



第23回

空間認識技術と その応用開発に 携わって

岡田 典[†]

まえがき

皆様、初めまして、パナソニックホールディングス株式会社DX・CPS本部の岡田と申します。DX・CPS本部ではデジタル・AI・CPSに関する最先端の技術を開発し、それを通じてさまざまな商品やソリューションを生み出しています。その中でも、私は画像や3Dデータを利用した空間認識技術を開発する部署に所属しています。空間認識技術について、本稿では画像や3Dデータを使い、周囲の環境情報を取得することや、その環境下でカメラの自己位置を推定する技術と捉えます。この技術を通じて、入社以降の約10年間、さまざまな研究開発テーマに取り組んできました。本稿では、私が今まで開発した空間認識技術やそれに関する商品・ソリューションについて紹介します。私自身、入社以降、研究開発部門に所属はしておりますが、研究開発だけでなく事業部の方とのやり取りも多くさせて頂いており、開発した技術がどのように商品やソリューションに搭載されていくのか、現場ならではの課題などもお話しさせて頂ければと思います。

入社のきっかけ

大学では数学が好きだったという理

CPS本部 "Spatial Recognition Technology and Application Development" by Tsukasa Okada (Panasonic Holdings Corporation, Osaka)

由で、情報科学を専攻しました。しかし、パソコンをほとんど触ったことのない状態からのスタートでしたので、最初は非常に苦労し、プログラミングに苦手意識を持ちました。研究室に入ってからは、人の歩き方のテーマに取り組みまして、そこではPythonやMatlabを使ったデータ分析をしていました。研究室内には他にも画像処理やロボットビジョンのテーマもあり、その頃から画像を使った開発に興味を持ち、いつかは携わりたいと思っていました。また、自分の研究が世の中に役立つイメージが湧き、プログラミングで何かを作り上げる楽しみを覚え始め、徐々に苦手意識も薄れていきました。就職活動の時は、自分の身近にある商品の開発に携わってみたいと思っていたので、メーカーを志望していました。その中でも、パナソニックホールディングスは幅広い事業を展開しているので、自分が開発した技術が色々な分野に適応できると考え、入社を決めました。ロボットやコンピュータビジョンに関する研究をやりたいと希望を伝え、ロボットビジョンに関する研究開発の部署に配属されました。

大学との共同研究¹⁾

配属後はロボットの自律移動に向けた自己位置推定技術の開発に携わりました。こちらは九州大学との共同研究でした。レーザスキャナで事前に取得した高精度な3D点群を地図として、ロボットに搭載したステレオカメラから得られる奥行き情報を3D点群に変

換し、3D点群同士をマッチングすることで、自己位置を推定する手法を開発しました。点群同士をマッチングする代表的な手法として、Iterative Closest Point (ICP) があります。この手法では、二つの点群が持つ各点同士で最も近い点を対応付け、その距離を最小化するような計算を繰り返し行うことで、点群マッチングを行います。しかし、このような手法では、3D点群のデータ量が大きすぎるため、メモリー量と処理速度の問題で、ロボットで動作するのが困難でした。それに対して、点群をポクセルで区切り、ポクセル内の点群を3Dの正規分布に圧縮し (NDポクセル化)，その情報をマッチングに利用することで、課題を解決しました (図1)。また、その技術を応用し、事前地図とロボットのセンシング情報を比較し、その差分情報を抽出する技術も開発しました。

この研究活動は、学生さんの頑張りのおかげでロボティクス領域のトップカンファレンスICRAにも採択されました。ちなみにその学生さんはその後パナソニックホールディングスに入社し、大変ご活躍いただいている。

お掃除ロボットの開発²⁾

ロボットビジョンを開発している部署として、事業部の方からお掃除ロボットの商品化に向けた開発を手伝ってほしいとお声がけがありました。当時のお掃除ロボットは、現在ほど高機能ではなく、椅子の脚等の細い物体が検知できず、よくぶつかってしまうという

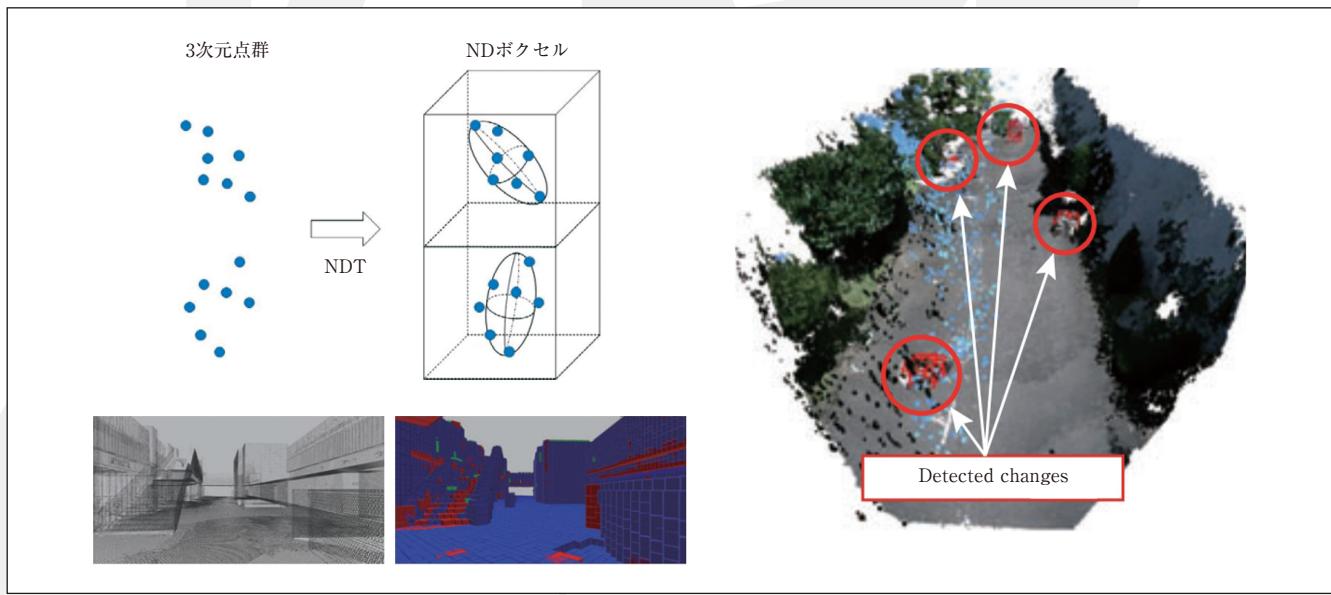


図1 点群をNDボクセル化し、自己位置推定と差分検出を実施

問題がありました。また、お掃除ロボットに搭載できるセンサとして高コストなものは搭載できず、1ラインの赤外レーザとそれを受光して得られる低解像度の赤外画像から、距離を計算することで、細い物体を検知し、ぶつからないように回避するという開発内容です。距離の計算方法として、赤外画像上の横方向に伸びたレーザの模様に対し、縦方向に画素ウインドウを走査し、最大となる輝度値のピークを見つけることで、画像中のレーザ位置を取得し、その縦方向の高さから距離を推定していました。ここで、課題となるのが、窓などから差し込む太陽光の影

響で、赤外レーザ以外の模様が赤外画像に表示されるということです。太陽光の影響で、輝度値のピーク判定が困難となり、正しい距離が検出されなくなります。この課題に対して、赤外画像内の太陽光の領域を検知し、その領域の距離結果を利用しないようにすることで解決しました（図2）。太陽光の領域を検知するためにエッジ型フィルタと凸型フィルタを導入しました。輝度の傾きを検出し、その傾きが小さい場合、太陽光、凸型フィルタでは輝度値が大きい領域とそうでない領域を分け、輝度値が大きい領域の範囲が広い場合、太陽光として検知しました。

本技術は、現在は生産終了となっていますが、MC-RS800という型番のお掃除ロボットに搭載されています。

物流倉庫向け動線可視化ソリューションの開発³⁾

このテーマも事業部の方からの相談から始まりました。物流倉庫内のフォークリフトの動きを可視化したいという要望が有り、カメラから自己位置を開発している私の部署に声がかかり、開発がスタートしました。この開発の要求仕様としてはフォークリフトにカメラを搭載し、カメラからの画像情報のみで、リアルタイムで自己位置

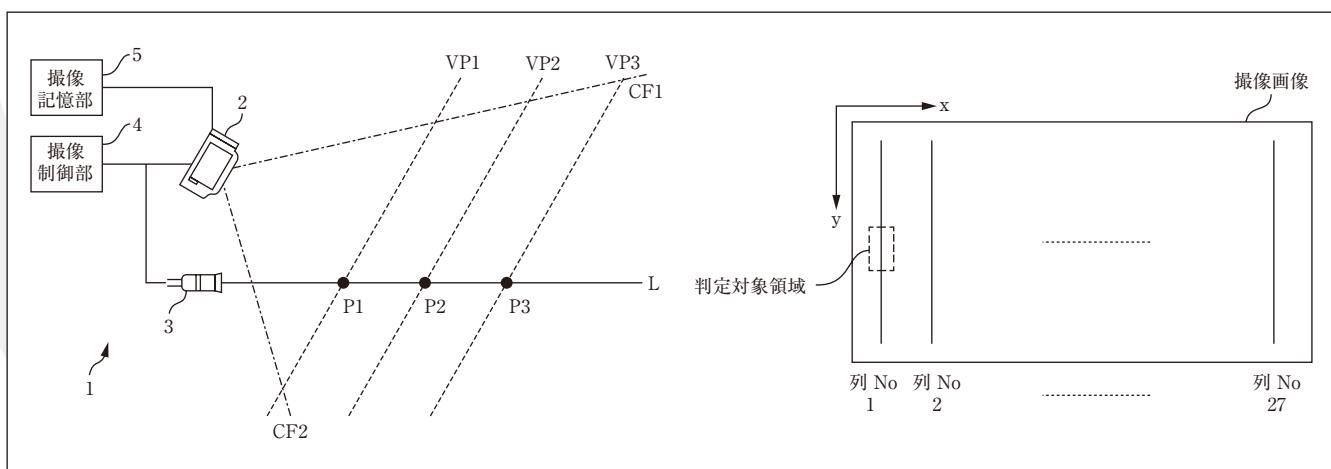


図2 カメラ-赤外レーザの構成と赤外画像



図3 Visual-SLAMを利用した動線可視化システム

を推定したいというものでした。フォークリフトの動線を可視化することで、どの作業に時間がかかっているのか？非効率な経路で移動していないか？棚の配置は問題ないか？を分析することで物流倉庫内の作業効率を向上することができます。

今までの開発では事前地図を用意した場合の自己位置推定技術や赤外画像から距離計測するというものでしたので、カメラのみで完結させる技術は保有していませんでした。実現するために関連技術をサーベイしたところ、画像を用いた Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) である Visual-SLAM という技術がちょうどリアルタイムで処理できるようになってきたという論文が出始めた頃でした。この技術ではカメラの画像入力からリアルタイムで周辺地図を作成し、自己位置推定も同時に実現するというものです。その Visual-SLAM に着目し、倉庫内の動線を可視化する技術開発に着手しました。

Visual-SLAM に関して、古典的な手法では、あるフレームの画像中の特徴点を検出し、次のフレームでも同様に

検出された同じ特徴点同士をマッチングすることで、三角測量により3次元座標を持つ特徴点を作成します。その特徴点を地図とし、さらに次のフレームで取得した特徴点とマッチングし、そのフレームの自己位置を推定とともに新たな特徴点を地図に追加します。この処理を繰り返すことで地図作成と自己位置推定を実現します。

しかし、当時は Visual-SLAM に関するオープンソースも多くはなかったので、さまざまな論文を読みながら要求を満たすような機能を抽出し、1からコーディングする必要がありました。先述でも少し触れましたが、Visual-SLAM は幅広いコンピュータビジョンの知識が求められ、とても複雑な技術です。特徴点検出、特徴量抽出、特徴点マッチング、カメラポーズ推定、三角測量、バンドルアジャストメント、ループクロージングなど、多岐にわたる技術の理解が必要です。最初はやることの多さに圧倒されましたが、一つ一つステップを踏み、機能ごとの精度の検証を重ね、徐々に形にすることができました。また、社外のさまざまな有識者にも相談しながら、一つ一つ機

能を実装することで、ようやく論文に近い精度を得られることができました。

しかし、論文の実装を再現するだけでは解決が困難な課題が発生します。フォークリフトはその場で旋回する動きが多く視点変化が大きいため、誤差が増えやすい、あるいは自己位置を見失うという課題がありました。そこで、画像入力のみでは解決困難だと判断し、角速度を検出できるジャイロセンサを利用することで回転に頑健なアルゴリズムを開発し、解決しました(図3)。

その後、事業部の方とともに、自社の現場やお客様の現場で何回も検証を重ねることでシステムとしての完成度も上げていき、物流倉庫の業務改善ソリューションとして、リリースされました。

空間認識技術の今後

Visual-SLAM は現在もどんどん進化しており、近年ではディープラーニングを利用した、手法も増えています。最近では、CVPR 2025 で発表された MAST3R-SLAM という研究があります。大量のデータで Transformer から学習した基盤モデルを利用して、2枚

の画像の幾何関係を解く手法です。少し前までは、ディープラーニングを利用した手法ではドメインギャップや計算リソースの問題で、実用には向かなかつたですが、基盤モデルの導入やディープラーニングの利用を必要最低限の処理にとどめることで、徐々に問題が解決されつつあります。

また、私の部署ではVisual-SLAMの次のステップとして、作成した地図情報（3D点群）から物体を認識する技術の開発に取り組んでいます。近年、画像認識の世界では、画像と言語を組み合わせたVisual Language Model（VLM）や大量のデータで学習させることで汎化能力を持つ基盤モデル等の台頭により、容易に画像中の物体を認識することが可能になっています。一方で、3D点群の認識では、取得する3D点群の精度や、データ収集コストの面で、基盤モデルを構築するのが困難です。CLIP特徴のような共通の特徴空間で学習させるContrastive Learningや、画像認識の基盤モデルの結果を教師データとしたTransfer Learning等、研究としては盛り上がりつつありますが、特定ドメインの教師有学習の手法と比べると精度差はまだ大きいです。3D点群の認識技術に関する開発の余地はまだあると感じておりますので、興味ある方は研究テーマとして検討してみてはいかがでしょうか。

企業での研究開発部門の立ち位置

現在も社内のさまざまな事業へ向け、画像や3Dデータを利用した空間

認識技術を開発しております。企業の研究開発の方向性としては、論文やトップカンファレンスの採択を目指すケースもありますが、どのように事業に繋げていくかが問われます。一見、自由に研究ができないと思われるかもしれません、社会的なニーズを考えながら設定された研究テーマは、社会にとっての価値がより大きいものになると見えます。さらに、自分が開発した技術が商品やソリューションに搭載される喜びは大きいです。

また、技術を開発するだけでなく、それを発信することも非常に重要だと感じています。私が今まで事業部の方とお仕事できたのは、研究部門として自分たちの技術を発信し続けたからだと思っております。社内でも幅広い事業展開や技術開発が行われているため、どこの部門が何を開発しているか？どんな商品を扱っているか？等を把握していないことが多いです。そのようなケースに対し、社内の展示会などで自分たちが開発した技術を発信することで知ってもらうことができます。そういう場所でしっかりと手を挙げることで自分の技術を展示し、ディスカッションを通じて、社会が抱える課題に対し、開発した技術をどのように適用するかを新しいテーマとして進めることもあります。さらに、そのような課題がさまざまな領域で発生していることが分かれば、共通課題を解決するようなより価値のあるテーマを立ち上げることができます。

むすび

私が入社以降、開発に携わっている

空間認識技術についてと、それがどのように商品やソリューションに搭載されていくのかを紹介しました。今回は開発した技術が成果につながった例を紹介しましたが、実はこれらの開発以外にも日々目を浴びずに終了してしまった研究テーマもいくつかあります。失敗の理由としては、実現可能性が難しい、需要が少なく費用対効果が見込めない等がありました。これらの失敗を糧に次に進めるテーマでは同じようなことが起こらないように良い経験であったと捉えるようにしています。

最後に、いろいろなテーマをこなす中で、新しい技術に好奇心を持ちながら、どのように社会に役立ちそうなのか、そのバランスを保ちながら研究開発を進めることが大事だと感じています。その気持ちを忘れずにこれからもさまざまな研究テーマに携わりたいと思います。学生の方々にも少しでも今後の選択の参考して頂けると幸いです。

（2025年8月29日受付）

〔文 献〕

- 1) U. Katsura, K. Matsumoto, A. Kawamura, T. Ishigami, T. Okada, and R. Kurazume: "Spatial change detection using voxel classification by normal distributions transform", ROBOMECH Journal, 6, 20 (2019), <https://doi.org/10.1186/s40648-019-0148-8>
- 2) 岡田典、石上智英：“画像処理装置、距離検出装置、画像処理方法およびプログラム”，特願2019-537929
- 3) CYTIS Insight for Cargo: <https://news.panasonic.com/jp/press/jn250331-4>