

多人数参加型屋外イベントにおけるデジタルツインヘルスケアのためのエッジネットワーク構成法

釜谷 真由子^{†1} 阿部 亨^{†1,†2} 菅沼 拓夫^{†1,†2}

^{†1} 東北大学大学院情報科学研究科 ^{†2} 東北大学サイバーサイエンスセンター

1 はじめに

生体センサやIoTデバイスの高機能・高性能化に伴い、それらを活用したヘルスケアが注目されており、ウェアラブルデバイスから取得した生体情報をAIを用いて解析することで、人々の健康支援や病気の予防・治療に貢献することが期待されている。近年では先進的な事例として、病院等のある程度設備の整った施設におけるIoTヘルスケアシステムの導入も試みられている [1]。

本研究では、市民マラソンや祭りなど、多くの人が屋外の過酷な環境下で狭いエリアに密集して参加する屋外イベントにおける、参加者の体調のモニタリングをヘルスケアの対象とする。このような環境下では、アクセス集中による無線ネットワークリソース不足の影響から、対象者全体の体調観測に必要な生体情報を十分収集できず、体調悪化時の対応に遅れが生ずる課題が存在する [2]。

そこで本研究では、多人数参加型屋外イベントを対象としたヘルスケアを実現するため、デジタルツインの概念を導入したヘルスケアシステムを提案する。具体的には、対象者の健康状態や、ネットワーク・サーバの状況に応じて、仮想空間上のモデルの詳細度を制御する、適応的なデジタルツインの枠組みを導入したデジタルツインヘルスケアシステムを構成する。本稿では、提案システムの概要と、システムの構成要素であるエッジネットワークの基本設計について述べる。

2 関連研究

多人数参加型屋外イベントのヘルスマニタリングに関する関連研究として、小川らの研究 [2] がある。この研究では、屋外イベントにおける各ユーザの行動や生体情報を考慮したネットワーク制御機構に焦点を当て、ユーザへの見守り優先度の割り当てや、ネットワーク資源を制御するような通信方式を提案している。しかし、屋外での通信資源を動的に割り当てるといった通信プロトコル設計に焦点が当てられており、これにより収集されたデータの適合性や、それにより得られる解析結果の精度評価を含めた、システム全体の設計と評価は不十分である。本研究では、デジタルツインの概念の新規導入に

よるシステムの系統的な設計・構築を試みる。

一方、デジタルツインとエッジネットワークを融合したシステムの構築に関する関連研究としては、Yao らの研究 [3] がある。この研究では、モバイルエッジコンピューティング (MEC) をデジタルツインに組み込み、仮想空間上にネットワークを構成する研究を行った。また、限られたリソースでの通信を前提としており、それにおけるサービス品質 (QoE) ベースのシステムユーティリティを最大化することを目的としている。システムの構成方法論としては参考になる部分が多いものの、本研究で対象としているような多数のエッジユーザの存在を前提とした際の通信の安定性や、サービス品質の向上については、十分な考慮がなされていない。

3 デジタルツインヘルスケアシステム

図1に提案するシステム概要を示す。従来のデジタルツインは、仮想空間上に、物理的な現象を表現した論理モデルを作成するものである。今回は、ヘルスマニタリング対象者の健康状態や、ネットワーク・サーバの状況に応じて、モデルの詳細度を適応的に制御できるような、柔軟なデジタルツインのフレームワークを提案する。

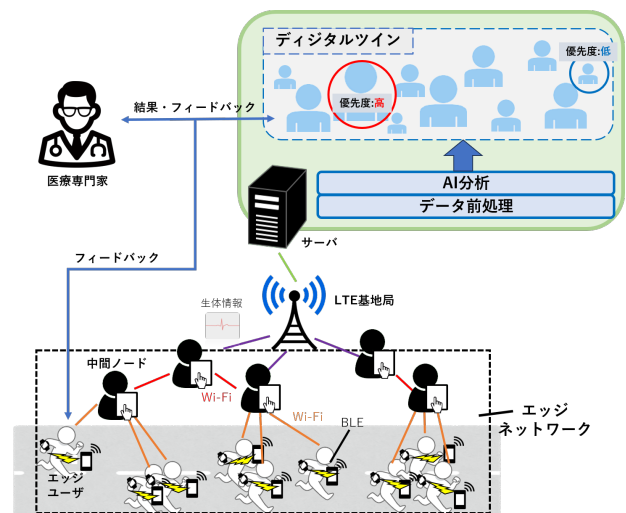


図1: デジタルツインヘルスケアシステムの概要

図中の主要な構成要素の役割を以下に示す。

● エッジユーザ

着用したウェアラブルデバイスからの生体情報

An Edge Network Configuration Method for Digital Twin Healthcare in Multi-party Outdoor Events
Mayuko Kamaya^{†1}, Toru ABE^{†1,†2}, and Takuo SUGANUMA^{†1,†2}
^{†1} Graduate School of Information Sciences, Tohoku University
^{†2} Cyberscience Center, Tohoku University

をネットワークに送信するノードである。スマートフォンなどの携帯端末を所持し、その端末にて取得した生体情報を簡易的に処理する。エッジユーザは、移動を伴うものとする。エッジネットワークは、このエッジユーザと以下に述べる中間ノードによって構成される。

● **中間ノード**

複数のエッジユーザからの生体情報を集約し、サーバに転送するノードである。また、4.3章で述べる多段接続プロトコルでは、中間ノード間で接続を行うことで無線ネットワーク資源を有効活用するようなエッジ構成を含む。中間ノードは、静止しているものとする。

● **サーバ**

中間ノードから受信した生体情報をもとに以下に述べるデジタルツインのモデルを形成し、それをAIなどを用いて詳細に解析するノードである。

● **デジタルツイン**

各エッジユーザの健康状態をリアルタイムに反映した仮想空間上の個人モデルを構築する。生体情報を解析し、体調に異常が見られるような見守り優先度の高いエッジユーザについては、デジタルツインの詳細度が高くなるように反映される。図1では、詳細度の高いエッジユーザほど、個人モデルのサイズが大きいこと表している。

デジタルツインにて作成された個人モデルから、医療専門家によるフィードバックが行われることで、個人モデルを修正したり、エッジユーザが自身の体調を把握したりすることが可能となる。

4 設計・実装

本システムは、3章で述べたシステムの各構成要素をソフトウェアエージェントとして実装する、マルチエージェントシステムとして構成する。エージェントは、エージェント間プロトコルに基づく協調動作を行うことで、エッジネットワークやシステムの動的構成を実現する。特にエッジネットワークの構成に関連するプロトコルとして、以下の3つを定義する。

4.1 グループ構成プロトコル

複数エッジユーザと中間ノード間で、1対多数のグループ構築を行う。これは、ヘルスマonitoringのサービスが開始されると同時に実行されるプロトコルである。図2に、このプロトコルのシーケンス図を示す。

4.2 グループ再構成プロトコル

エッジユーザの移動や、健康状態に異変が検知された際に、動的にグループを再構成する。ヘルスマonitoring対象者の体調変化や、エッジユーザと中間ノードの相対的な位置の変化、さらにネットワークリソースの変化の3つの変化に対応するために実行されるプロトコルである。

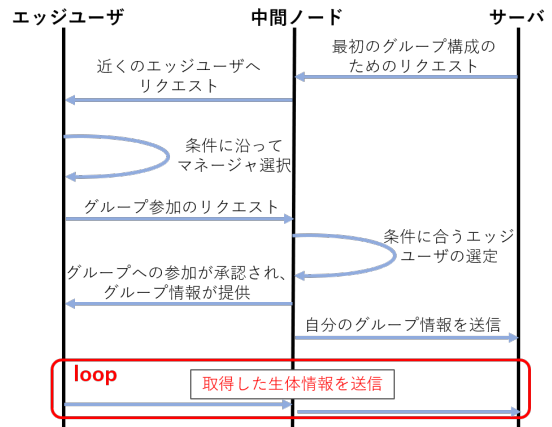


図2: グループ構成プロトコルのシーケンス図

4.3 多段接続プロトコル

無線ネットワークのリソースを有効利用することを考慮し、中間ノード間で接続を行うためのプロトコルである。これにより、見守り優先度の高いエッジユーザのリソースを十分に確保しつつ、優先度の低いユーザは、中間ノードの計算資源を利用することでモニタリングし、リソースの枯渇を防ぐことが可能になる。

5 実験

Scenargie シミュレータを用いる。物理層にて、IEEE802.11 や LTE モジュール等を利用し、アプリケーション層にて、ヘルスマonitoring用のアプリケーションを構築する。エッジユーザの移動は、文献 [2] を参考に、市民マラソンを想定した移動モデルを用いる。4章で述べた3プロトコルを利用してネットワークを更新し、マラソン実施中のエッジユーザの生体情報の取得状況と、リソース割り当ての適正に関して検討していく予定である。

6 おわりに

本研究では、提案システムの概要とシステムの構成要素であるエッジネットワークの基本設計について述べた。今後は、5章のような実験を行い、提案の有効性を検証していく予定である。

参考文献

[1] Ghoumid, K. et al.: Protocol wireless medical sensor networks in IoT for the efficiency of healthcare, *IEEE Internet of Things Journal*, Vol. 9, No. 13, pp. 10693–10704 (2021).
 [2] 小川 絢也ほか: 屋外イベントでの多数のユーザを対象としたヘルスマonitoringシステムのための動的ネットワーク構成法, 信学技報, Vol. 118, No. 207, pp. 77–82 (2018).
 [3] Yao, Z. et al.: Cooperative task offloading and service caching for digital twin edge networks: a graph attention multi-agent reinforcement learning approach, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications* (2023).