

ディープラーニングを活用した駐車場満空監視システムの開発

Development of Smart Parking System with Deep Learning

桑原麻理恵
Marie Kuwahara

崎戸梨恵
Rie Sakito

藤井雅和
Masakazu Fujii

砂子雅人
Masato Sunago

三宅優実
Yuumi Miyake

神尾 崇
Takashi Kamio

要 旨

本開発では、360度の広い画角で撮影できる全方位ネットワークカメラの魚眼画像からディープラーニングを用いて車両を検知し、車両追尾および駐車状態の判定を行う、駐車場満空監視システムを実現した。従来のシステムでは、駐車スペースの道路面にセンサを埋め込む方式やステレオカメラを用いた方式を採用しているが、多大な設置・調整工数や、駐車判定精度の低さが課題となっている。本システムは、道路面への設置工事やレンズ・画角の調整が不要となることで設置の容易化を実現すると同時に、1台のカメラによる駐車場の防犯と満空状況の自動認識を両立した。米国デンバー市のスマートシティでのフィールド試験の結果、設置・調整工数を従来比2分の1の半日に削減、かつ従来比10%以上の駐車判定精度を確保し、本システムが現場での運用に耐え得ることを確認した。

Abstract

A Smart Parking System has been achieved, which detects and tracks vehicles, and recognizes the status of parking availability by using deep learning from the fisheye image of an omnidirectional network camera that can capture images at a 360-degree wide angle of view. In a conventional system, a sensor is embedded on the road surface of each parking lot, or a stereo camera is used for observation. However, there are issues of the installation and adjustment man-hours and recognition accuracy. Our system has achieved easy installation without installing the sensor on the road surface or adjusting the lens and angle of view, as well as both the security of the parking lot and automatic recognition of the status of parking availability with one camera. As a result of a field trial at Smart City in Denver City, USA, we confirmed that our system satisfies practical operation by the customer in the following two ways. One is the reduction of the installation and adjustment man-hours to half a day, which is about half that of a conventional system. The other is the accuracy of status recognition for parking availability, which is 10% higher than that of a conventional system.

1. はじめに

近年、主に欧米で展開されているスマートシティプロジェクトにおいて、都市の運営効率化の一環として、駐車場の満空状況を自動認識するシステムへの需要が高まってきている。このシステムによって、路上駐車の高率な運営による収入増や、安全性確保のための駐車禁止エリアでの駐車車両の取り締まりによる罰金収入増など、自治体における新たな財源獲得が可能となる。

従来方式のシステムでは、路上スペースの道路面にマグネットセンサを埋め込み、満空情報をセンサで検出する方式や、ステレオカメラによる駐車検知の方式[1]を採用しているが、設置工事や調整に1箇所につき1日以上の大工数が必要で、かつ駐車判定精度も低く、運用に耐えられないという課題がある。また、駐車場内での事故や窃盗などのトラブル発生時の証拠確認や防犯を目的として、監視カメラを設置したいという要望があるが、これを駐車場内の満空状況の自動認識用のカメラと併用し、システムコストを抑制することが求められている。

このような課題や顧客要望を踏まえ、筆者らは、監視カメラ「i-PRO^(注1)シリーズ」の全方位ネットワークカ

メラを用いて駐車場の満空状況を自動認識する技術を開発した。開発にあたっては、従来のシステムで課題となっていた導入時の設置・調整工数を約2分の1である半日に削減すること、従来方式比10%以上の駐車判定精度を確保すること、そして1台のカメラで駐車場の防犯と満空状況の自動認識を両立することを目標とした。

本稿では、全方位ネットワークカメラの魚眼画像からディープラーニングを用いて車両を検知し、車両追尾および駐車状態の判定を行うシステムの開発について記載する。

2. システム概要

本章では、システムの要件と構成について述べる。

2.1 システム要件

本システムの主ターゲットを、市などの自治体、駐車場管理者とした。これらのターゲットは、路上駐車の高率な運営をするために、自己申告前払い制となってい

(注1) 当社の登録商標。

る課金システムと組み合わせて確実に課金を促すとともに、駐車禁止エリアでの駐車車両の取り締まりを行いたいと考えている。

これらのターゲットの駐車場管理システムに対する要望を以下に挙げる。

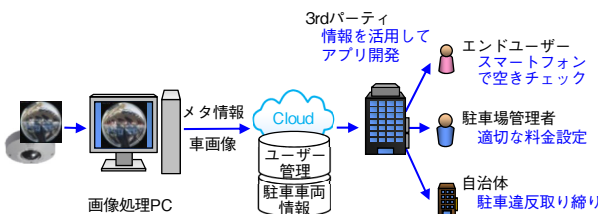
- (1) 駐車場の満空状況の自動認識
 - ・ 駐車判定精度（車両が駐車したことを認識する正解率）：
 - 従来方式のシステムよりも10%以上高い精度
 - ・ 1台のカメラで縦列駐車車両計20台分（手前車線10台、反対車線10台）の駐車状況（駐車有無、駐車位置（緯度経度）、駐車時間）を、昼夜問わず終日認識
- (2) 簡単設置（導入時の設置・調整工数：半日/1箇所）
- (3) 駐車場の監視機能（防犯用途）

上記のとおり、駐車場の防犯と満空状況の自動認識を同時に行いたいという要望に加え、設置・調整工数の抑制による低コスト化を求めている顧客が多い。(1)~(3)の顧客要望を踏まえ、システム要件を「低コスト・高精度の駐車場満空監視システムの実現」とし、これを実現するために、360度の広い画角で撮影できる監視カメラ「i-PROシリーズ」の全方位ネットワークカメラを採用した。これにより、カメラを街路灯などの高さ9mの位置に設置した場合、縦列駐車車両計20台分の駐車状況が1台のカメラによって俯瞰（ふかん）でき、加えて、1台のカメラで広範囲の監視が可能となる。

2.2 システム構成

第1図に本システムのシステム構成図を、第1表に本システムを構成する各機器の概要を示す。

画像処理PCは、全方位ネットワークカメラから取得した魚眼画像に対して画像認識処理を実施し、駐車場の満空状況を自動認識する。その結果をクラウドに送信してデータを活用することで、利用用途によりさまざまなソリューションの展開が可能となる。



第1図 システム構成図
Fig. 1 System configuration

第1表 システム構成機器の概要

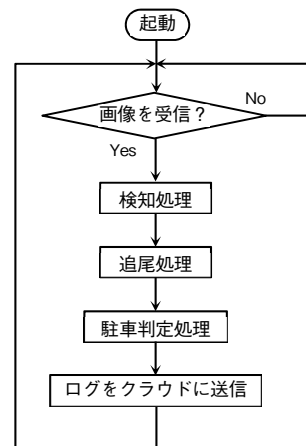
Table 1 System architecture

機器名	概要
全方位ネットワークカメラ	手前車線10台、反対車線10台分の車両を撮影
画像処理PC	・ 画像認識処理（車両検知、駐車判定など）を実施 ・ 駐車場の満空情報（駐車有無、駐車位置、駐車時間、車両画像など）をクラウドへ送信
クラウドプラットフォーム	駐車／車両情報を格納
3rdパーティ作成アプリケーション	駐車位置確認や料金支払い、違反取り締まりなどの機能を搭載（クラウド内の情報を活用）

3. 駐車場満空監視アルゴリズムの開発

本章では、駐車場の満空状況を自動認識するためのアルゴリズムについて記載する。

第2図に、画像処理PCで行う駐車場満空監視処理のフローを示す。画像処理PCは、全方位ネットワークカメラから画像を受信するごとに車両の「検知」「追尾」「駐車判定」処理を行い、駐車場の満空状況を自動認識する。その認識結果を「駐車場満空状態ログ」としてクラウドに送信する。



第2図 画像処理PCで行う処理フロー
Fig. 2 Flow chart of the video analytics PC

これらの処理を行うソフトウェアの動作画面を第3図に示す。駐車場の満空状況の自動認識の対象となる「駐車監視対象エリア」は、ソフトウェアの画面上で最大8箇所まで設定することが可能である。また、検知処理および駐車判定処理の結果は、入力画像に重畳されてリアルタイムで表示される。第3図は、カメラ真下の手前車線と奥側の反対車線の2箇所に駐車監視対象エリアを設



第3図 画像処理PC上の動作画面
Fig. 3 Operation screen of the video analytics PC

定し、手前車線に駐車している9台と反対車線に駐車している8台を駐車状態であると判定した例である。

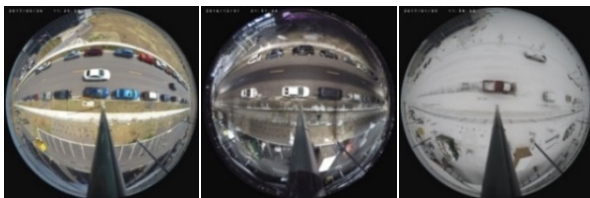
なお本システムでは、解像度2048 pixel×2048 pixelの魚眼画像に対して1fps（frames/s、フレーム毎秒）でリアルタイム処理を行っている。

以降、第2図の各処理について記載する。

3.1 車両検知アルゴリズム

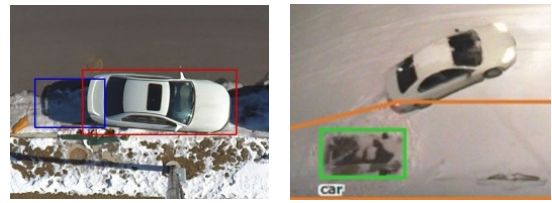
全方位ネットワークカメラから受信した魚眼画像に対して、車両の位置とサイズを特定する「検知処理」を行う。

本開発では検知アルゴリズムとして、魚眼画像の端の小さな車両まで高精度で検知する必要があったことから、ディープラーニングを用いた検知アルゴリズムを開発した。また、ディープラーニングの学習データとして、3地点の全方位ネットワークカメラで撮影した魚眼画像（解像度2048 pixel×2048 pixel）に映っている、合計で約91万台の車両画像を使用した。学習に際しては、第4図に示すような天候・時間帯などの異なる画像を用いることで、ロバスト性の高い検知性能を実現している。



第4図 学習データの例
Fig. 4 Example of learning data

ただし、車両の学習のみを行った場合、車両以外の物体を車両と誤検知する場合がある。具体的には第5図に示すように、車両の影、雨天・雪天時に車両が移動した跡、などを誤って検知する場合がある。このような箇所



第5図 誤検知の例：車の影（左）、雪天時の跡（右）
Fig. 5 Example of incorrect detection:
car shadows (left) and snow marks (right)

については、該当する箇所を車両以外の物体であると学習させることで、誤検知を防いでいる。

検知処理の結果として、車両と判断した矩形（くけい）領域の位置情報および車両らしさの判定値を表す0～1のスコア値が得られる。設定した閾（しきい）値を超えるスコアの領域のみを車両情報として採用し、後段の処理に渡す。

3.2 車両追尾アルゴリズム

車両の検知処理を行った後に、検知処理で得られた当該フレームにおける車両枠情報を過去フレームの車両枠と比較して、同一車両か否かを特定する「追尾処理」を行う。

画角内で初検出された車両に対してID（identification、識別番号）を付与し、追尾処理により同一車両であると判定された場合はIDを引き継ぐ。

追尾処理は、駐車監視対象エリア内の枠だけでなく検出された全ての車両枠に対して行うことで、車両が駐車監視対象エリア外とエリア内の間で移動した場合の状態判定も正しく行う。

前段の検知処理で、連続フレームで同一車両を検出し続けることができない場合があることを踏まえ、追尾処理は「枠面積重複率による追尾」と「テンプレートマッチング」を併用した処理としている。現フレームの車両枠と面積重複率が最も高い前フレームの枠を導出し、その重複率が閾値を超えた場合は重複率による追尾が成功したとみなし、現フレーム枠に前フレーム枠のIDを引き継ぐ。閾値を超えなかった場合は、テンプレートマッチングで得た枠にIDを引き継ぐ。両処理を併用することで、精度の高い追尾処理を実現している。

3.3 駐車判定アルゴリズム

追尾処理を行った後に、駐車監視対象エリア内の車両枠に対してのみ、車両の移動/駐車状態を判定する「駐車判定処理」を行う。

各車両枠はステータスをもつ。車両が駐車監視対象エ

リア外からエリア内に侵入した時点でステータスを「IDLE」とし、駐車判定処理においてステータスを「移動」「停車」「駐車」に遷移させる。

駐車判定処理は、以下3処理で構成される。

- (A) 移動判定：IDLE／停車／駐車→移動を判定
- (B) 停車判定：IDLE／移動→停車を判定
- (C) 駐車判定：停車→駐車を判定

「(A) 移動判定」は、現フレームと前フレームの同一IDの枠の面積重複率が閾値を連続で下回った場合に「移動」と判定する。

「(B) 停車判定」は、現フレームと前フレームの同一IDの枠の面積重複率が閾値を連続で上回った場合に「停車」と判定する。

「(C) 駐車判定」は、同一IDの枠のステータスが「停車」であり続けた場合に、「駐車」と判定する。

実際には停車している車両であっても、前段の検知処理で車両に付与された枠の位置や大きさには揺らぎがあり、数ピクセル単位で変動し得る。よって、停車している車両が一旦「停車」と判断された後、変動により移動判定条件が成立してしまい「移動」に遷移してしまう現象が発生し得る。この現象を回避するために移動判定の条件を緩くすると、駐車していた車両が発車した場合に「移動」に遷移するのが遅れてしまう。

また、本システムの処理対象画像は魚眼画像であるため、画角中央部の車両は大きい、画角周辺部の車両は小さい。前述の枠の揺らぎは、特に画角周辺部の車両においては、揺らぎが車両の大きさに対して占めるウェイトが大きいため、画角周辺部の判定精度に大きく影響した。

以上を踏まえ、精度調整用の閾値を設け、実環境の映像を元に各閾値を調整することで、正しく判定できる閾値を決定した。また、一部の閾値は画角中央部と画角周辺部で別値とすることで、画角周辺部の精度低下を回避できる仕様とした。

以上のように車両の「検知」「追尾」「駐車判定」を行うことで、車両の駐車開始時刻およびその位置（緯度経度）、駐車終了時刻を導出し、「駐車場満空状態ログ」としてファイルに記録するとともに、クラウドへ送信する。

なお、座標については、カメラの設置高さや設置場所の緯度経度、レンズの焦点距離、画素ピッチ情報より、画像上での距離[pixel]をイメージセンサ上での距離[mm]に変換し、さらにカメラ直下からの実距離[m]に変換したうえで、最終的に緯度経度を算出している。

4. クラウドプラットフォーム

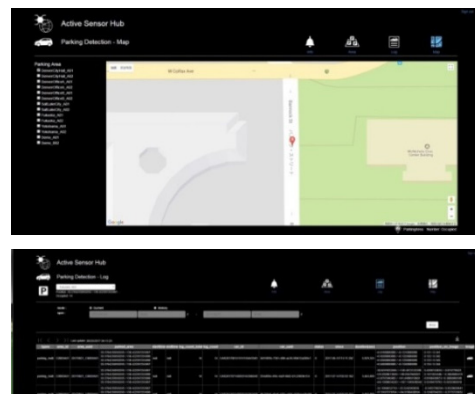
本システムでは、画像処理PCで行った画像認識処理の結果、すなわち、駐車／車両情報をクラウドプラットフォームで管理する。

今回開発したクラウドプラットフォームであるActive Sensor Hubでは、複数の装置で生成した「駐車場満空状態ログ」を全て集約し、車両の出入り日時、駐車台数を駐車監視対象エリア単位で管理する。さらに、上記ログを駐車場に設置した全方位ネットワークカメラと紐（ひも）付けることにより、満空状況ログのエビデンスとして監視画像を提供することができるのと同時に、ユーザーのニーズに合わせて上記のログおよび画像の保管期間を容易に調整できる点がクラウド活用の強みの1つである。

また、車両の駐車位置が画像処理PC内で緯度経度情報に変換され、上記Hubに送信、記録されるため、複数のカメラに同一の車両が撮影されていても、データを重複せず、正しく車両の判定が可能なシステムとして仕上げ、地図上に反映させることができる。

そして、集約した駐車場満空状況データは、業界標準のREST API形式で3rdパーティに提供する。これにより、顧客の既存システムへクラウドプラットフォーム上の満空状況データを取り込み、加工・活用することが容易となり、同Hubのデータ活用を広げることが可能となる。

第6図に、クラウドプラットフォームの地図およびログ画面を示す。地図画面にはカメラを設置した駐車場の位置を、またログ画面には「駐車場満空状態ログ」の内容を表示する。



第6図 クラウドプラットフォームの操作画面
(地図 (上)、ログ (下))

Fig. 6 Operation screen of the cloud platform
(map screen (upper) and log screen (lower))

5. 評価結果

開発した駐車場満空監視システムを用いて、米国デンバー市のスマートシティでフィールド試験を行い、2章で述べた認識性能および導入時の設置・調整工数が要件を満たしているかを評価した。なお、評価に際しては、ディープラーニングによる車両検知処理用のグラフィックスカードを搭載した画像処理PCを用いることで、第2図で示した一連の処理を1fpsで実現した。

5.1 認識性能評価結果

さまざまな季節や天候（快晴、曇り、雨、雪など）の夜間も含む、計5日分のデータを用いて認識性能評価を行った結果を第2表に示す。

第2表 認識性能評価の結果

Table2 Recognition performance result

※手前車線10台、反対車線10台の
計20台分の駐車監視対象エリアを設定し評価

	目標性能	結果
駐車判定率 [%]	従来比10%以上	12.9%向上

従来方式であるステレオカメラによる駐車検知方式の場合、車同士の重なりが原因で低い駐車判定精度となっていたが、本システムでは全方位ネットワークカメラを用いて上方部から撮影することで車同士の重なりを低減し、さらに、3.1節～3.3節で述べたアルゴリズムを構築したことで、従来方式よりも12.9%高い駐車判定精度を達成した。また、車両の検知性能は、ディープラーニングを活用したことで雪や夜などの厳しい環境条件下でも90%を超える検知率を確保した。これにより、各車両の移動／駐車状態をより正確に判断可能となり、高い駐車判定精度を実現することができた。以上より、従来システムで課題となっていた認識性能において、優位性を確保することができた。

なお、検知失敗の主な要因は、学習していない車種の車両を検知できなかったことや、学習していないパターンの雨や雪の跡を誤って車両と検知したことである。これらについては、引き続き学習データの収集を続け、精度向上を図っていく。

5.2 設置・調整工数評価結果

導入時の設置・調整工数の評価を、実際にデンバー市に全方位ネットワークカメラを設置して行った。

導入時の設置・調整の主な作業内容は、下記のとおりである。

[設置] カメラ設置、電源工事、IP/Wi-Fi^(注2)などのネットワーク設定

[調整] 画角調整、駐車監視対象エリア・緯度経度設定、動作確認

上記のうち、[設置]については、近年主流となっているステレオカメラによる駐車検知の方式（以下、従来システム）と大きな差はなかった。一方、[調整]については、本システムでは全方位ネットワークカメラを採用したことで、大幅な工数削減の効果があつた。特にカメラの画角調整においては、従来システムの場合、設置の際に2つのレンズの厳密な画角調整が必要で、動作確認も含め半日程度の時間を要すことに加え、熟練者が行わないと最大の認識精度を引き出すことができないという問題があつた。一方、本システムでは画角調整が不要となるため、設置・調整工数の削減が可能であるとともに、誰でも容易に最大の認識精度を引き出すことが可能となつた。

従来システムでは1日あたり1箇所のカメラの設置・調整に留（とど）まっていたが、本システムでは1日あたり2箇所のカメラの設置・調整が可能となり、導入時の設置・調整工数を約2分の1に削減できていることを確認した。

6. まとめ

本システムによって、課題となっていた多大な設置・調整工数を大幅に削減し、簡単設置を実現するとともに、1台のカメラによる駐車場の防犯と満空状況の自動認識を両立した。さらに、ディープラーニングを活用すると同時に、魚眼画像に最適なアルゴリズムを構築したことで、現場での運用に耐え得る高い認識性能を実現した。

今後は、特定車両検索、交通量計測、ナンバープレート認識など、セキュリティシステム事業部が所有するさまざまな車両関連ソリューションと本システムの連携を行い、より有用な市中監視ソリューションの開発・提案を推進していく。また、ディープラーニングや車両追尾アルゴリズムの高速化を行い、現状は画像処理PCで行っている各処理をネットワークカメラ内で実現することにより、システム導入コストのさらなる低減を目指していく。

参考文献

- [1] 山崎 瑠香 他, “ステレオカメラを用いる空き駐車スペース検出法,” 第59回自動制御連合講演会, 北九州市, Nov. 2016.

(注2) Wi-Fi Allianceの登録商標。

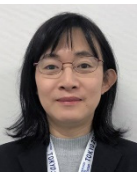
執筆者紹介



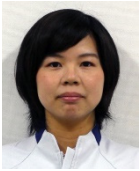
桑原 麻理恵 Marie Kuwahara
コネクテッドソリューションズ社
セキュリティシステム事業部
Security Systems Business Div.,
Connected Solutions Company



藤井 雅和 Masakazu Fujii
コネクテッドソリューションズ社
セキュリティシステム事業部
Security Systems Business Div.,
Connected Solutions Company



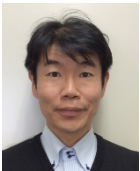
三宅 優実 Yuumi Miyake
パナソニック システムソリューションズ ジャ
パン (株)
Panasonic System Solutions Japan Co., Ltd.



崎戸 梨恵 Rie Sakito
コネクテッドソリューションズ社
セキュリティシステム事業部
Security Systems Business Div.,
Connected Solutions Company



砂子 雅人 Masato Sunago
(株) パナソニック システムネットワークス開
発研究所
Panasonic System Networks R&D Lab. Co., Ltd.



神尾 崇 Takashi Kamio
コネクテッドソリューションズ社
セキュリティシステム事業部
Security Systems Business Div.,
Connected Solutions Company