

チップ内ネットワークに基づく血管径可視化手法のハードウェア化

工学部情報工学科 近藤真史

理工学研究科システム科学専攻 ○田中宏樹

概要： 医用画像における管径可視化手法の高速化を目的として、次世代の回路コア接続技術である **Network on Chip (NoC)** に基づくパケット伝搬を利用した管径計測手法を提案し、シミュレーションおよび回路設計により数 kHz 程度のクロック数で高速に管径を計測できることを示す。

1. 研究目的

血管等の生体における管状組織の管径は、病変の良悪性を評価する上で重要な指標となるが、その狭窄位置や狭窄率等の質的診断は医師の主観的な評価に委ねられている。この問題に対して、画像処理に基づいて管径を網羅的に計測し、管径の長短に応じた可視化画像を生成する手法が提案されているが、その解析には多大な時間を要する。そこで本研究では、ハードウェアによる血管径可視化手法の高速化を目的として、次世代の回路コア接続技術である Network on Chip (NoC) に着目し、パケット伝搬を利用した電氣的な管径計測手法とその具体的な回路構成を提案する。

2. 提案手法

医用画像に写る管状組織における任意の注目画素(位置)の管径は、(1)注目画素を通る直線を角度 θ ($1^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$) ごとに $180^\circ/\theta$ 本生成、(2)直線上の画素を走査して両端の管壁に到達するまでの線分を算出、(3)全ての線分の中から最小のものを管径とみなすことで算出できる。以上の手順(1)～(3)を管状組織像の全画素に施すことにより、任意の位置における管径が得られる。

一方、NoC は、一対のコアとルータを格子状に配置し、コア間のデータ転送をルータ間のパケット通信とすることで実効的に高スループットな並列処理を実現できる。そこで本研究では、管状組織画像を NoC 上のコアに対応付けた上で、パケットの伝搬形態を利用して管径計測を実現する(図 1)。まず、注目画素上のコアは、探索方向 θ および $\theta + 180^\circ$ を内包したパケットを生成・送出し、ルータはその方向へ動的にパケットを伝搬する(図 2)。これを受けた管壁上のコアは自身のアドレスをパケットに追加・返送する。そして、全ての探索方向からの返送パケットの中から最も速く返送されたパケット情報をもとに管径を算出できる。これを模擬するパケットシミュレータの開発で通じて管径計測完了までの所要クロック数を解析した結果、 $\theta = 5^\circ$ の場合で 11,179、 $\theta = 45^\circ$ の場合でも 1,069 クロックで計測を完了し、昨今の集積回路の一般的なクロック周波数が GHz 帯であることを勘案すると、極めて高速に管径を計測できることが示唆された。

3. 応用の可能性

現在、ルータに係る回路設計とその動作検証が完了しており、これに基づいたハードウェアアクセラレータの実装が完了した暁には、リアルタイムな医用画像診断を実現できるだけでなく、パケット伝搬を利用した汎用的な信号処理・画像処理デバイスへの応用も期待できる。

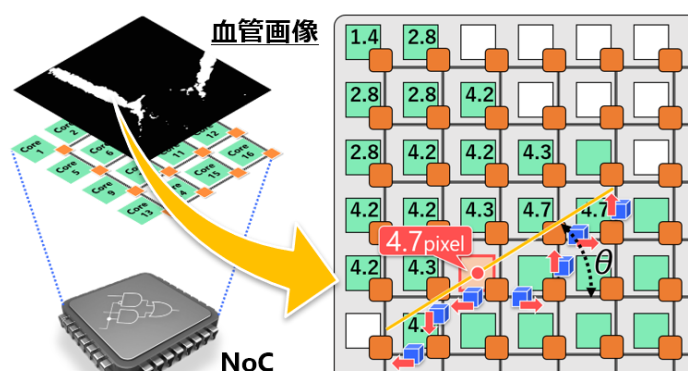


図1 NoCに基づく血管径計測手法

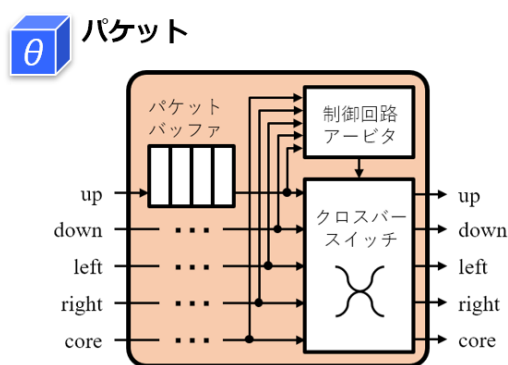


図2 ルータ回路の構成

3D モデルを用いた機械学習手法の高精度化と空間関係検出への応用

工学部情報工学科 近藤真史, ○川村一葵, 津田晃輝, 木林紘希
セリオ株式会社, 株式会社荒木組

概要: 機械学習に基づいた姿勢推定の精度向上には, 大量の学習用データ(画像・アノテーション)が必要となる. そこで本研究では, 3D モデルから多種多様な学習データを自動生成するとともに, 大型脚立を例に人と構造物の空間的な位置関係を検出・評価可能な手法を提案する.

1. 研究目的

建設現場における大型脚立(立ち馬)上の危険姿勢を検出・警告するシステムの実現を指向して, 機械学習により作業員と立ち馬の位置関係を推定・評価する取り組みが行われている. しかし, 上述の環境下では十分な質と量の学習用画像の取得が困難となる. この問題に対して, 立ち馬の3D モデルから大量のCG 画像を生成・学習し, 高精度な姿勢推定を実現する試みがなされている. これに続く本研究では, 形状の異なる複数の立ち馬を対象とした学習データ生成手法を提案するとともに, その姿勢推定データを用いた人と立ち馬の空間関係の検出結果を示す.

2. 3DCG を用いた姿勢学習と空間関係の検出

提案する学習データの生成と空間関係検出の枠組みを図1に示し, 各手順の説明を以下に記す.

- 手順1.** BlenderProc2 を用いて, 種々の立ち馬の3D モデルの学習データを生成する. ただし, これには立ち馬の天板やステップ等の接点情報は含まれないため, 3D モデルの各接点に透明オブジェクトを埋め込み, 各接点のアノテーションも併せて生成する.
- 手順2.** 各立ち馬の学習データを統合する. 特にアノテーションの統合に際しては, 学習時にその接点数を統一する必要があるため, 最大の接点数を有する立ち馬のモデルに統一し, 不足した接点のアノテーションは欠損データとして新たに接点情報を付加・補間する.
- 手順3.** 姿勢推定ライブラリ MMPose を用いて姿勢学習を行う. MMPose はトップダウン式推論のため, 共通のデータセットに対してMMDetectionによる物体検出学習も併せて行う.
- 手順4.** 人と立ち馬それぞれの姿勢推定を行い, 人の昇降に係る空間関係を検出する. ここでは, 立ち馬が規則的な幾何構造を有することから, 立ち馬の接点を通る線分を算出し, その線上の一定の範囲に人の接点, 例えば足先が重なったか否かにより昇降状況を検出する.

提案手法に基づいて, 立ち馬の昇降動作における空間関係を検出した結果を図2に示す. 図中の黄線は天板とステップの検出範囲を示しており, 立ち馬に対する人の昇降状況を検出・表示できていることが分かる(図中左上). この結果によれば, 立ち馬上の人の位置関係を高精度に同定可能であり, 作業員の危険姿勢の検出に応用できることが示唆された.

3. 応用の可能性

本研究の枠組みによれば, 建設現場等の撮影が困難な状況の再現だけでなく, 3D モデルのテクスチャ等を変更することで実写以上の表現力に富んだ学習データを生成できる. また, 3D モデルのみで完結するため, 実際に人が模倣すること自体が躊躇される危険姿勢の学習にも応用できる.

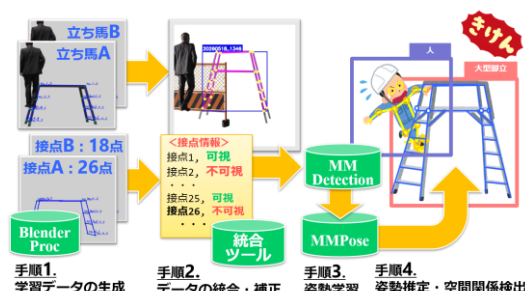


図1 姿勢推定学習の枠組み

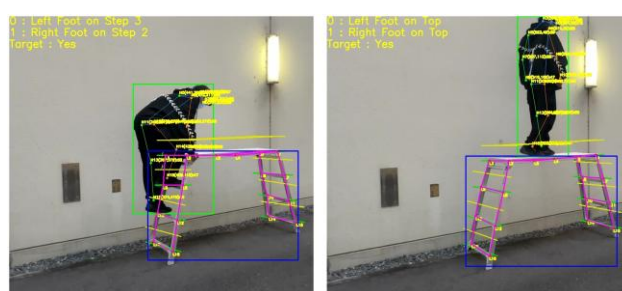


図2 人の昇降状況の検出例

周波数ロック機構付き 3 軸ベクトル光ポンピング磁気センサの開発

工学部電気電子システム学科 河村実生

理工学研究科システム科学専攻 ○冷 言飛

概要：市販のルビジウムアンプと VCSEL を用い、直接吸収周波数ロック機構を備えたナノテスラ精度の 3 軸ベクトル光ポンピング磁気センサを開発した。磁気シールドのない環境で地磁気の日周変化を連続観測し、基準観測所のデータとの高い一致と長期安定性を実証した。

1. 研究目的

近年、高感度な光ポンピング磁気センサ (OPM) は、生体磁気計測や資源探査など幅広い分野で注目を集めている。しかし、磁気シールドのない地磁気環境下において、長期間にわたり高い安定性を維持しつつベクトル計測を行うことは依然として大きな課題である。そこで本研究では、市販のコンポーネントを活用した堅牢な単一ビーム構成を採用し、環境の熱ドリフト等強い直接吸収曲線を用いた周波数ロック機構を実装することで、長期間安定して稼働する実用的な 3 軸ベクトル原子磁気センサの開発を目的とした。

2. システム構成と実証結果

開発したシステムは、市販のルビジウムアンプと VCSEL (垂直共振器面発光レーザー) を用いた単一ビーム方式を採用している。VCSEL の長期的熱ドリフトを抑制するため、複雑な光学系を避け、堅牢な直接吸収曲線に基づいた周波数安定化 (ロック) 機構を構築した。また、直交する 3 軸のコイルを用いて変調磁場を印加し、各軸のロックイン検出によるクロズドループ制御を行うことで、ゼロ磁場環境を維持しながら 3 軸ベクトルの磁場を高精度に検出する。本システムの長期安定性を評価するため、磁気シールドを設置していない研究室環境において、地磁気の連続観測を実施した。2026 年 5 月の連休中 (5 月 1 日～6 日) に取得した東向き磁場変動データを、気象庁柿岡地磁気観測所の 1 分値暫定データと比較した結果、両者は極めて高い一致を示した。これにより、本システムがシールドなしの環境下において、地磁気の日周変化等のダイナミックな変動を長期間にわたりドリフトなく高精度に追従できることが実証された。

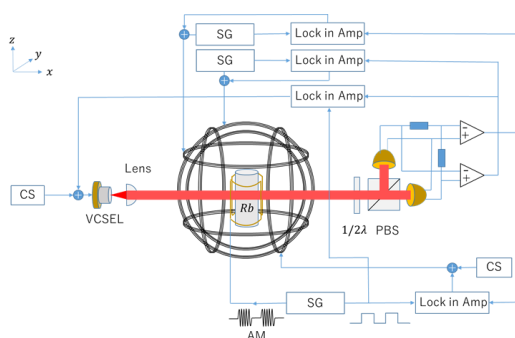


Fig. 1

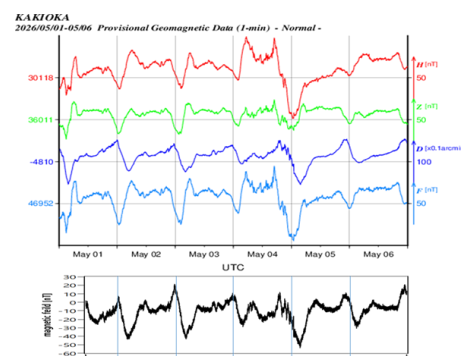


Fig. 2

3. 応用の可能性

本研究で開発した磁気センサは、市販アンプを利用した安価かつシンプルな構成でありながら、ナノテスラレベルの環境磁場を長期間安定してベクトル計測できるという大きな利点を持つ。特別な磁気シールドを必要としないため、実環境下での広域な地磁気観測ネットワークへの展開や磁気異常検知、さらには将来的な高精度センシングにおける環境ノイズキャンセラーなど、多岐にわたる分野での実用化が期待できる。

ドローンで撮影した架空地線画像における異常箇所の自動検出

工学部電気電子システム学科 ○太田寛志, クルモフバレリー

川崎医療福祉大学医療技術学部臨床工学科 高谷健太

概要：電力送電設備の一つである架空地線の点検作業を自動化するために、ドローンで撮影された画像から画像処理技術を用いて架空地線領域を抽出し、その領域内における異常箇所を検出する手法を開発した。

1. 研究目的

電力送電設備における送電線と架空地線の点検は、電力の安定供給において必要不可欠である。この点検の作業員の負担軽減と安全性向上を図るため、近年ではドローンを用いた空撮点検が導入されつつある。これに加えて、撮影された画像からの送電線及び架空地線の異常検出を自動化できれば、点検作業のさらなる効率化が期待できる。そこで本研究では、架空地線の素線表面に生じるアーク痕や腐食などの異常検出を目的として、撮影画像から架空地線領域を抽出する手法、及び、その領域内から異常箇所を検出する手法を開発する。

2. 架空地線抽出と異常箇所検出の方法

本手法の処理概要を Fig. 1 に示す。初めに画像から架空地線の抽出を行う。この際、架空地線の座標や輝度は画像ごとに異なり、また、背景に送電線や鉄塔、道路の白線などが含まれる場合もある。そこで、エッジ画像から検出した平行な直線ペアの候補の中から、エッジ強度が最も強い直線ペアを架空地線の上端と下端に決定し、その間の画素を架空地線領域とする。次に、抽出した領域を横方向に等間隔で部分画像に分割する。各部分画像は、CNN (畳み込みニューラルネットワーク) を用いて「正常」と「異常」の2クラスに分類される。このCNNには、あらかじめ架空地線の正常画像と異常画像を500枚ずつ学習させている。CNNによって得られた異常確率の一例を Fig. 2 に示す。グラフ上部には対応する架空地線領域を配置している。赤色矢印は異常箇所の位置を表す。この結果から明らかなように、異常箇所を含む部分画像において異常確率が極めて高くなるため、異常箇所の特定が可能となる。

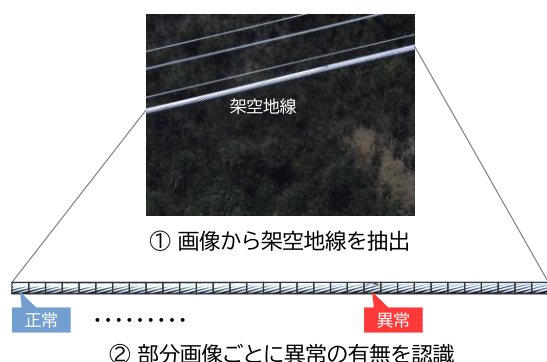


Fig. 1 架空地線の異常箇所検出の方法

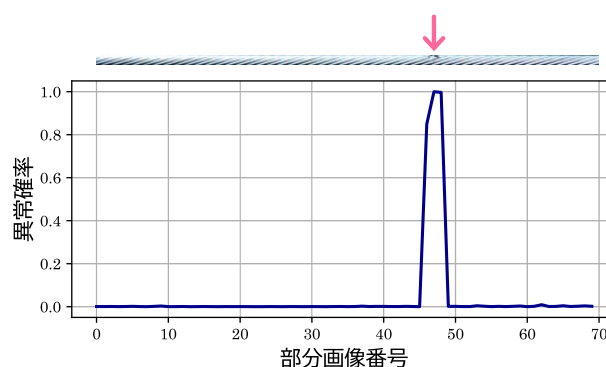


Fig. 2 架空地線の異常箇所の検出の結果

3. 応用の可能性

本手法は架空地線を対象としているが、送電線と架空地線は構造が類似しているため、送電線の異常検出にも応用可能である。また、本手法は計算負荷が比較的小さいため、ドローンに搭載された小型コンピュータ上でも実行できる。したがって、画像撮影と異常検出をリアルタイムで並行して行うシステムへの発展が期待できる。

ディープラーニングを用いた非接触センシング技術の応用研究

—ジェスチャー制御とバイタル計測—

情報理工学部情報理工学科 小橋 優, 荒谷虎太郎, 國塩海里, 〇榊原道夫

概要：ディープラーニングを用いた非接触姿勢推定により、対象に負担をかけない状態計測・制御技術の設計。人の震えに対応するジェスチャー操作システムと、高齢犬の呼吸数等を定量化による健康見守り手法の提案。

1. 研究目的

近年、対象に物理的・精神的負担を与えない「非接触センシング技術」への期待が高まっている。人間対象の領域では、上肢の運動機能障害や音声認識が利用できない環境において、個人の身体特性に適合する非接触型ジェスチャー入力インターフェースがデジタル格差解消に不可欠である。一方、動物対象の領域では、皮膚の弱い高齢犬へのウェアラブルセンサー装着ストレスや、飼い主による長時間の目視観察に伴う主観的判断や容態見落としのリスクが課題となっている。本研究は、機械学習を用いた高度な姿勢推定手法を応用し、人への「ジェスチャー操作システム」と、高齢犬への「非接触バイタル・活動モニタリング手法」を統合的に構築・検証し、非接触センシングの多様な応用展開を追究することを目的とする。

2. システム構成と使用技術

低遅延かつロバストなリアルタイム処理を実現するため、拡張性に優れた「入力層・処理層・出力層」の3層アーキテクチャ構造を採用している。

- ・ **ジェスチャー制御（対人）：** Python 3.11 を基盤とし、OpenCV および「MediaPipe Hands」を採用。Palm Detection と Hand Landmarks の二段階パイプラインにより、21箇所関節の3次元座標を高速推論する。OS 入力エミュレーションには PyAutoGUI および ctypes を活用し、ペイントソフト等との完全な絶対座標同期を可能にした。

- ・ **バイタル計測（対動物）：** 汎用カメラによる寝床の定点映像を基に、Google Colab の GPU 環境を活用して「DeepLabCut (DLC)」による姿勢推定を行う。「胸部・腹部」および「鼻先」の追跡部位を定義し、座標データ (CSV/HDF) を自動抽出する。

3. 結論と今後の展望

- ・ **スマート制御と滑らかな操作環境：** 起動直後の3秒間で手首の変動量をサンプリングし、不随意的な手の震えやノイズに適合する「静止判定閾値」を自動決定する機能を実装。さらに、ピンチ動作のミリ秒評価によるタップ／ドラッグの分離、5フレームの「見切れ猶予」、および「自動線形座標補完」を構築し、30fpsの限界を超えた滑らかな空中操作環境を確立した。

- ・ **非接触バイタル・活動定量化：** 抽出した胸部Y座標の時系列データに移動平均フィルタを施し、波形のピーク間隔から1分間あたりの「安静時呼吸数」を自動算出する手法を構築。また、鼻先座標の距離から活動量をヒストグラム化し、時間帯ごとの体動回数を基に「中途覚醒や寝返り」を判定することで、睡眠の質を客観的に定量化する方向性が得られた。

今後は、ジェスチャー制御における他人の写り込みや空中操作の疲労軽減アルゴリズムの開発を進める。また、バイタル計測においては、異常値検出時の自動通知機能を実装し、実用的な遠隔健康管理プラットフォームへの応用展開を目指す。

統計的手法と骨格推定 AI を用いたスポーツ競技の客観的評価に関する研究

—フィギュアスケートの採点法再評価および多競技における MediaPipe 等の活用—

情報理工学部情報理工学科 秋山敬彦，稲澤綜太，山崎優貴，○榊原道夫

総合情報学部情報科学科 藤田健太郎

概要：フィギュアスケートの採点に中央値を導入しジャッジの偏りを防ぐアプローチと、骨格推定 AI による多競技の自動動作解析を融合し、客観的な次世代スポーツ評価基盤を目指す研究。

1. 研究目的

スポーツ競技の高度化に伴い、審判の目視判定における主観的な偏りや死角の発生が課題となっている。高価な専用モーションキャプチャの導入は地方大会や練習環境では困難である。本研究は、特別な設備を必要としない「自動・公平な次世代採点プラットフォーム」の基盤構築を目指すものである。現在、①データサイエンスによる採点アルゴリズムの客観化（フィギュアスケート）の検討と、②コンピュータビジョンによる動作解析の客観化（複数競技への骨格推定 AI 適用）のプロトタイプ開発を並行して進めており、本稿ではその設計思想と現在の進捗状況について報告する。

2. 複数競技への統計的再評価と骨格推定 AI の適用と動作解析設計

現行の国際スケート連盟（ISU）採点システムが採用する「トリム平均（最高・最低点除外平均）」は、特定のスコア帯への偏りや緩やかなバイアスを補正しきれない。これに対し、本研究ではより頑健な統計量である「中央値（メディアン）」を用いた採点モデルを提案し、現在シミュレーションデータを構築中である。評価のばらつきや意図的な誘導を最小化し、ジャッジ全体の真の合意を反映可能か、過去の大会データ等を用いた検証を進めている。

汎用動画から骨格情報を取得する姿勢推定 AI（MediaPipe、YOLOv8-pose）を活用し、複数競技における判定の自動化・高精度化に向けたシステム設計および初期検証を行っている。カメラ角度や体格差の誤差を補正するため、バイオメカニクスの指標の導入を試みている。

対象競技	AI技術	解析指標（設計内容）	現在の開発・進捗状況
体操（跳馬）	MediaPipe	着地時の両肩幅を基準とした左右足首の距離、重心移動	足の開き、ステップの自動減点アルゴリズムを検証中。
水泳（飛込）	MediaPipe	「107B」技における入水直前1フレームの姿勢角度	ノースプラッシュとなる理想角度の特定を目指す。
自転車	YOLOv8-pose	ペダリング中、下死点での動的な膝関節屈曲・伸展角	理論的背景の整理と解析手法の設計段階。

3. 結言と今後の課題

本研究は、フィギュアスケートの統計的採点改革の提案と、多競技への姿勢推定 AI 適用の統合に向けた初期アプローチである。現段階では各要素の理論設計およびプロトタイプ構築を行っており、今後は、各競技の実データ（実際の演技動画や採点結果）を大量に収集し、構築した AI モデルおよび中央値採点モデルの精度検証とパラメータ調整を行う。AI が判定した動的データと、中央値ベースの統計処理アルゴリズムを系統的に結合し、一貫通貫で機能する自動採点プラットフォームの試作・実装、に課題に取り組む。

映像情報の地図への紐づけと操作インタフェースに関する研究

工学部情報工学科 島田恭宏

理工学研究科システム科学専攻 ○佐藤利玖

概要：本研究では、2次元平面に描かれた地図の位置情報に対して、360度カメラで撮影した全周囲映像を紐づける。そしてセンサをもつ物理的アバターを地図上で操作することで、アバターの位置や向きに対応した映像を全周囲映像を基に提供することを目指す。

1. 研究目的

印刷された地図から得られる情報は平面的であり、注目地点の周辺環境を詳細に把握することは困難である。地図上で位置を指定し、その地点や周辺の映像が得られれば、より詳細に現地の状況を理解できるようになるだろう。また一般的なコンピュータ操作では、操作権が特定の1人に限られ、複数人による共同作業の妨げになりやすい。これに対し、机上の地図を囲み、直感的に動かせる物理的アバターを用いれば、複数のユーザが同時に互いの手元や視線を確認しながら指し示すような操作が可能となる。これにより、位置情報の共有や合図が容易になり、議論の進捗を助けることになるだろう。そこで本研究では、物理的アバターに **toio** というロボットを採用し、実世界指向インタフェースにより操作可能なシステムの実現を目的とする。

2. 提案手法

物理的アバターとして用いる **toio** は、底面に光学センサを持ち、専用のプレイマットに印刷された **Position ID** を読み取ることで、自身の位置と向きを検出する。本研究ではこの仕組みを利用し、プレイマットに実際の地図や航空写真を印刷して使用する(Fig.1)。そこでプレイマットの x,y 座標と地図の位置情報の座標合わせが必要となるが、以下のような方法で実現する。Fig.2 に本研究における処理の流れを示す。まず、地図上のいくつかの代表地点を決定し、それぞれの位置情報を記録する。次に、それらの地点に対応するプレイマットの x,y 座標を **toio** の光学センサで読み取る。これら「地図上の位置情報」と「プレイマット上の x,y 座標」の対応関係からアフィン変換の変換行列を求める。システムは **toio** が読み取ったプレイマット上の x,y 座標に対してこの変換行列を適用し、地図上の位置をリアルタイムに推定する。しかし、推定された位置に必ずしも映像が存在するとは限らない。そのためシステムは、推定位置に最も近い位置で撮影された映像を検索し、ユーザに提示する。

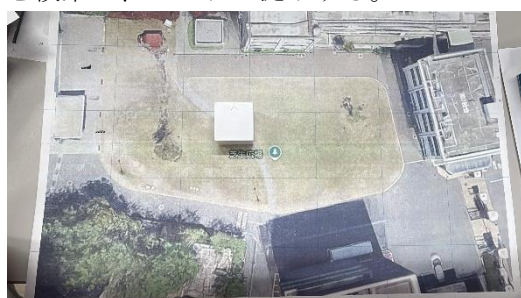


Fig.1 プレイマットに印刷した航空写真

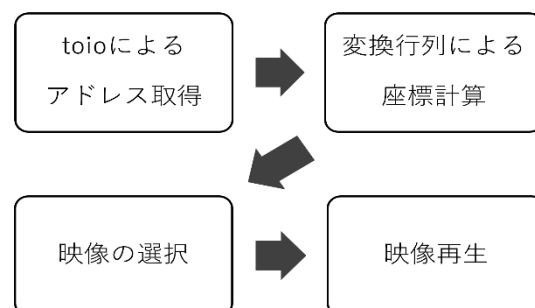


Fig.2 処理の流れ

3. 応用の可能性

提案システムは、地図画像とその地点で撮影した全周囲映像を対応付けて提示できるため、防災分野における避難経路の検討や防災教育への活用が期待される。例えば、避難経路上の周辺環境や見通しを参加者全員で確認しながら、安全な避難ルートを検討することが可能である。さらに、複数人が同じ地図を囲みながら位置や映像を共有できるため、共同作業や意思決定を支援するツールとしての利用が期待される。

防犯カメラ映像に映る人物のリレー追跡技術に関する研究

工学部情報工学科 島田英之
理工学研究科システム科学専攻 ○喜讀杏奈
学生支援機構情報基盤センター 平田 豊
株式会社トスコ

概要：治安課題や高齢者の行方不明といった課題解決に向けて、撮影の時期や場所が異なる映像間に映る同一人物の追跡を目的とした。そのために、人物検出、骨格推定、着衣の色のクラスタリング、人物特徴量の抽出実験を行い、人物の同定を試みた。

1. 研究目的

近年、治安課題や高齢者の行方不明といった課題への解決策として防犯カメラ映像による捜査は極めて有効な手法として選択されている。結果、事件の早期解決や行方不明者の発見につながっている。しかし、この手法では捜査員の目による映像確認が不可欠であり、目視で該当人物を探し出すため、担当する捜査員のセンスや知識、経験に依存することや作業の負担、スピード感に欠けることが指摘されている。そこで本研究では、映像に映る人物を検索し、異なる映像間でリレー追跡を実現することを目的とする。

2. 実験結果

将来的に着衣の色で人物を検索し、かつ複数カメラにわたるリレー追跡を行いたい。そこで、基礎実験として着衣の色検出と、人物固有の特徴量を求める実験をそれぞれ行った。まず、屋外環境で歩行者 4 名を異なる 2 点から撮影した。撮影した動画の一部フレームを図 1 に示す。人物検出には YOLOv8 を使用した。検出した人物領域画像から上半身の着衣の色を検出するために、MediaPipe で推定した骨格情報をもとに肩から腰の矩形画像を取得した。骨格推定画像を図 2 に示す。この矩形画像に対して、k-means 法(K=5)で画像の色をクラスタリングし、代表色を抽出した。図 3 に、対象画像（左上）、クラスタリング結果（下）、代表色で構成した画像（右上）を示す。図のように現状では、影の影響により単色の着衣が単色にならない場合もある。

人物の特徴量抽出には、Torchreid ライブラリを使用した。YOLO で付与された人物 ID に対応するフォルダ内の人物領域画像から 2048 次元の特徴量を抽出した。そして、フォルダ内の特徴量平均値を計算し、データベースに保存した。データベースには、動画 ID、人物 ID、特徴量を保存しているため、ある動画に映る人物と、別の動画に映る人物の同一性を判定できる。実験では、別画像中の 4 名中 3 名について同一人物と判定することができた。動画 1 を基準として、動画 2 を判定した実験結果を表 1 に示す。例えば表中の 1-A は、動画 1 の人物 A を意味している。

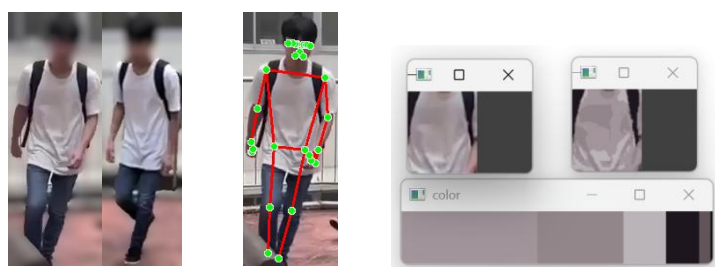


図 1 人物 A(別視点) 図 2 骨格推定 図 3 色のクラスタリング結果

表 1 判定結果

	2-A	2-B	2-C	2-D
1-A	0.85926	0.82368	0.82314	0.81471
1-B	0.81196	0.82945	0.80000	0.80207
1-C	0.81056	0.81225	0.82522	0.80635
1-D	0.81848	0.81339	0.82101	0.82098

3. 応用の可能性

今後は多様な撮影環境や運用状況を考慮し、より詳細な人物検索機能や特徴量の抽出、人物の同定のために様々なアプローチを行い、実際の捜査現場で運用しやすい製品開発を目指す。

大規模な組合せ最適化への量子アニーリングにおける Qbit 削減手法の検討

情報理工学部情報理工学科 ○李 天鎬, 川島正行

理工学研究科システム科学専攻 (了) 松田和幸

概要：現行の量子アニーリングマシンにおける Qbit 数制約を克服するため、変数削減、エンコーディング、問題分割などの Qbit 削減手法を比較検討する。特に、大規模時間割作成を行い、大規模かつ複雑な組合せ最適化問題を実用的な時間と精度で解く手法の確立を目指す。

1. 研究目的

現行の量子アニーリングマシンのハードウェア限界 (Qbit 数制約) を克服し、より大規模で複雑な現実世界の組合せ最適化問題を実用的な時間と高い精度で解く手法を確立すること。

2. Qbit 削減手法の検討

以下のような手法について比較検討を行う。

問題構造の縮約 (前処理での変数削減)

- ・ **不要選択枝の除去**：明らかに選ばれない候補解を事前に除外し、変数自体を減らす。
- ・ **重複表現 (対称性) の排除**：同じ解の重複探索を防ぎ探索空間を削減する。
- ・ **事前固定による縮約**：確定的な部分解を固定し、残りの未確定変数だけでQUBOを再構築する。

変数の表し方の工夫 (表現と圧縮)

- ・ **各種エンコーディング法**：One-hot表現をBinary表現にする (例：8bitを3bitに)、不等式制約をOrder表現にするなど、問題に応じて変数を圧縮する。
- ・ **高次元制約の2次元化**：3次以上の項に必要な補助変数を抑えるため、結合変数や線形不等式を用いる。

問題を切り分ける手法 (分割)

- ・ **部分QUBO法**：相互作用の強い変数をグループに分割し実機で解き、複数の候補解を段階的に統合、調整する。

- ・ **列生成法**：最小限の変数で解いた後、改善見込みのある有望な候補 (列) を数学的指標に基づき段階的に追加する。

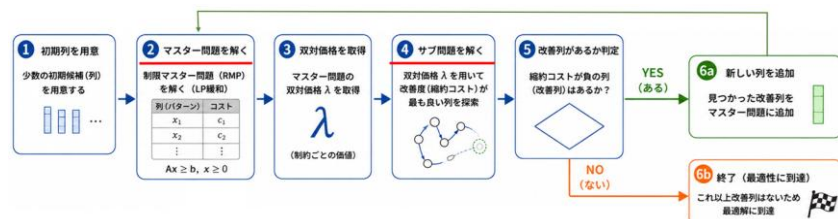


図1：列生成法のフロー

3. 応用の可能性

変数の規模が爆発しやすいあらゆる実社会の組合せ最適化問題に対して、強力な汎用性を持つ。

複雑な制約を持つ大規模スケジューリング：大学や高校の大規模な時間割作成 (本研究の実証領域) だけでなく、工場における多工程のジョブショップ・スケジューリングや、鉄道・航空機の運行ダイヤ編成など、 $O(n \times t)$ で変数が膨張する領域に適用できる。

大規模ネットワーク・物流最適化：宅配便の配送ルート最適化や、MaaS (Mobility as a Service) におけるリアルタイム配車など、対称性の排除や不要な選択枝の事前除去 (ヒューリスティクスとのハイブリッド) が極めて有効に機能する。

リソース・ポートフォリオ最適化：金融分野におけるポートフォリオ最適化や、通信ネットワークにおける周波数割当など、相互作用の強い変数をクラスタリングしてSubQUBOに落とし込むアプローチがそのまま応用可能である。

効率的な生産スケジューリングシステムの開発

理工学研究科システム科学専攻 ○青山優希

工学部情報工学科 片山謙吾

概要：生産工場における製品製造の高効率化を目指し、より総加工時間の短いスケジュールを作成する生産スケジューリングシステムを開発。

1. 研究目的

製造業においては、消費者ニーズ多様化に伴い、生産期間の短縮化及び多品種少量化の傾向が強まっている。多様な製品を短期間で製造するには、生産スケジュールの効率化が重要である。これを実現するため、コンピュータ上で、自動的に高効率なスケジュールを算出することが求められる。高性能なスケジューリングシステムは、以下のようなメリットをもたらす。

- 短時間に高品質な生産スケジュールを得ることができる
- 労働生産性の向上、生産量あたりの人件費削減が可能
- 納期の見積・確認がしやすくなる
- 長時間労働など、労働環境の改善が期待できる

生産スケジュールを求める問題の代表例として、ジョブショップスケジューリング問題(JSSP)が挙げられる。本研究室では、より短時間で、より高品質なスケジュール解を算出する高性能なスケジューリングアルゴリズムの開発に取り組んでいる。

2. ジョブショップスケジューリング問題

ジョブショップスケジューリング問題 (JSSP) は各々決まった作業を行う機械に仕事(ジョブ)を効率的に割り振り、総加工時間、納期遅れ等の最小化を目的としたスケジュールを求める問題である。また、ジョブごとに機械の作業順序が異なることを前提とする。JSSPにおける解の例を Fig.1 に示す。Fig.1 下図のスケジュールは、問題例で与えられた機械の作業順序を守りながら上図のジョブの順序を一部入れ替えたものであり、

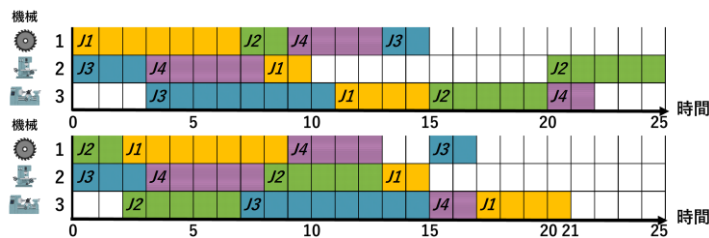


Fig.1 4 ジョブ 3 機械の JSSP 解例

総加工時間は上図が 25、下図が 21 である。

3. JSSP に対するスケジューリングアルゴリズム

JSSP は、問題サイズの大規模化に伴い、スケジュールの組合せは指数関数的に増加するため、実行可能なスケジュールを網羅的に確認する厳密解法は、現代のコンピュータの性能を以てしても非現実的な処理時間を要する。そのため JSSP においては、現実的な計算時間で高品質なスケジュールを算出する近似解法が広く用いられている。

代表的な近似解法である局所探索は、ある一つの解に対して少し変化を加えた解(近傍解)の中で、総加工時間が改善する解へ移動することで、より良い解を探索するアルゴリズムである。JSSP においては、局所探索を基盤としたメタ戦略アルゴリズムが広く用いられている。タブー探索は代表的なメタ戦略であり、一度探索した解を再度探索しないように記憶し無駄なく探索を行うことで、より高品質な解を探索するアルゴリズムである。

3. 応用の可能性

資材の到着遅延、注文のキャンセルなど、不測の事態が発生した場合にスケジュールを高速に組み直すリスケジューリング機能の導入や、スマートファクトリーにおいて導入が進むAGV(無人搬送車)を用いた機械間資材輸送を考慮したスケジューリングシステムへの応用が考えられる。

ドライバーの安全性を重視したモビリティ経路計画アルゴリズムの開発

工学部情報工学科 ○安延慎治, 片山謙吾
理工学研究科システム科学専攻 青山優希
株式会社クリーンサービス・イバラ

概要：ドライバーの運転負荷を反映した経路設計を行うためにターンペナルティを導入し、物理的な距離だけでなく、方向転換によるペナルティを加えた経路算出アルゴリズムの開発を行った。

1. 研究目的

ごみ収集、バス、宅配などのモビリティ経路に対するシステムの多くは走行距離の最小化を目的として開発されたものが多く、ドライバーの安全性が考慮されていない場合が多い。身近な例として、カーナビは走行距離の最小化を優先するため、一般的に左折よりも交通事故のリスクが高い右折が多い経路を示す場合がある。そこで、ドライバーの安全性を考慮するために交差点で発生する左折・右折・Uターンの3種類の方向転換にターンペナルティを設定し、交通事故のリスクを抑制した安全な経路の算出を行うモビリティ経路計画アルゴリズムの開発を目的とする。

2. 安全性を重視したモビリティ経路計画アルゴリズム

ごみ収集を例として説明する。ごみ焼却所(S)から出発して3か所のごみ集積所でごみを回収して焼却所に戻る例を示す。最短距離で移動した場合の経路をFig.1に示す。ごみ集積所1と2のごみを回収した後、大回りして集積所3に行くパターンよりもUターンして左折して行くパターンがより短い距離で移動できるため、集積所2の先にある交差点でUターンが発生している。

本研究のアルゴリズムを適用した経路例を Fig. 2 に示す(移動の仕方の分かりやすさを考慮し、経路の途中から紫色で表している). Fig. 1 では 2 回の右折と 1 回の U ターンの発生に対し、Fig. 2 では U ターンが発生せず、1 回の右折で移動していることがわかる. 総移動距離は長くなるものの、3 種類の方向転換において最も交通事故のリスクが小さい左折を多用しており、Fig. 1 よりもドライバーの安全性を高めた経路であるといえる.

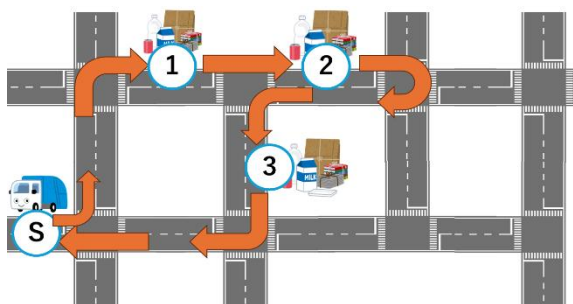


Fig.1 最短距離で移動した経路

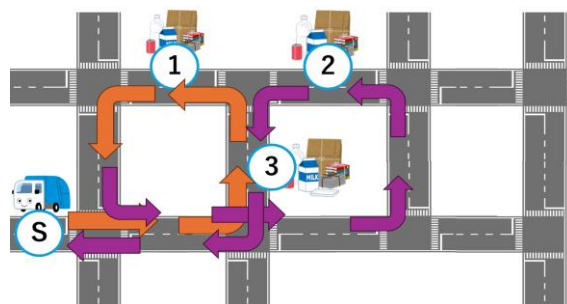


Fig.2 本研究のアルゴリズムを適用した経路

交差点間の距離を 100 メートルと仮定し、ペナルティ値として左折 50, 右折 200, U ターン 2000(単位はメートル)とした場合の Fig. 1 と Fig. 2 における移動距離にターンペナルティを加えた結果を以下に示す. 計算式は(移動距離) + (左折ペナルティ) + (右折ペナルティ) + (U ターンペナルティ)である.

Fig.1 の場合 : $6 \times 100 + 2 \times 50 + 2 \times 200 + 1 \times 2000 = 3100[\text{m}]$

Fig. 2 の場合 : $10 \times 100 + 7 \times 50 + 1 \times 200 + 0 \times 2000 = 1550[\text{m}]$

3. 応用の可能性

企業の安全運転教育で安全な走行ルートの一例として提供でき、ドライバーに示した走行ルートで移動するよう指導することで、交通事故による損失リスクを抑制できることが期待される。

PUF 応答の軟判定復号による高信頼鍵生成方式の研究

工学部情報工学科 ○麻谷 淳

概要：物理的複製困難関数（PUF）応答の揺らぎを考慮し、誤り訂正符号により暗号鍵を生成する方式を研究している。本研究では、PUF 応答を二値化せず確からしさとして扱う軟判定値を導入し、復号精度の向上を図る。これにより低コスト機器でも高信頼な鍵生成が可能となる。

1. 研究目的

IoT機器やセンサデバイスの普及に伴い、安価で小型なデバイスにおいても高いセキュリティを確保する技術が求められている。物理的複製困難関数（PUF）は、デバイス固有の微細な物理ばらつきを利用して固有応答を得る仕組みであり、複製が困難である点からデバイス認証や鍵生成に有効である。しかし、PUF 応答は温度・電源変動・経年劣化などにより揺らぎが生じるため、誤り訂正符号を用いて安定した鍵を再構成する必要がある。本研究では、PUF 応答の情報をより多く活用することで、従来方式より高い復号成功率を実現する鍵生成方式の確立を目的とする。

2. 軟判定復号による鍵生成

従来の PUF 鍵生成では、PUF 応答を「0/1」に二値化して扱うため、わずかな揺らぎでもビット誤りが増加する課題があった。そこで本研究では、PUF 応答の強度や特徴量をそのまま数値として扱う 軟判定値（Soft Information）を導入する。軟判定値は、応答が「1 らしい」「0 らしい」度合いを数値化した情報であり、誤り訂正符号（LDPC、Polar、BCH など）の復号器に入力することで、鍵再構成の成功率を向上できる。

本研究では、PUF 応答から軟判定値を抽出する方法、復号器への入力形式、復号性能の評価などを行い、PUF の揺らぎを許容しつつ高信頼な鍵生成を可能にする方式を検討している。Fig. 1 に PUF 応答から軟判定値を抽出し、誤り訂正復号器に入力して鍵を再構成する本研究の概念図を示す。

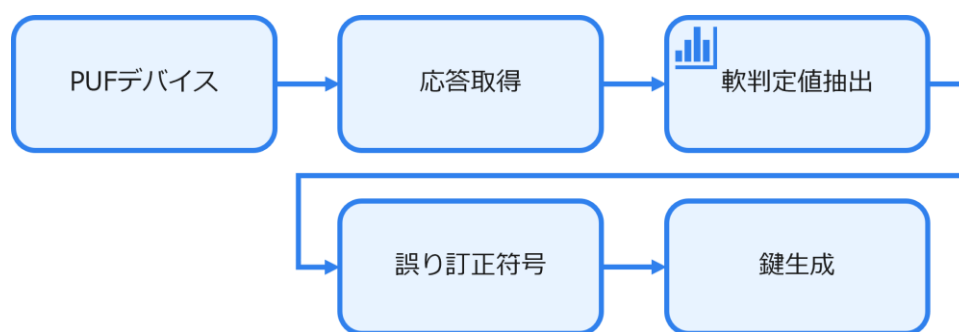


Fig. 1 PUF 応答の軟判定復号による鍵生成の概念図

3. 応用の可能性

PUFは追加ハードウェアをほとんど必要とせず、既存デバイスの物理特性をそのままセキュリティ資源として利用できる利点がある。軟判定復号を組み合わせることで、

- 低コストデバイスでも高信頼な鍵生成
- デバイス固有性を活かした認証
- センサ・IoT機器・産業機器への容易な組み込み

が可能となる。これらは、セキュリティ要求が高まるIoT環境において、軽量かつ高信頼な認証基盤として広い応用が期待できる。

アフォーダンスとユーザー特長を用いた VLM による画像分析

理工学研究科システム科学専攻 ○中村光一

通信教育部情報理工学部情報理工学科 大西朔永

情報理工学部情報理工学科 椎名広光

概要：人は個人特性によって同じ画像でも注目する要素や表現が異なる。本研究では視覚言語モデル（VLM）を用い、ユーザー特性を反映するユーザープロンプトと物体のアフォーダンスに基づくアフォーダンスプロンプトを併用し、生成キャプションへの影響を検証した。

1. 研究目的

視覚言語モデル（VLM）は画像とテキストを同時に処理でき、物体に加え状況や物体間の関係といった背景情報も記述できる。プロンプトにユーザーの個人特性を記述すると、その特性に沿った文章生成が期待される。また人は、Gibsonの提唱したアフォーダンス（物体が与える行為の可能性）に応じて対象の表現を変えることが知られている。本研究では、ローカル環境で動作するVLM（Qwen2.5-VL）に、ユーザー特性を反映したプロンプトとアフォーダンス記述を与え、その有無が生成キャプションに与える影響を検証する。

2. 提案手法と評価実験

本研究では、ユーザープロンプト単独の Method 1 と、アフォーダンスプロンプトとユーザープロンプトを併用する Method 2 を比較する（Fig. 1）。ユーザー特性は「嗜好」「知識領域」「視点」「文体」で設定し、アフォーダンスプロンプトは画像の環境要素と文化要素を分類して判定理由とともに生成する。

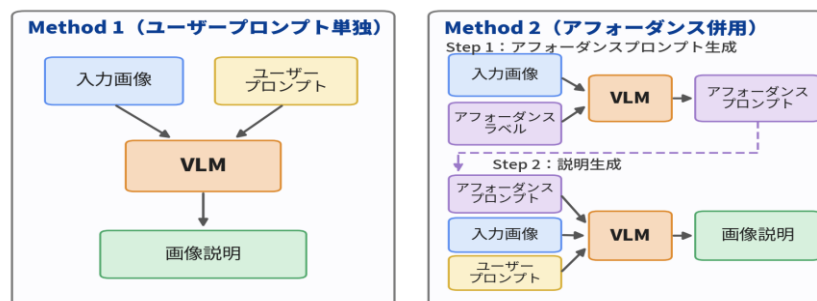


Fig. 1 提案手法によるキャプション生成の概要

評価では、DataComp-1B と DEJIMA から各 100 枚の画像を用い、生成キャプションを Gemini 2.5 Flash で 5 段階のルーブリックにより採点した。アフォーダンスの有無による差を、ユーザー設定（嗜好なし・自然志向・都市志向）ごとにウィルコクソンの符号順位検定（有意水準 5%）で検証した。その結果、明確な嗜好をもつユーザーでは両データセットで評価値が有意に向上し、嗜好なしのユーザーでは有意差は見られなかった。

3. まとめ

本研究では、ユーザープロンプトとアフォーダンスプロンプトを併用するVLMによる画像キャプション生成手法を提案した。明確な嗜好をもつユーザーでは、アフォーダンスの併用により評価値が有意に向上し、VLMが一部の画像要素に過度に注目する傾向が抑えられた。今後は、関心や専門分野に応じた画像説明の自動生成や視覚障害者支援、観光・教育コンテンツの個別最適化など、幅広い分野への応用が期待される。今後は、アフォーダンスプロンプトの生成精度向上や多様な画像データセットへの適用を進めていく予定である。。

特徴点マッチングによる道路面上の位置特定と車速推定への応用

研究・社会連携機構研究・社会連携センター ○佐藤洋一郎

概要：実は、道路面の紋様には排他的な特徴が存在する。本研究では、この特徴を用いて特定した道路上の位置の移動量として車両の移動量を求め、車速を推定する手法を検討している。実験結果から、現在最高精度の GPS と同程度の精度で車速を推定できることが明らかになった。

1. 研究目的

現在、自動車内で提示される車速は、車輪の回転数から求めた間接的な車両の移動量に基づいて推定されており、タイヤの空転、摩耗などによって誤差が生じている。路面を撮影した画像上の道路紋様にはいくつかの排他的な特徴が存在し、この特徴を用いれば、路面上の複数の位置の特定が可能となる。そこで、カメラで連続して撮影した2枚の路面画像から、同一位置の移動量として直接的に車両の移動量を求め、車速を高精度に推定する手法を検討する。

2. 道路紋様を用いた車速算出法

自動車の後方に設置したカメラで路面を撮影すると、右上図のように、カメラの光軸は自動車の移動量と同じだけ移動し、画像上では紋様の移動として現れる。そこで、2つの画像（第 i 、 j フレーム画像）上それぞれで、①排他的な特徴を持つ位置（特徴点：右下図の白点）を特定し、②同一の特徴（特徴量）を持つ位置のペア（右下図の実線で示す）を抽出し、③それぞれの距離を求め、④多数の値を移動距離として採用する。

自動車の後ろにカメラ（GoPro HERO10）を取り付け、解像度 1200×1000 、フレームレート 120fps で撮影した。比較対象として GPS（NEO-M9N-00B：速度精度 0.05 m/s）を使用し、サンプリングレート 20Hz で行い、路面撮影と同期して速度を推定した。その結果を右図に示す。横軸は時間、縦軸は車速である。同図から明らかなように、GPS に対する本研究の手法の誤差は、60km/h 走行時に約-2%程度であり、50km/h 以下ならほぼ一致している。車載メータでは、60km/h 走行時に-18~6.5%の誤差があることを勘案すると、極めて高精度に車速を推定できることを示している。

今回の撮影は晴天時に行われたが、雨天時や夜間時についても確認する必要がある。また、この誤差については、モーションブラーの影響である可能性が高く、照明やフレームレートの工夫でさらに低減できるものと予想される。

3. 応用の可能性

路面のような、一見特徴の無いと思える風景においても、同一の位置と判断できる特徴が存在する。しかも、60km/h という高速移動時にもこのこと示された。したがって、同一モデルの自動車のような物体についても、車両ナンバーのような情報を用いることなく、判別することが可能と思われる。また、自動車以外のもの（建物の壁面など）への応用も十分考えられる。

