

フィジカル空間とサイバー空間における時空間情報の整合性評価による異常検出の検討 Consideration of Anomaly Detection by Evaluating Consistency of Spatiotemporal Information between Physical Space and Cyber Spaces

本間 翔太¹⁾ 阿部 竜弥¹⁾ 鈴木 秀和²⁾
Shota Homma Tatsuya Abe Hidekazu Suzuki

1 はじめに

複数のセンシングデータを高精度な位置情報および時刻情報とともにリアルタイムで統合し、現実世界（フィジカル空間）と仮想世界（サイバー空間）を密接に連携させるデジタルツイン技術の基盤研究が近年大きく進展している。特にスマートシティ分野においては、都市の様々な状況を高精度に把握し、未来予測や社会課題の解決に役立てるために、デジタルツインの活用が期待されている。しかし、フィジカル空間でセンシングされた時空間情報と、サイバー空間で管理されている時空間情報の間に不整合が生じると、デジタルツインや他の CPS (Cyber Physical System) において、正確な結果や予測が得られないという深刻な課題が存在する。

このような不整合は、都市のリアルタイムな状況把握やシミュレーションの精度低下を引き起こし、インフラ運用や住民サービスの質の低下、意思決定の遅延など、社会的にも大きな影響を及ぼす。そのため、センシングデータの位置・時刻情報を高精度に一致させ、リアルタイムで統合する技術の開発が強く求められている。近年、NTT が研究開発を進めている 4D デジタル基盤 [1] のように、マッピング技術を用いてフィジカル空間で取得したセンシングデータをサイバー空間のデータに反映・更新する技術も登場している。しかし、データの単純な上書きが可能なサービスもあれば、システムの特長や運用上の制約により自動補正が困難なサービスも存在する。その場合、管理者が膨大なビッグデータから目視でデータの変更有無を判断しなければならず、運用負荷や人的ミスリスクが高まる。

そこで本稿では、こうした自動補正が困難なケースに着目し、フィジカル空間とサイバー空間の時空間情報の整合性を評価し、異常を簡易かつ効果的に検出する手法について検討する。これにより、デジタルツインの信頼性を高め、スマートシティにおける実用的な応用を一層促進することを旨とする。

2 既存研究

2.0.1 4D デジタル基盤

NTT ではセンシングデータをリアルタイムかつ高精度に空間情報へ統合し、多様な産業基盤のデータと融合することで、未来予測や新たな価値創造を可能にする基盤として 4D デジタル基盤 [1] の開発が進められている。センシングしたデータとサイバー空間のデータの差分を検出し、差分があるときのみデータの修正を行っている。実測型のデータの場合は差分検出後、自動修正という手法で問題ない。しかし時空間情報が動作イベントに紐づいている場合、自動修正は不適切である。例えばス

マートビル入退管理のようなビルやオフィス、施設の出入口に設置された IC カードリーダーや顔認証装置などを用いて、入退室イベントを自動的に記録・管理するシステムの場合、入退室イベントに時空間情報が紐づいている。

3 検討手法

検討手法の必要性について述べる。現存している CPS はフィジカル空間で取得した時空間情報をサイバー空間に自動的に保存するケースが多くある。そこでシステムごとにどのような整合性評価によるデータ修正が適切であるかを割り振る手法が必要であると考えた。

3.1 概要

本稿では、既存システムに新たなレイヤーを追加することで時空間情報の整合性評価による異常検出を行う。提案するレイヤーは図 1 である。フィジカル空間で取得したデータとサイバー空間に保存されているデータの整合性を評価し、その結果によってデータの保存方法が異なるため、データ保存される前の段階にレイヤーを追加する。レイヤーはデジタルツインコンピューティング構想 [2] のレイヤー構成を参照する。レイヤーはサイバーフィジカルインタラクション層、デジタルツイン層、デジタルワールドプレゼンテーション層、アプリケーション層から構成されているとして、サイバーフィジカルインタラクションに本稿で検討したレイヤーを追加する。

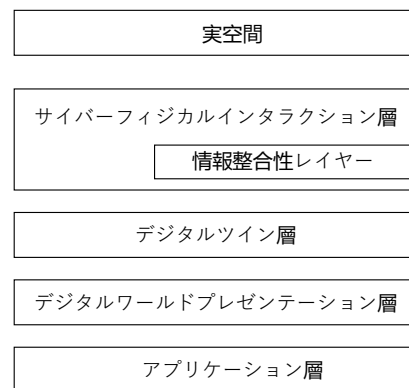


図 1 レイヤー

3.2 情報整合性レイヤー

図 2 に情報整合性レイヤーについて示す。このレイヤーではシステムを 3 種類のパターンに分類し、システムごとに適切な異常検出およびデータの修正を行う。

時空間情報を扱うシステムを実測型センシングと推論型センシングに分類する。実測型センシングとは、整合性を評価する対象物をセンサ等で直接計測・観測することと定義する。推論型センシングとは、整合性を評価する対象物自体を直接観測せず、関連するイベントや他の

1) 名城大学大学院理工学研究科 Graduate School of Science and Technology, Meijo University

2) 名城大学情報工学部 Faculty of Information Engineering, Meijo University

データから間接的に状態や位置を推論・検出することと定義する。実測型センシングと推論型センシングの具体的な例を示す。

ある人物Aの入退室を確認するとする。その時人物Aの位置情報をGPS等で直接センシングして部屋の出入りを検出する場合を実測型センシングとする。対して、部屋にビーコンを配置し、GPSとの距離を調べることで部屋の出入りを検出する場合を推論型センシングとする。

3.2.1 実測型センシングの場合

システムが実測型センシングと判断された場合、図2のパターン1に該当する。センシングした時空間情報とサイバー空間にある時空間情報の整合性評価を行い、乖離が存在すれば自動的にセンシングした時空間情報にサイバー空間の時空間情報を修正する。

3.2.2 推論型センシングかつ

関連する動作と時空間情報が紐づいている場合

システムが推論型センシングと判断した場合、さらに2種類に分類される。分類の条件は動作イベントが整合性評価を行う対象の時空間情報と紐づいているかである。この時動作イベントが時空間情報と紐づいているとは以下の条件を満たすものとする。

- 動作イベントの明確な定義と記録が可能であること
- イベントと時空間情報（位置・時刻）が論理的に紐づいていること
- サイバー空間上のデータ構造が、動作イベントと時空間情報の突合を許容していること

この条件を満たすとき、図2のパターン2に該当し、関連動作による時空間情報の修正を行う。

関連する動作と時空間情報を記録し、サイバー空間のデータベース上に登録されている対象物の時空間情報を突合することで、時空間情報の誤りやずれを検出する。

3.2.3 推論型センシングかつ

関連する動作と時空間情報が紐づいていない場合

紐づいていない場合は図2のパターン3に該当し、自動修正せずにアラートを出す仕組みを提供する。

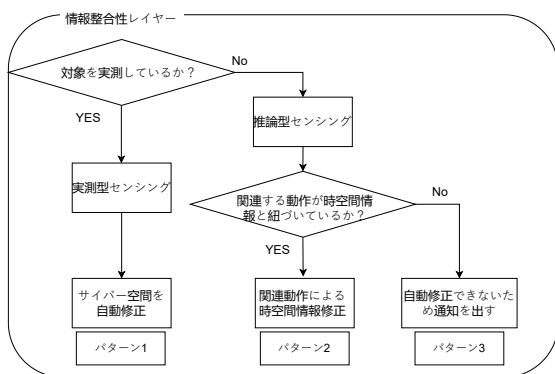


図2 情報整合性レイヤー

3.3 シナリオ

検討手法で挙げたレイヤーを用いた場合、どのシステムがどのパターンに当てはまるかを例を挙げて紹介する。

3.3.1 実測型センシングの場合

• 自動運転車両システム

車載のLiDAR、カメラ、GPSなどの各種センサーを用いて、車両自身および周囲の障害物の位置や時刻情報をリアルタイムに直接計測している。すなわち、本項の検討手法においてはフィジカル空間で取得した情報は「正」としてサイバー空間の情報を常に同期することで、情報整合性を維持する。

3.3.2 推論型センシングかつ

関連する動作と時空間情報が紐づいている場合

• 農業分野の自動走行農機システム

農業分野の自動走行農機システムは、トラクターや田植え機などの農機が、GPS等の高精度測位技術を用いて、農地内を自動で走行・作業するシステムである。農機は衛星からの位置情報と地上の基地局からの補正信号を受信し、誤差数センチメートル以内の精度で自己位置を把握する。これにより、無人で直線的な耕起や施肥、収穫作業が可能となり、作業の省力化や高精度化、担い手不足の解消に大きく貢献している。

農機の「作業開始」「作業終了」「障害物検知」「ルート変更」などの動作イベントが発生した際、その時刻と位置情報が自動的に記録される。

3.3.3 推論型センシングかつ

関連する動作と時空間情報が紐づいていない場合

• ゴミ回収状況可視化システム [3]

このシステムはゴミの回収状況を塵芥車後部でゴミ袋を圧縮する際に発生する積込動作音からゴミの回収状況を推定している。この時塵芥車がゴミを圧縮する場所は集積所の前とは限らず、集積所の場所とは離れた場所で圧縮して回収することがある。そのため、ゴミ回収の推論がセンシングと集積所の時空間情報は紐づいていないといえる。この場合サイバー空間にある時空間情報を自動修正することは厳しいため、通知を出すことで対応する。

4 定性評価

今回検討した手法を利用することで表1の結果が得られる。

表1 システムの分類別評価

	パターン1	パターン2	パターン3
自動修正	○	○	×
異常検出能力	○	○	○

5 まとめ

本稿は、フィジカル空間とサイバー空間における時空間情報の整合性評価による異常検出の検討を行った。提案手法を用いることで、システムの信頼度向上に寄与できる。今後は検討した内容を実装し、評価を行う。

参考文献

- [1] 4D デジタル基盤の実現に向けた空間情報処理技術, NTT 技術ジャーナル 2020年10月号
- [2] デジタルツインコンピューティング構想, NTT 技術ジャーナル 2020年7月号
- [3] 國枝 他: 情報処理学会論文誌, Vol. 65, No. 6, pp. 1049-1057, 2024.