HOKKAIDO UNIVERSITY

| | |
|---|---|
| Title | 道路空間モニタリングのための骨格動作分析に基づくエッジコンピューティングに関する研究［論文内容及び審査の要旨］ |
| Author(s) | 八木, 雅大 |
| Degree Grantor | 北海道大学 |
| Degree Name | 博士(工学) |
| Dissertation Number | 甲第15852号 |
| Issue Date | 2024-03-25 |
| Doc URL | https://hdl.handle.net/2115/91759 |
| Rights(URL) | https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/ |
| Type | doctoral thesis |
| File Information | Masahiro_Yagi_abstract.pdf, 論文内容の要旨 |

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

# 学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称　博士（工学）　氏名　八木 雅大

## 学 位 論 文 題 名

道路空間モニタリングのための骨格動作分析に基づくエッジコンピューティングに関する研究
(A Study on Edge Computing for Road Monitoring Based on Human Motion Analysis)

近年, 実空間とサイバー空間を融合する仕組みとして, サイバーフィジカルシステムが注目を集めている. サイバーフィジカルシステムを実現するためには, 実空間の状況を常にモニタリングする必要がある. 従来のシステムは, 実空間をセンシングして取得するデータをクラウドストレージに記録し, クラウド上でデータを分析する仕組みを採用する場合が多い. しかしながら, 通信ネットワークを介した伝送や記録のためのデータ量が膨大であり, 記録可能なデータ容量を超過することや, 通信ネットワークの帯域が溢れるなどの問題を引き起こす可能性が高い. この問題の解決策として, データ生成源の近傍でそのデータを分析し, 冗長なデータを除外することで, データの転送量を削減可能とするエッジコンピューティングの仕組みを導入することが有効であると考えられる. 本論文では, サイバーフィジカルシステムにおける実空間モニタリングのためのエッジコンピューティングに関する検討を行う.

本論文は全 6 章から構成されており, 各章の要旨を以下に述べる.

第 1 章では, 本論文の背景と解決すべき課題について述べている. まず, サイバーフィジカルシステムにおける実空間のモニタリングにおいて, エッジコンピューティングを導入することの必要性を述べる. 次に, 人や車両などの機械がより安全に活動可能となるサイバーフィジカルシステムの実現に向けて, 映像解析に基づいて実空間の障害物を把握する必要性を述べる. 障害物は多種多様であることから, その全てに対して大量のデータを準備することが困難である. したがって, 映像解析の分野で幅広く導入されている機械学習に基づく手法によって, 全ての障害物を精度良く検出することは困難である. この問題の解決策として, 障害物が存在することで通常どおりに走行できなくなる人や機械の様子を分析することを試みる. 具体的には,1) 実空間の基本的な参加者の一つである自転車の回避行動を映像から認識する手法の導出, 2) 自転車の回避行動に関するデータ集積を可能とするエッジコンピューティング機構の構築に取り組む. また, 複数の人や機械が混在する空間で発生する危険な事象の多くは, 複数の物体が互いに関与している. そのため, 個々の動きを分析するだけでなく, 集団として捉えた場合に異常が無いかどうかを分析する必要がある. 複数の人や機械から構成される集団の行動には, 多くの場合に, 個体同士の主体と従属の関係がみられる. この関係性を乱す個体が存在する状況は, 安全性の観点で望ましくない. このような背景から, 主体と従属の関係が明確な建設現場の作業を対象として,3) 映像から作業員同士の主体と従属の関係を定量化する手法の導出に取り組む.

第 2 章では, 本論文に関係する既存研究を説明する. 最初に, サイバーフィジカルシステムの起源や定義に関する文献を説明する. 次に, サイバーフィジカルシステムの具体的な取り組みに関する文献を説明する. 特に, 道路空間や建設現場を対象としたサイバーフィジカルシステムの取り組みについて説明する. 次に, エッジコンピューティングの定義やサイバーフィジカルシステムとエッジコンピューティングの関係性を示す既存研究を説明する. 最後に, 映像や画像を用いた実空間のモニタリングに関する既存研究を説明する.

第 3 章では, 映像から自転車の回避行動を認識する手法を提案する. 提案手法ではまず, 深層学習に基づいて, 画像からサイクリストの骨格位置を求める. 次に, 提案手法では, 骨格位置に基づくサイクリストの動作特徴およびオプティカルフローに基づく自転車本体の動き特徴を求める. 最後に

各特徴量を入力とする複数の機械学習に基づく識別器から得る確信度を用いて, 自転車の回避行動を認識可能とする. 車載カメラを想定した画角で自転車が走行する様子を撮影した映像を用いて実験を行い, 提案手法の有効性を確認した.

第 4 章では, 自転車の回避行動に関するデータを, エッジコンピューティングによって, データ量を削減しながら集積可能とする機構を提案する. 提案する機構は, 具体的に, バッテリーで駆動が可能なマイクロコンピュータおよび USB 接続型の外部演算装置により構成される. これにより, 様々なインフラ設備や車両などへの搭載が可能となる. 本機構における自転車の回避行動の認識は, サイクストおよび自転車本体の動きに関する複数の特徴量それぞれを入力とする識別器によって実現する. また, 本機構では, 回避行動の認識結果および低容量の映像を集積する機能を有する. 実験ではまず, 回避行動を認識するアルゴリズムを実装したデータ集積システムを試作し, 回避行動を認識する計算に必要な時間を確認した. 実験結果より, 提案するエッジコンピューティングの機構が, 実利用可能な程度に短い時間で回避行動を認識する計算が可能であることを確認した. 次に, 通信ネットワークを介して伝送するデータの容量を確認した. 実験結果より, 従来のクラウドコンピューティングを導入したデータ集積の機構に比して, データ量を大幅に削減可能であることを確認した.

第 5 章では, 建設現場の映像から作業員同士の主体と従属の関係を定量化する手法を提案する. 提案手法ではまず, 深層学習に基づいて, 各作業員の骨格位置を各フレームに対して求める. 次に, 各作業員に対して, 骨格位置に基づく時系列の作業動作データを求める. 提案手法では次に, 関係性を分析する作業員の組み合わせについて,Dynamic Time Wrapping (DTW) を用いて時系列データ間の要素の対応付けを行う. 最後に, 対応付けされた要素の時間のずれに着目した評価関数を定義し, 主体と従属の関係を定量化可能とする. コンクリート打設の様子を実際に撮影した映像を用いた実験を行い, 提案手法の有効性を確認した.

第 6 章では, 本論文の成果を要約し, 論文全体のまとめを行う. 本論文ではまず, 映像から自転車の回避行動を認識可能とした. 次に, エッジコンピューティングによって, データ量を削減しながら自転車の回避行動に関するデータを集積可能とした. 最後に, 実空間の映像から複数の人の主体と従属の関係を定量化可能とした. 複数の人や機械が混在する空間をより安全に利用可能とするサイバーフィジカルシステムを実現するためには, 物体個々および集団それぞれに着目した実空間の動態把握が必要不可欠である. 本論文の 3 つの成果により, 物体個々の動作に関するデータ集積および集団の様子の定量化が可能となった. したがって, 本論文の成果は, 人や機械が安全に移動や作業を行うことが可能な実空間の形成に貢献するものである.