators. *IEEE Transactions on Signal Processing* 51, 230–243.
- Hammoudi, K., H. Benhabiles, A. Jandial, F. Dornaika, et J. Mouzna (2016a). Developing a vision-based adaptive parking space management system. *International Journal of Sensors, Wireless Communications and Control* 6, 192–200.

- Hammoudi, K., H. Benhabiles, A. Jandial, F. Dornaika, et J. Mouzna (2016b). Self-driven and direct spatio-temporal mechanisms for the vision-based parking slot surveillance. In *Science and Information Conference (SAI Computing)*, pp. 1327–1329. IEEE.
- Huang, C. et W. Sheng-Jyh (2010). A hierarchical bayesian generation framework for vacant parking space detection. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology* 20, 1770–1785.
- Ichihashi, H., A. Notsu, K. Honda, T. Katada, et M. Fujiyoshi (2009). Vacant parking space detector for outdoor parking lot by using surveillance camera and fcm classifier. In *International Conference on Fuzzy Systems*, pp. 127–134. IEEE.
- Sadaaki, M., H. Ichihashi, et K. Honda (2008). *Algorithms for fuzzy clustering: methods in c-means clustering with applications*. Springer.
- Shih, S. et T. Wen-Hsiang (2014). A convenient vision-based system for automatic detection of parking spaces in indoor parking lots using wide-angle cameras. *IEEE Transactions on Vehicular Technology* 63, 2521–2532.
- Suhr, J., H. Jung, K. Bae, et J. Kim (2010). Automatic free parking space detection by using motion stereo-based 3D reconstruction. *Machine Vision and Applications* 21, 163–176.
- Wu, Q. et Y. Z. (2006). Parking lots space detection. machine learning). Technical report, Carnegie Mellon University.

## Summary

This paper presents mechanisms of a vision-based monitoring system for the development of parking space management services. The presented system is an adaptive system dedicated to the analysis of parking spaces having various configurations. In this way, experiments have been conducted under several fields of view by using a camera connected to a mobile workstation. Obtained results show the feasibility of this system for analyzing and managing slots of car parkings.