

監視カメラ映像を利用した
駐車スロット単位の車両入出検出のためのウィンドウ設定

Window Setting for Vehicle Entry/Exit Detection per Parking Slot
from Surveillance Camera Video

星 幸輝[†]
Koki Hoshi

喜多 泰代[†]
Yasuyo Kita

松田 一朗[†]
Ichiro Matsuda

伊東 晋[†]
Susumu Itoh

1. はじめに

異なる時刻に撮影された同一シーン画像間の変化検出は監視画像、医用画像、航空・衛星画像、マシンビジョンなどで重要性を増している。本研究ではその中でも屋外駐車場に設置された監視カメラを利用した駐車スロットごとの車両の入出りの自動検出に焦点を当てる。近年、パチンコホールなどの駐車場において、子どもが車内に放置される事故が問題となっている[1]。これを防ぐため、従業員による定期巡回が行われているが、駐車場全体を巡回するのは時間がかかるため、前回巡回後に車両の入出りがあった場所に巡回範囲を絞りたいという要望がある。車内にいる人物を検知し、条件を満たした場合に「置き去り」と判定して事故を未然に防ぐ技術[2]や、機械学習を利用した駐車場の空きスペースの検出技術[3]が開発されているが、駐車スロットごとに車内が映るような画角でカメラを設置することや、ドローンやロボットの自動運転による撮影が必要であり、運用のコストが大きい。本研究では、駐車場全体を俯瞰する少数の監視カメラから得られた映像を利用し、駐車スロットごとの車両の入出を検出することでこの問題の解決を試みる。

このためには、駐車スロットごとに変化の検出を行うウィンドウを設定する必要があるが、駐車スロット、監視カメラの位置・角度も設置状況によって異なる。そのため、駐車場画像から駐車スロットに応じた変化検出ウィンドウを自動設定することは難しい。そこで本研究では、画像座標と駐車場地面に設定したワールド座標の対応点をマニュアルで複数組与えることで、このウィンドウを半自動的に決定した。また、得られた変化検出ウィンドウの有用性を検証するため、1 時間間隔で撮影した画像対の正規化相互相関(ZNCC)によるエッジ一致度を利用して変化判定を行った結果について報告する。

2. 透視投影行列を用いたウィンドウ設定

駐車スロットの配置は駐車場によって様々である。また、監視カメラの位置・角度も設置状況によって異なる。そのため、駐車場画像から駐車スロットに応じた変化検出ウィンドウを自動設定することは難しい。そこで本研究では、画像座標と駐車場地面に設定したワールド座標の対応点をマニュアルで複数組与えることで透視投影行列を算出すると共に、各スロットに仮想的に設置した車体を包含する直方体を監視映像に投影することにより、図 1 のようなウィンドウを半自動的に決定する。ワールド座標は、既知とする駐車スロットの物理的なサイズを元に定める。



図 1 駐車場画像に変化検出ウィンドウを設定した例

2.1 透視投影行列を介したワールド座標と画像座標の関係

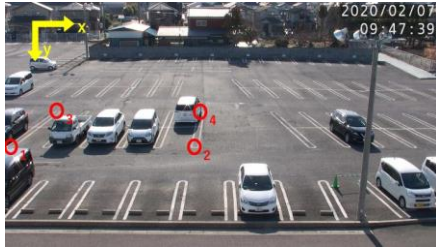
あるワールド座標 (X_w, Y_w, Z_w) の透視投影画像座標を (u, v) とおくと、これらの点を同次座標系で表したときの関係は 3×4 の透視投影行列 \mathbf{P} を介して示すことができる。この関係は 3 次元空間上の全ての点とその対応点に対し成立する。このワールド座標と画像座標の対応を必要組与えることで、透視投影行列 \mathbf{P} を算出することができ、これをカメラのキャリブレーションと呼ぶ。いったんキャリブレーションを行えば、 \mathbf{P} を用いて任意のワールド座標の投影座標を算出することができる。この関係を用いて、駐車スロットに相当する幅、奥行、高さの直方体を駐車場画像上に投影する。

投影した駐車スロットからウィンドウを設定する方法について、スロットの投影方向に応じて外形の頂点となる 6 点を取り出し、その 6 点からなる六角形をウィンドウとして設定する。

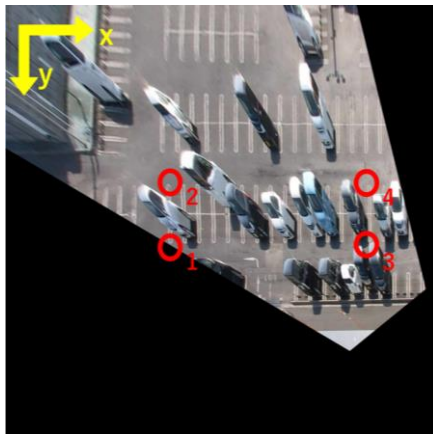
2.2 対応点設定のための上面図作成

透視投影行列を求めるために、ワールド座標と画像座標の対応組を与える必要があるが、駐車場画像そのものから得られる情報には限りがある。しかし、駐車場の設計図が簡単に入手できる状況は少なく、監視映像そのものから必要な情報が得られることが望ましい。また、駐車スロット間の道路幅などの長さが分かれば、駐車スロットの位置関係がより明確になる。これらの目的のために、射影変換を用いて図 2 (b) のような駐車場画像を真上から見た図(以下、これを上面図と呼ぶ)を作成した。図 2 (a) に示した 4 点 (x_n, y_n) ($n = 1 \sim 4$) に囲まれた領域が、真上から見た駐車スロットの寸法と一致するように変換後の各点の座標を指定し、同次座標系を用いた 3×3 のホモグラフィ行列を算出して射影変換を行った。

[†] 東京理科大学 理工学部 電気電子情報工学科
Department of Electrical Engineering, Faculty of Science and
Technology, Tokyo University of Science



(a)



(b)

図 2 射影変換を用いた上面図作成の例

変換後の画像上で、既知であるスロットサイズとの長さの比から、各スロット塊間の距離を見積もることができる。

3. ウィンドウの変化判定指標

本稿で扱うデータは屋外で撮影されたものであり、環境光の明るさ変動の影響が大きいため、一般的な差分画像など指標とする変化判定は困難である。そのため、正規化相互相関(ZNCC)を用いたエッジ一致度を用いて変化判定を行った。

3.1 正規化相互相関(ZNCC)を用いたエッジ一致度

投影した駐車スロットから設定したウィンドウ内のエッジ一致度 S_e を、Sobel オペレータで求めた画像水平方向(x)、垂直方向(y)の 2 方向のエッジ画像同士の正規化相互相関(ZNCC)を用いて算出した。エッジ一致度 S_e の定義を以下に示す。

$$S_e = (E_x + E_y)/2 \quad (1)$$

$$E_x = \left| \frac{\sum_{n=1}^N (e_{1,x}(n) - \mu_{e_{1,x}})(e_{2,x}(n) - \mu_{e_{2,x}})}{N\sigma_{e_{1,x}}^2 \sigma_{e_{2,x}}^2} \right| \quad (2)$$

$$E_y = \left| \frac{\sum_{n=1}^N (e_{1,y}(n) - \mu_{e_{1,y}})(e_{2,y}(n) - \mu_{e_{2,y}})}{N\sigma_{e_{1,y}}^2 \sigma_{e_{2,y}}^2} \right| \quad (3)$$

$e_{i,k}(n)$: 各画像($i = 1, 2$)の k 方向のエッジ画像におけるウィンドウ内の n 番目の画素の値

$\mu_{e_{i,k}}$: $e_{i,k}$ のウィンドウ内平均

$\sigma_{e_{i,k}}^2$: $e_{i,k}$ のウィンドウ内分散

N : ウィンドウ内の画素数

定義式より、 S_e は0~1の値を取る。この S_e がしきい値以下になった場合、変化ありと判定するようにした。しきい値は、 S_e を 100 階級に分けヒストグラムを作成し、大津の二値化法[4]を用いて決定する。

4. 実験

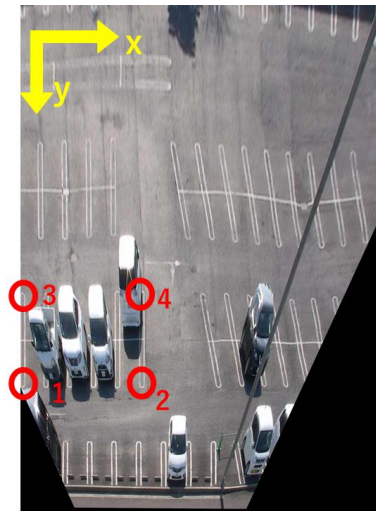
4.1 透視投影行列算出を用いたウィンドウ設定

4.1.1 対応点設定のための上面図作成

用いた駐車場画像と作成した上面図を図 3 に示す。元画像で奥の方にあたる部分は歪みが生じてしまっているが、駐車スロット間の距離、道路幅などの大まかな位置関係は確認することができた。



(a)



(b)

図 3 ホモグラフィ行列の算出に用いた点

4.1.2 対応点の設定と変化検出ウィンドウの設定結果

透視投影行列算出のため、図 4 において赤丸を付した対応点をマニュアルで設定した。各点のデータをそれぞれ表 1 に示す。ワールド座標の決定には、駐車スロットの大きさ、車種ごとの高さ、上面図から得られた道路幅などを利用した。

幅 2.0 m × 奥行 5.0 m × 高さ 1.8 m の直方体を透視投影行列に基づいて駐車場画像上に投影し、変化検出ウィンドウを設定した結果を図 5 に示す。画像左端に近づくにつれて高さ方向に歪みが生じてしまっているが、幅、奥行き方向に関してはあまりずれることなくスロットを投影できている様子を確認できる。

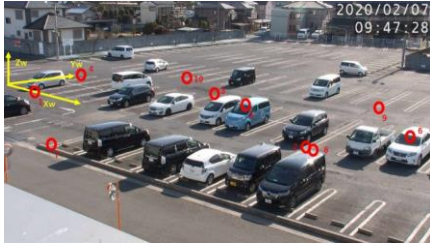


図 4 透視投影行列算出のために設定した対応点

表 1 透視投影行列算出のために設定した対応点

No	ワールド座標			画像座標	
	Xw	Yw	Zw	u	v
1	5	0	0	145	403
2	35	0	0	1348	659
3	20	10	0	943	423
4	0	10	0	354	327
5	28.75	1.5	1.5	1084	454
6	41.25	1.8	1.5	1821	593
7	22	-10	0	211	649
8	38.25	-5	1.6	1383	668
9	34.5	15	0	1674	475
10	12	15	0	815	351



図 5 変化検出ウィンドウを画像上に設定した結果

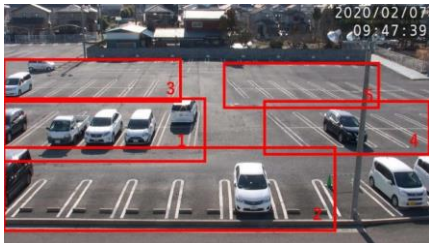


図 6 領域の分割例

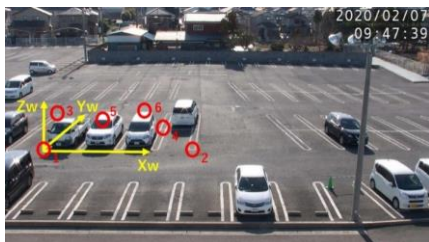


図 7 領域別の透視投影行列算出のために設定した対応点

図 5 のように駐車場全体を使った対応点の設定は、駐車場地面を一平面と仮定したときに成り立つ。駐車場地面に傾斜がある場合は、図 6 のように駐車場を小さな領域に分割し、その領域ごとに透視投影行列を求めればよい。図 7

に一つ目の領域で設定した対応点を示す。他の領域も同様に、それぞれ対応点を設定、透視投影行列を算出し、変化検出ウィンドウを設定した結果を図 8 に示す。

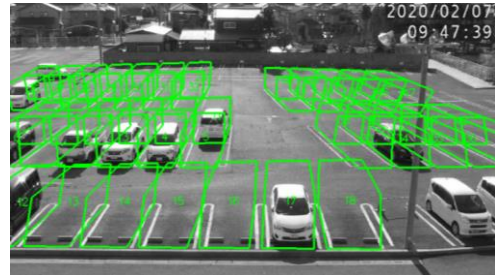


図 8 領域別に駐車スロットを画像上に投影した結果

4.2 変化判定

図 8 に示したウィンドウを使い変化判定を行ったところ、周囲のウィンドウの重なりにより、隣接した車両の影響を受ける可能性が高いウィンドウが存在した。このオクルージョンの問題は今後検討すべき課題である。今回は、この問題を排除した状態でウィンドウの有効性を検討するため、図 9 に示すように、ウィンドウの重なりによる問題が発生する可能性が低いウィンドウ 30 個を選定し、判定指標のしきい値の算出と変化判定を行った。

変化判定は時刻 9~19 時の間に約 1 時間間隔で撮影された計 14 ペアの画像で実験した。

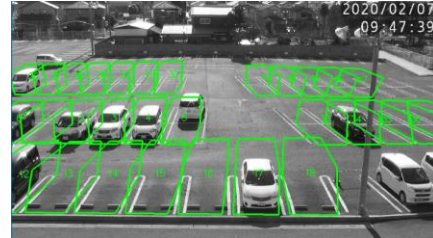


図 9 しきい値算出、変化判定に使用したウィンドウ

4.2.1 変化判定手法のしきい値の設定

$14 \times 30 = 420$ 個のウィンドウのエッジ一致度を算出し、3.1 で述べた方法でしきい値を求め、エッジ一致度のしきい値を $S_{eT} = 0.48$ と定めた。

4.2.2 変化判定結果

15 時、16 時の画像ペアで変化判定を行った結果を図 10 に示す。図 10 (c) では、「変化なし」と判定されたウィンドウを緑色、「変化あり」と判定されたウィンドウを赤色で表示している。図 10 (d) では、実際は変化がなかったにもかかわらず「変化あり」と判定されたウィンドウを青色で表示している。これらの誤判定の原因として、隣の車の出入りによる影の影響によるエッジ変化が考えられる。

また、17 時、18 時の画像ペアで変化判定を行った結果を図 11 に示す。このように画像間の明度変化が激しい時間帯では誤判定が多く発生した。これらの誤判定の原因として、環境光の変化によってエッジ強度が大きく変化することが考えられる。このような明度変化の激しい時間帯でも誤検出の少ない変化検出手法の検討が課題である。



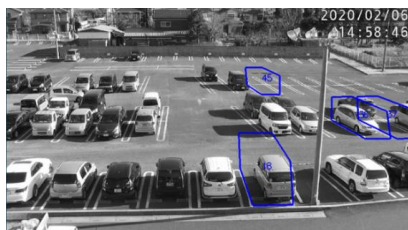
(a) 15時の駐車場画像



(b) 16時の駐車場画像



(c) 変化判定結果

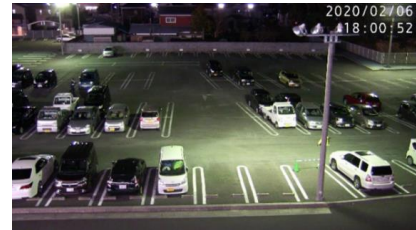


(d) 誤判定したウィンドウ

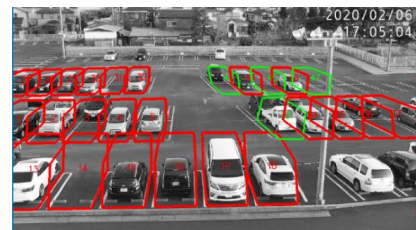
図 10 変化判定結果



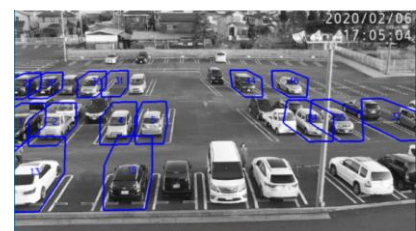
(a) 17時の駐車場画像



(b) 18時の駐車場画像



(c) 変化判定結果



(d) 誤判定したウィンドウ

図 11 明度変化が激しい時間帯での変化判定結果

4.2.3 性能評価

適合率 ($TP/(TP + FP)$), 再現率 ($TP/(TP + FN)$), F 値 (再現率と適合率の調和平均) を変化判定を行った全ての時間帯, ウィンドウについて算出したところ, 適合率 0.631, 再現率 0.976, F 値 0.766 を得た. 車両の変化が生じたウィンドウの見落としが実用上深刻な問題となり得るので, 再現率が高いことは望ましいといえる.

5. おわりに

本稿では, 画像座標と駐車場地面に設定したワールド座標の対応点をマニュアルで設定することで, 監視カメラの位置, 角度に合わせて駐車スロットごとの変化検出ウィンドウを半自動で設定した. また, 2 画像間の正規化相互相関(ZNCC)によるエッジ一致度を利用した変化判定を行い, 提案手法の有効性と今後の検討課題を示した.

今後の課題として, 駐車場画像のスロットの白線を抽出し, 対応点を半自動で設定する方法の考案, 周囲の駐車スロットとの重なりが大きいウィンドウのオクルージョンの

問題への対応, 明度変化の激しい時間帯でも誤検出の少ない変化検出手法の開発などが挙げられる.

謝辞

株式会社マルハン様には画像データを研究使用目的に限り提供いただき, 深く感謝いたします.

参考文献

- [1] 「子どもの車内放置撲滅キャンペーン」 2020年4月23日更新 (最終閲覧日: 2021年6月8日)
<http://www.syanaihochi.com>
- [2] 「車内人物検知による車内放置事故防止」 AICam (最終閲覧日: 2021年6月8日)
https://aicam.jp/effectively/save_children_left_car
- [3] 三木守, 姜有宣, “深層学習に基づいた屋外大型駐車場の空きスペースの検出”, 東京工芸大学工学部紀要, Vol.43, No.1 (2020).
- [4] 大津展之, “判別および最小 2 乗基準に基づく自動しきい値選定法”, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J63-D, No.4, pp.349-356 (1980).