

先端科学技術研究科 修士論文要旨

所属研究室 (主指導教員)	ユビキタスコンピューティングシステム (安本 慶一 (教授))		
学籍番号	2411112	提出日	令和 8年 1月 19日
学生氏名	小坂 修平		
論文題目	ToFカメラを用いた俯瞰測定による超々小型衛星群の軽量な位置・姿勢推定		
要旨			
地球上のあらゆる場所でセルラー接続を提供するため、LEO(低軌道)衛星を利用した非地上系ネットワーク(NTN: Non-Terrestrial Networks)への需要が高まっている。地上デバイスと衛星間の直接通信を実現するため、1万機を超える超々小型衛星が高密度なフォーメーションフライト(以降FF)を行い、巨大なフェーズドアレイアンテナ以降PAA)を構築する新しい衛星通信が提案されている。このシステムでは、各衛星の位置・姿勢、そして地球表面に対してPAA全体の角度を高精度に推定する必要がある。一方で、1万機のノーマル衛星を低軌道でFFさせるという極めて過酷な環境は、搭載機器の電力、サイズ、コストに厳しい制約が課される。本研究では、制限されたリソース課題に対して、低電力Time-of-Flight(ToF)カメラを俯瞰位置に搭載した85機のアンカー衛星と、そのアンカー衛星によって位置・姿勢が測定されるノーマル衛星から構成されるアーキテクチャを提案する。これにより、最小限のセンサー数で低電力・低コストのFFの実現を目指す。さらに、高精度と低処理負荷の両立という課題に対して、軽量なテンプレートマッチング手法を提案する。この手法では、ノーマル衛星を表現した3次元テンプレートモデルと点群データを最適にフィッティングさせる。また、衛星の幾何学的・対称的な構造の活用やテンプレートモデルの点群数の削減を通して、高効率・高精度を実現する。地球表面に対するPAA全体の角度を推定では、各アンカー衛星を同じ座標系で表現する課題がある。そこで、アンカー衛星同士の相対位置推定の伝搬を通して座標系を共有を実施し、RANSACを用いたFFの平面近似を実施する。シミュレーション評価では、本研究が目標とする精度を達成し、平均位置誤差1 mm程度、平均姿勢誤差0.1°未満であることを示した。さらに、85機のアンカー衛星を用いたPAAの平面近似による角度推定では、RSME0.0159度を実現した。モック衛星等を用いたハードウェアを用いたテストでは、位置誤差8 mm未満を達成した。また、実際の飛行運用に実用的な消費電力で、Raspberry Pi 4上で約217機の衛星を約6.5秒で処理できることを確認した。			