

道路交通の協調観測における複数センサ配置条件の 全探索アルゴリズムに基づく推定に関する研究 ～駐車場における駐車状況把握のための最適なカメラ配置条件推定～

A Study on Grid Search Algorithm-based Estimation Method for Deployment Condition of
Sensors in Cooperative Observation of Road Traffic

～An Optimal Condition Estimation of Camera Deployment for Detection of Parking Vehicles in a Parking Lot～

北海道大学	工学部	○学生員	向井智洋	(Tomohiro Mukai)
北海道大学	大学院工学院	学生員	阿部恭征	(Takayuki Abe)
北海道大学	大学院工学研究院	正 員	高橋 翔	(Sho Takahashi)
北海道大学	大学院工学研究院	正 員	萩原 亨	(Toru Hagiwara)

1. はじめに

IoT(Internet of Things)やエッジコンピューティングに関する研究の発展によって、カメラなどのセンサから得られたデータを時間や場所に関係なく、大量に集積あるいは、利用することが可能となっている。これらによって多様なデータ集積が可能となり、その集積されたデータによって構成するデジタルツイン¹⁾を用いたシミュレーションなどが様々な分野で取り入れられている。このように現実世界と仮想世界を一体として、現実世界に恩恵をもたらすサイバーフィジカルシステムが稼働され始めている。その例として製造業では、エアコンの製造ラインによるシミュレーションに基づいた生産ラインの最適化によって、生産能力の向上や仕掛品の減少などが報告されている²⁾。道路交通においては交通流の把握^{3) 4)}や歩行者の観測を目的とした定点のカメラやセンサなどが設置されており、道路空間に関するデータ集積環境が整ってきている。このことから、道路交通においても定点カメラなどから取得するデータによる交通流の予測やシミュレーションによる渋滞緩和、さらには、交通事故の減少や交通インフラの維持管理の省力化などへの貢献が期待される。

道路交通においてデジタルツインを構築するには、道路空間を正確に観測するカメラなどのセンサを大量に設置することが必要となる。しかしながら、現状では複数のセンサの効果的な配置条件を事前に見積もる手法が確立されておらず、データの不足や冗長などの問題が生じる。

そこで本研究では、道路空間を撮影する定点カメラ画像から車両の位置、台数を正確に把握するために必要最小なカメラ台数、および最適な配置条件を推定する手法を提案する。特に本稿においては、本研究の基礎的検討として駐車場を対象とする。具体的には、複数カメラの配置を全探索アルゴリズムによって探索するシミュレーションを行い、駐車状況の完全把握に必要な最小なカメラ台数、および最適なカメラ配置条件を推定する。

本稿では、カメラ数などの設定を自動で求める理論導出をまず駐車場を対象として検討するが、これによって、駐車場で、車両同士のオクルージョンによる検出漏れや誤識別などを防止することが期待出来る。

本稿では2で複数カメラの配置条件の全探索アルゴリズムに基づく推定について説明する。3では2で説明した提案手法により必要最小なカメラ台数、および最適なカメラ配置条件を推定できるか実験により確認する。

2. 複数カメラの配置条件の全探索アルゴリズムに基づく推定

本章では、全探索アルゴリズムによって探索する駐車状況の完全把握に必要な最小なカメラ台数、および最適なカメラ配置条件の推定について説明する。まず取得した画像において車両検出をし、複数カメラから取得された検出結果を用いて物体の位置を推定する。次に推定結果から正解率を算出する。そして正解率が最大となる条件のもとでカメラ台数が最小となる複数カメラの配置条件を推定する。詳細を以下に述べる。

2.1 カメラの配置条件及び画像取得

本節ではカメラパラメータ及び画像の取得について説明する。角度、位置など様々なカメラのパラメータを変数として対象とする駐車場を撮影し、画像を取得する。このときカメラの設置位置を P 、鉛直角度を $\theta(0 \leq \theta \leq 90)$ 、水平角度を $\alpha(0 \leq \alpha \leq 180)$ 、高さを H 、配置台数を V とする。カメラの鉛直角度、水平角度を図-1、図-2に示す。

2.2 深層学習に基づいた車両検出

本節では深層学習に基づく車両検出について説明する。学習済み深層学習モデルを用いた物体検出により、近年では高精度に道路空間内の車、人など様々な物体の検出が可能となる。したがって本研究では深層学習による物

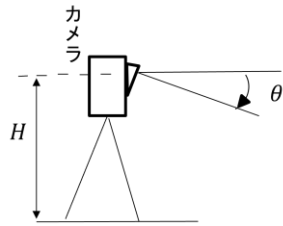


図-1 カメラの鉛直角度

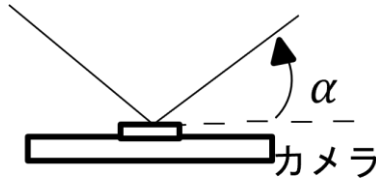


図-2 カメラの水平角度

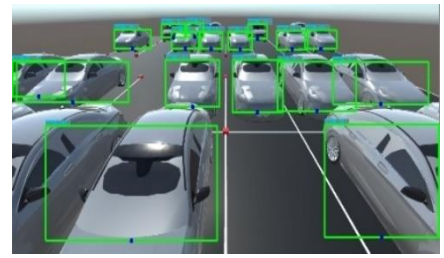


図-3 YOLOv4による物体検出結果及び検出点



図-4 再現した駐車場

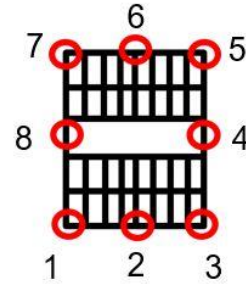


図-5 カメラの設置位置及びカメラ番号

表 1 実験に用いた駐車場

駐車場の形	長方形	
駐車場の大きさ	縦 25m	横 20m
車室の大きさ	縦 5m	横 2.5m
車室数	32 室	
車両台数	23 台	

体検出手法の一つである YOLOv4⁵⁾を用いて車両検出を行う。また検出枠の下辺中央をプロットし、プロットされた位置を検出された物体の座標とする。検出枠の下辺中央にプロットされた点を本稿では検出点と呼称する。図-3 において YOLOv4 による物体検出及びプロットされた検出点を示す。

2. 3 画像の全組み合わせを用いた協調観測による駐車状況の推定

本節では画像の全組み合わせを用いた、駐車状況の推定について説明する。まず各画像において駐車状況の推定を行う。そして各画像から得られた駐車状況を統合することにより、最終的な駐車状況を推定する。詳細を以下に述べる。

2. 3. 1 各画像における駐車状況

本項では各画像における駐車状況の推定方法について説明する。各画像において、ある車室に検出点が存在している場合、その車室に車両が存在すると定義する。またある車室に検出点が存在しない場合、その車室に車が存在しないと定義する。これにより各画像において暫定的な駐車状況を推定する。

2. 3. 2 暫定的な推定結果の統合による駐車状況

本項では各画像から得られる暫定的な駐車状況の結果の統合による最終的な駐車状況を推定する方法について説明する。複数枚の画像から得られた駐車状況についてある車室に関して1つでも車室内に検出点が存在してい

たら、その車室には車両が存在すると推定する。また検出点が存在しない場合、車両は存在しないという推定結果を得る。

2. 3. 3 全探索アルゴリズム

本研究における全探索アルゴリズムとは画像 $n(=1, 2, \dots, N; N$ は画像の総数)枚における取りうる全ての組み合わせから駐車状況の完全把握に必要な最小なカメラ台数、および最適なカメラ配置条件を推定することを意味する。

$R_i(i=1, 2, \dots, I; I$ は画像の組み合わせ総数)を複数枚の画像の組み合わせより得られた最終的な駐車状況の推定結果としたとき、画像 N 枚を用いた推定結果 I は以下の式で表される。

$$I = 2^N - 1 \quad (1)$$

取得された最終的な駐車状況の結果全ての組み合わせから探索することで最適な複数カメラの配置条件の推定を行う。

2. 4 正解率の算出

本節では得られた駐車状況の結果を評価するために用いる正解率について説明する。

複数枚の画像から駐車状況の推定結果 R_i から以下の式で表される正解率 $T(R_i)$ を取得する。

$$T(R_i) = \frac{\text{駐車状況が正しく推定された車室数}}{\text{駐車場内の全車室数}} \quad (2)$$

2. 5 最適なカメラ配置条件の組み合わせ

各画像の統合結果における正解率の最大値となる画像の組み合わせ $R_j^{max}(j=1, 2, \dots, J; J$ は組み合わせの数)を以下の式によって抽出する。

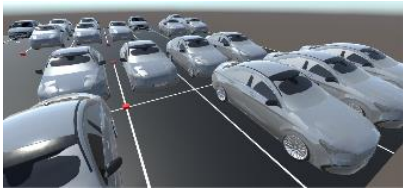
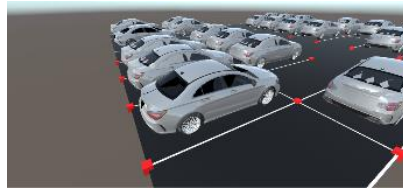
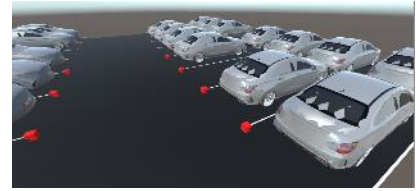
(a) カメラ 2 $\theta = 30^\circ$ $\alpha = 60^\circ$ (b) カメラ 7 $\theta = 30^\circ$ $\alpha = 60^\circ$ (c) カメラ 8 $\theta = 30^\circ$ $\alpha = 60^\circ$

図-6 カメラ 3 台において正解率が 1. 00 となった画像の組み合わせ

表 2 カメラ 1~4 台における最大正解率

カメラ台数	1	2	3	4
最大正解率	0. 75	0. 94	1. 00	1. 00

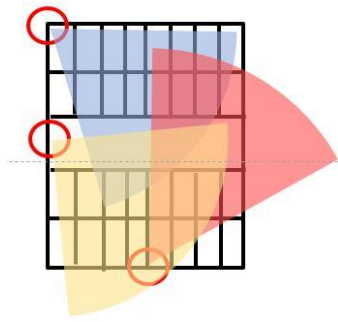


図-7 カメラ 3 台における配置条件と撮影範囲

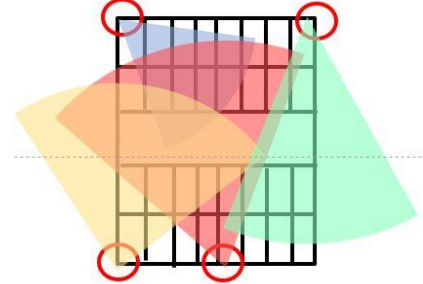


図-8 カメラが 4 台におけるカメラの配置と撮影範囲

$$R_j^{max} = \arg \max (T(R_i)) \quad (3)$$

$$i \in (1, I)$$

次に、抽出される画像の組み合わせ R_j^{max} において、組み合わせた画像の枚数 $n(R_j^{max})$ が最小となる画像の組み合わせ R_u^{min} ($= 1, 2 \dots U$: U は組み合わせの数) を以下の式によって抽出する。

$$R_u^{min} = \arg \min (n(R_j^{max})) \quad (4)$$

$$j \in (1, J)$$

この時抽出された R_u^{min} における組み合わせた画像数および画像に関するカメラパラメータが駐車状況の完全把握に必要最小なカメラ台数、および最適なカメラ配置条件である。

3 実験

本章では、提案手法の精度を確認するために実験を行う。

3. 1 実験条件

本節では実験に用いた駐車場及びカメラについて説明する。Unity technologies 社の Unity を使用して駐車場を再現する。駐車場の大きさなどのパラメータを表 1 に、再現した駐車場を図-4 に示す。また使用したカメラは視野角は 60° の基本設定のものを使用する。次にカメラの配置位置、角度などのパラメータを以下に詳細に述べる。

3. 1. 1 カメラの設置位置

設置するカメラ台数 V は 8 とし、カメラの設置位置は図-5 に示す駐車場の 4 つの頂点と各辺の中点の計 8 点とする。またカメラ設置位置に番号を振り、同様に図-3 に示す。

3. 1. 2 カメラの角度及び高さ

カメラの水平角度 α はカメラ位置 1~8 において右隣のカメラ設置位置における辺を基準線として 60° , 90° , 120° とし、鉛直角度 θ は水平線を基準とし鉛直下向きに 30° , 60° において駐車場を撮影した。またカメラの高さ H は 3[m] とする。

以上より取りうるカメラの設置パターンは $8 \times 3 \times 2$ パターンである。

3. 2 実験結果

まず各カメラ台数における最大正解率を以下の表 2 に示す。なおここではカメラ台数が 3 台において最大一致率が 1. 00 となったため、ここではカメラ台数が 1~4 台における結果を表 2 にまとめ、5 台以上の場合の記載は省略する。

表 2 より駐車状況の完全把握に必要最小なカメラ台数は 3 台であることが確認された。また正解率が 1. 00 であり、カメラ台数が 3 台であった複数枚の画像の組み合わせは 3 パターンであった。なお本実験では R_u^{min} において、同じ位置のカメラから取得された画像は最大 1 枚までとし、同一のカメラから撮影された画像の結果は考慮しないものとした。得られた 3 パターンの複数枚の画像の組み合わせのうち一つを図 6 に示す。

またこのときのカメラの配置と撮影範囲を図 7 に示し、カメラ台数が 4 台において最大正解率が 1. 00 と画像の組み合わせパターンの内の 1 つのカメラの配置と撮影範囲を図 8 において示す。図 7, 図 8 よりカメラが 3 台で正解率が 1. 00 となったカメラ配置の方がより撮影範囲の重複が少なく、駐車状況が完全把握されていることが確認できる。またこの結果は 3 台において正解率が 1. 00 となったいずれの 3 パターンにおいて確認された。

4 まとめ

本稿では、道路交通の協調観測における複数センサの配置条件の推定を行うため、駐車場を対象とし駐車場内の駐車状況の完全把握に必要な最小なカメラ台数、および最適なカメラ配置条件を推定できることが実験により確認された。結果として正解率が最大となる条件のもとで最小カメラ台数となる複数カメラの配置条件はカメラ3台において3パターンであることが分かった。またそれら3パターンはカメラが4台の場合と比較して、より撮影範囲の重複が少なく、駐車状況の完全把握ができることが確認された。また本実験ではカメラの配置条件を48パターンにおいて行った。今後はより多くのカメラ配置条件から最適な配置条件が推定できるかの確認をするために、カメラに関するパラメータを増やして実験を行う必要がある。得られる結果の評価を行うためにまた車両の配置や台数また駐車場の形状を変更した場合の検証が必要である。

参考文献

- 1) S Haag, R Anderl, "Digital twin – Proof of concept" - Manufacturing Letters, 2018 - Elsevier
- 2) Hongfei Guo, Minshi Chen, khalgui Mohamed, Ting Qu, Siming Wang, Jianke Li. "A digital twin-based flexible cellular manufacturing for optimization of air conditioner line. " Journal of Manufacturing Systems(2021)
- 3) 川上一美 榊原行良 植草 英明 : 画像処理技術を応用した新しい交通流監視システム, 富士時報 Vol. 71 No. 7 1998
- 4) 村山 聖太 長谷山 美紀 : 道路監視カメラ映像の交通流計測に関する一考察:撮影環境の変化による精度低下の抑制に関する検討 (ITS 画像処理, 映像メディア, 視覚および一般), 映像情報メディア学会技術報告 34. 6, 2010
- 5) Bochkovskiy, Alexey, Chien-Yao Wang, and Hong-Yuan Mark Liao. "YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection. "arXiv preprint arXiv:2004. 100934 (2020)