

デジタルツインを活用した危機予測 AI に関する研究（第1報）

安部貴大*、渡辺博己**

Study on AI for crisis prediction utilizing digital twin（I）

ABE Takahiro* and WATANABE Hiroki**

本研究では、近年注目を集めているデジタルツイン（DT）および AI を利用して人、ロボットおよびモビリティが空間を共有する未来を目指し、ロボットやモビリティに対する安全運転システムの開発に取り組んでいる。DT とは現実空間の情報を仮想空間上に再現する概念であり、様々な分野での利用が期待されている。今年度は空間内を移動する物体を検出し、仮想空間上に投影する DT の試作を行った。試作した DT により移動する人などを認識し仮想空間上へ投影できることを確認した。

1 はじめに

近年、IoT や AI、ビッグデータなどの技術が飛躍的に進化したことでデジタルツイン（DT）の実用化が進み、注目を集めている。DT とは、現実空間から得たモノや環境に関するデータからそれらを仮想空間上に再現する概念であり、監視・メンテナンス業務の省力化、機器や設備の予兆保全や社会課題の要因分析等への貢献が期待されている。国内の活用事例として「Toyota Woven City¹⁾」の開発が進められており、Woven City 内で行われる実証実験のシミュレーション効率や精度の向上に DT が貢献することが期待されている。DT は製造業から医療まで多岐にわたる分野で利活用が進んでいき、産業の発展に欠かせない重要な技術となっていくと考えられる。そこで当センターではこれらの技術を取り込み県内企業の DX 推進に対する一助とする。

近年は協働ロボットの普及で人とロボットが同じ空間で作業する環境が増えている。また自動運転やモビリティサービスの発展を受けて国土交通省は人と車両が空間をシェアする生活道路を道路行政の目指す形として示している²⁾。これらの背景を踏まえ、本研究では空間内における人やロボットおよびモビリティのような移動する物体をセンサによって捕捉し、仮想空間にそれらを投影した DT を構築し、AI 技術を組み合わせて空間内に存在する移動物体の経路予測を行い、衝突事故などの危機を予測する。その結果から、衝突などの危機が発生しない効率的な移動を行うための情報をロボットやモビリティへフィードバックするシステムを提案する。従来研究では高額なセンサを使用しているが、社会実装のハードルを下げるために本研究ではシステム実装の低コスト化を意識しつつ開発を進めていく。

目標とするシステムを3段階に分けて開発を進める。第1段階は空間内の移動物体を検出する人流計測の実装、

第2段階は取得した移動物体の位置情報を仮想空間に投影し DT を構築、第3段階はデジタルツインから得た情報を用いて衝突予測を行う AI の実装である。本年度は第2段階までの試作を行ったのでその結果を報告する。

2 人などの移動予測に基づく危機予測システム

2.1 関連研究

移動ロボットの障害物回避に関する研究はこれまでに数多く行われ、様々な行動計画法が提案されている。井上らは複数の動的障害物の行動原理を推定し、将来の軌道を予測するアルゴリズムを提案している³⁾。田村らは環境に設置したセンサによって観測された歩行者の移動データを移動傾向データベースとして保持しこれを移動予測に用いる手法を提案している⁴⁾。

目標地点が明確に定められたロボットの自律制御に関する研究が主に行われているが、国土交通省の示す生活道路のような人と車両が空間をシェアするようなシチュエーションでは、車両に目的地が設定されていなかったり道中で不意に寄り道をしたりするなどといった可能性があるため、自律型の制御ではなく人の操作を補助して安全な運転を行うシステムが必要となる。Wang らは衝突回避や配送最適化といった安全運転支援を行うために、次世代高度道路交通システム（次世代 ITS）で導入されるような路側機（RSU）と自動運転車からのデータをクラウドに集約し、Smart Mobility Digital Twin(SMDT)を構築した⁵⁾。

2.2 提案システム概要

Wang らの研究のように交通 DT を構築するためには次世代 ITS で導入されるような RSU を用いることが一般的となっている。RSU には3次元 LiDAR センサ、カメラ、通信用のアンテナが備えられており非常に高価である。また自動運転車が装備しているセンサのデータも交通 DT を構築するために利用されるので、モビリティ側にも LiDAR センサやカメラなどが搭載されている必要がある。モビリティを含めて初期投資費用が高額にな

* 生産システム部

** 情報技術部

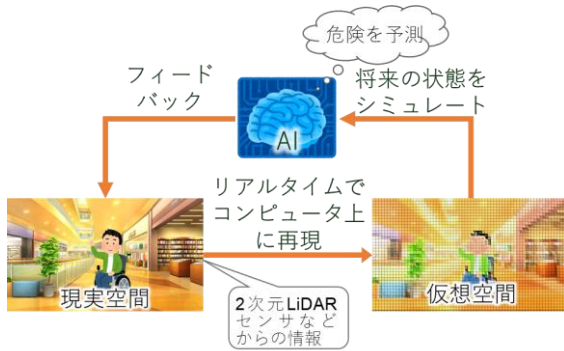


図1 システム概要

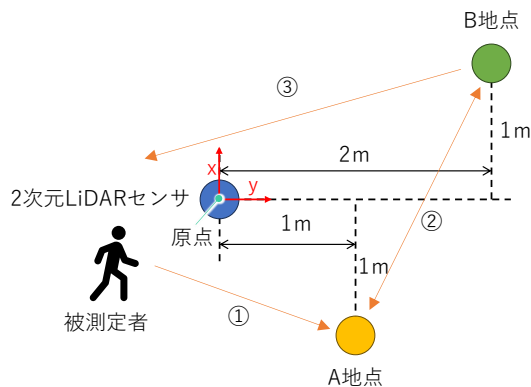


図2 位置精度評価実験概要

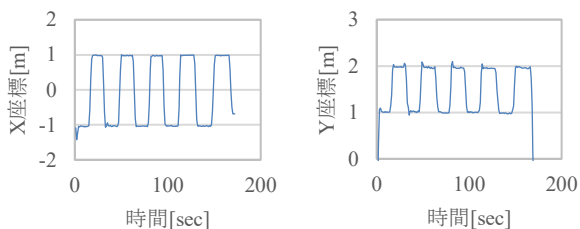


図3 位置精度評価実験結果

ると、社会への普及が困難になる。

そこで本研究では低コストで実現可能なモビリティ向けの安全制御支援システムの開発を行う。提案するシステムの概要を図1に示す。システムは「現実空間」「仮想空間」「AI」の3要素から構成される。現実空間内の人、モノ、ロボットおよびモビリティといった移動する物体をLiDARセンサなどによって検出し、仮想空間にそれらを投影する。DTを構築し、AI技術を組み合わせることによって移動物体の衝突予測を行いロボットやモビリティに予測結果を通知する。通知を受けたロボットやモビリティは取得した情報から停止や減速などの回避行動を行う。本研究で開発するシステムはロボットやモビリティではなくそれらが移動を行う環境側にセンサを設置することでロボットおよびモビリティ本体のコスト上昇を抑制する。これによって、各移動体にセンサを搭載する必要がないため、システム全体として各移動体に

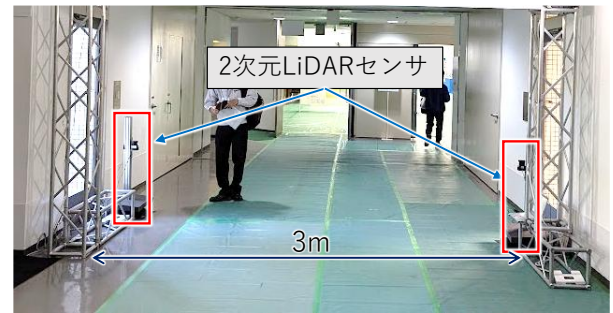


図4 オクルージョン評価実験の様子

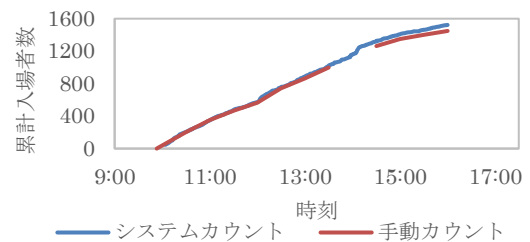


図5 オクルージョン評価実験結果

センサを搭載する場合と比較して安価となり、移動体の大きさや重量も軽量化を図ることが可能となる。また本研究では、設置するセンサは2次元LiDARセンサとする。

3 危機予測用デジタルツインの試作

3.1 人流計測システム

2次元LiDARセンサ（北陽電機株式会社製 UTM-30LX-EW）と付属ソフト「Flow Radar」を用いて人などの移動物体の検出を行い、位置精度およびオクルージョンについて評価を行った。「Flow Radar」はイーサネットに接続されたUTM-30LX-EWから取得したデータにより範囲内の人を検出するソフトウェアである。

位置精度の評価実験では図2に示すとおり、2次元LiDARセンサを1つ原点に設置し、その検出範囲内に2つの目標地点A、Bを設定した。被測定者がこの2点間を5往復したときの測定結果を図3に示す。A地点（X: -1m, Y: 1m）B地点（X: 1m, Y: 2m）に対して最大誤差は約35mmであった。これは人の腹部厚径の約18%程度であり、移動予測に大きな影響はないと考えられる。またオクルージョンとは、非接触型のセンサによる計測において、手前にある物体が後ろにある物体を隠してしまう現象を指す。この課題に対し、2台以上のセンサを用いることで、その影響を軽減する。有効性を確認するために県内で開催された展示会にて、運営団体協力のもと入場ゲートの左右の支柱付近にそれぞれ2次元LiDARを1台ずつ設置し入場者数計測を行った（図4）。このシステムによる計測と同時に手動の計測を行い、両者を比較した結果を図5に示す。システムによる計測と手動計測は同じ傾向を示したため、一定の有用性が確認できた。なお

手動計測結果は1449人であり、計測誤差は74人であった。原因として大きな荷物を抱えた人間を2人と認識してしまうなどといったシステムの挙動を確認した。試作したシステムで利用しているFlow Radarでは認識するサイズを設定しており、このサイズを超えている移動物体は2人以上の人が並んで歩いていると推定するようになっている。そのためデータ処理を自作のアプリケーションで行うように、システムを変更する必要がある。

3.2 デジタルツインの構築

図6に試作したDTの概要を示す。Flow Radarから専用のAPIを通して人の移動データを取得し、仮想空間上に楕円体として投影する。現実空間にある机や壁といった静止物体はCADソフトによってモデリングしたものを配置した。図7に示す通り、試作したDTは現実空間上の移動物体を仮想空間上に投影できていることを確認した。

4 まとめ

現在注目を集めているデジタルツインを利用したロボットやモビリティのための安全運転支援システムのDT部分の試作を行った。人などの移動する物体を検出し、仮想空間上に投影を行えることを確認した。今後の課題として、Flow Radarでは一定のサイズを移動物体として認識し、そのサイズを超えた場合に複数人が並んで移動していると推定するため、大きなものを持って移動している人物を2人以上とみなしてしまう場合がある。そのためFlow Radar内で行っているデータ処理について自作アプリケーション内で行うようシステムを変更し、オブジェクトの認識アルゴリズムを最適化する必要がある。

【謝 辞】

本研究の一部は、一般財団法人越山科学技術振興財団の助成金を受けて実施しました。ここに感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) TOYOTA WOVEN CITY ホームページ,
<https://www.woven-city.global/jpn/> (参照 2025/2/18)
- 2) 国土交通省,2040年、道路の景色が変わる～人々の幸せにつながる道路～,2020,
<https://www.mlit.go.jp/road/vision/pdf/01.pdf> (参照 2025/2/18)
- 3) 井上ら,日本ロボット学会誌 Vol.15,No.2, pp249-260,1997
- 4) 田村ら,日本機械学会論文集 (C編) 79巻 799号, pp168-179,2013
- 5) Wang ら,IEEE Transactions on Intelligent Vehicles, Vol.9,No.3, pp4348-4361,2024

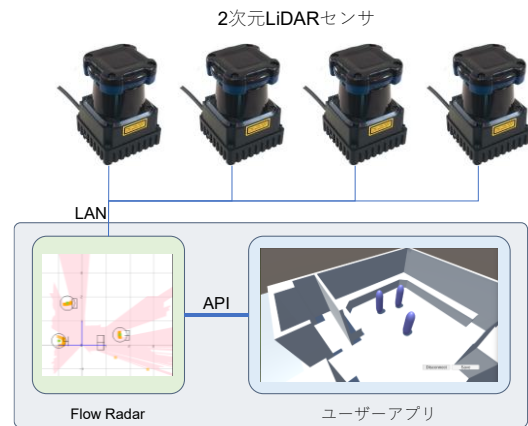


図6 試作したデジタルツイン

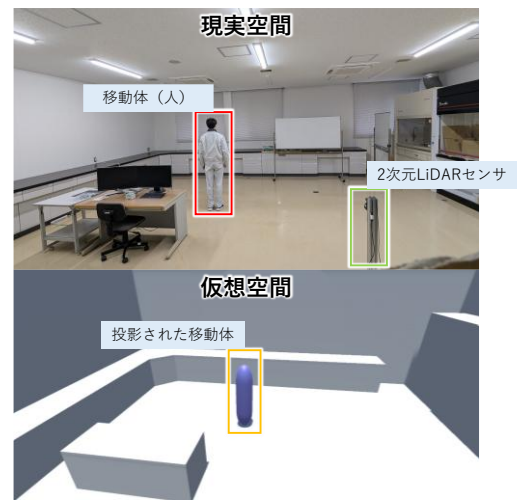


図7 現実空間と仮想空間