

令和3年度研究開発成果概要書

採択番号 00701

研究開発課題名 Beyond 5G を活用した安全かつ効率的なクラウドロボティクスの実現

(1) 研究開発の目的

多数の作業員と多数の搬送ロボットが協働する倉庫環境にて、搬送ロボットが作業員や他ロボットと衝突事故を起こさず、効率的にモノを搬送する。

(2) 研究開発期間

令和3年度から令和5年度(3年間)

(3) 受託者

日本電気株式会社<代表研究者>  
国立大学法人大阪大学

(4) 研究開発予算(契約額)

令和3年度から令和4年度までの総額540百万円(令和3年度203百万円)  
※百万円未満切り上げ

(5) 研究開発項目と担当

研究開発項目1 確率的時空間デジタルツイン構築の研究開発

研究開発項目1-a) 適応的3Dセンシング・転送技術(日本電気株式会社)

研究開発項目1-b) 脳のマルチモーダル処理に倣うオブジェクト認識(大阪大学)

研究開発項目2 確率的時空間デジタルツインを活用したロボット制御の研究開発

研究開発項目2-a) 確率的時空間デジタルツインに基づくエッジ/クラウド協調制御  
(大阪大学)

研究開発項目2-b) リスクセンシティブロボット制御(日本電気株式会社)

(6) 特許出願、外部発表等

		累計(件)	当該年度(件)
特許出願	国内出願	0	0
	外国出願	1	1
外部発表等	研究論文	0	0
	その他研究発表	3	3
	標準化提案・採択	0	0
	プレスリリース・報道	0	0
	展示会	0	0
	受賞・表彰	0	0

(7) 具体的な実施内容と成果

研究開発項目1 確率的時空間デジタルツイン構築の研究開発

研究開発項目1-a) 適応的3Dセンシング・転送技術

適応的3Dセンシングでは、搬送ロボットの搬送経路及びセンシングロボットのセンシング状態を入力として、死角による搬送ロボットの速度低下を抑えつつ、少数台のセンシングロボ

ットでセンシングするアルゴリズムを開発した。マルチエージェント型の深層強化学習を用いることで、3D センサを空間に敷き詰めた場合と比較し、データ転送量を 1/4 以下に削減できることをシミュレーションによって示した。適応的 3D 転送技術では、複数カメラで撮影された 3D データにおいて、視聴品質の劣化を抑えつつ 3D データ量を削減する方式を開発した。3D オブジェクトの形状に応じて 3D データの削減量を変化させることで、視聴品質の劣化を抑えつつ、データ転送量を 1/2 以下に削減できることを確認した。

#### 研究開発項目 1-b) 脳のマルチモーダル処理に倣うオブジェクト認識

人の脳のマルチモーダル処理に倣うオブジェクト認識手法の拡張を実施した。本年度は単一エッジにおけるオブジェクト認識手法を複数エッジ連携のオブジェクト認識手法へと拡張するために、複数カメラにおけるオブジェクト認識結果の統合を、条件付き確率場 (CPF) を取り入れたモデルで表現した。CPF を表す無向グラフ上でのエネルギー最小化が、異なる情報源からの認識結果の統合を実現できることを、計算機シミュレーションにより明らかにした。

### 研究開発項目2 確率的時空間デジタルツインを活用したロボット制御の研究開発

#### 研究開発項目2-a) 確率的時空間デジタルツインに基づくエッジ/クラウド協調制御

確率的時空間デジタルツインのアプリケーションとして、ロボットの周囲の移動する障害物位置の把握・予測を考え、方式の具体化を行った。本アプリケーションでは、ロボットが動作する環境下をセンシングしているセンサの情報を確率的時空間デジタルツインに反映し、将来の各地点の障害物の有無の予測に用いる。本年度では、本アプリケーションを対象に、エッジ/クラウド協調制御の方針を検討した。本方針では、クラウド側では確率的時空間デジタルツインの全体を管理し、エッジにおいては確率的時空間デジタルツインのうち必要な一部分を取得、更新を繰り返す。クラウドから取得した情報からの予測とは異なる障害物が観測された際にその情報をクラウドに通知することにより、通信を抑えつつ、時空間デジタルツインを更新、活用する。

#### 研究開発項目2-b) リスクセンシティブロボット制御

数理ファイナンスで活用されているリスクセンシティブ確率制御を搬送ロボットへ応用するための基本方式を開発した。まず搬送ロボットの制御および測位における確率的な外乱を含めた確率微分方程式モデルを構築した。次に、安全性のリスク(人やモノへの衝突リスク)と効率性のリスク(搬送に要する時間に関するリスク)の双方のリスクに敏感なコスト関数を構築した。そして、制御入力候補のなかから当該コスト関数を最小化する制御入力を選出することで、安全性と効率が両立した搬送ロボット制御を実現できることをシミュレーションにて確認した。また、実機での検証のため、搬送ロボットの手配を進めるとともに、実際の物流センターを借り入れ、現在工事などの準備を進めている。

### (8) 今後の研究開発計画

#### 研究開発項目 1 確率的時空間デジタルツイン構築の研究開発

##### 研究開発項目 1-a) 適応的 3D センシング・転送技術

適応的 3D センシングでは、マルチエージェント型のセンシングアルゴリズムを実機ロボットへ実装し、倉庫環境においてセンサデータ量を 1/2 以下にできることを示す。適応的 3D 転送技術では、3D データの削減部分を補完する技術を開発することで、視聴品質を維持しつつ、さらなる転送量の削減を図る。

#### 研究開発項目 1-b) 脳のマルチモーダル処理に倣うオブジェクト認識

2021 年度に提案した方式の試作実装を行い、サーバ装置にてその性能を計測する。さらに、研究開発項目 1-a と連携した小規模な実験を行い、2 台以上のエッジにおいてリアルタイム (100msec 以内) に確率的時空間デジタルツインを構築できることを示す。また、2023 年度実施予定の実証実験に向けて、ローカル 5G 設備を含めた実験環境の構築を行う。

#### 研究開発項目2 確率的時空間デジタルツインを活用したロボット制御の研究開発

##### 研究開発項目2-a) 確率的時空間デジタルツインに基づくエッジ/クラウド協調制御

確率的時空間デジタルツインに基づくエッジ/クラウド協調制御について、方式を確立し、シミュレーションによる机上検討を行う。そして、正確な状況把握をクラウド側で行うことを目指し、クラウドでセンサ情報を集約して、状況を予測し、全体に配信するような手法と比べ、ロボットの制御に必要な精度での状況の予測に必要な通信量を 80%削減することができることをシミュレーションにより示す。さらに、研究開発項目 2-b と連携し、計画するエッジ/クラウド協調制御を用いたロボット制御が動作することを示す。

##### 研究開発項目2-b) リスクセンシティブロボット制御

実機ロボットの確率微分方程式モデルを同定するとともに、2021年度に開発したリスクセンシティブ確率制御手法を実機に実装する。そして、実機の搬送ロボットを用い、実際の倉庫環境下に置いて、安全性を確保したまま従来AGV/AGF比で20%搬送効率を改善できることを実証する。