

論文審査の結果の要旨

氏名 青木 英祐

本論文は、「モジュール型設計を考慮した手術支援システムに関する研究」と題し、6章からなる。

第1章は序論で、手術支援システムとして代表的な手術支援マニピュレータシステムと画像誘導手術支援システムを取り上げ、それぞれのシステムにおける低侵襲手術に対する貢献と将来性について述べている。手術支援システムが実際に手術室に導入された例が少ないことを指摘し、問題を解決するためには、モジュール型手術支援システムが重要であると述べている。従来のモジュール型手術支援システムの問題点を、手術支援マニピュレータシステムと画像誘導手術支援システムそれぞれにおいて議論している。

第2章は本論文の目的で、手術支援システムとして代表的なマスタ・スレーブマニピュレータシステム及び、ナビゲーションシステムを取り上げ、それぞれの手術支援システムのモジュール型設計及び評価を行い、また、その知見を通して、手術支援システムのモジュール型設計を行う上での基本方針を示すことを目的としている。

第3章では、既存の手術支援機器を組み合わせて実現するモジュール型マスタ・スレーブマニピュレータシステムの構築を行っている。システムの運用時の視点から、手術支援機器間の関連を洗い出し、それに基づいて位置決めロボットアーム、内視鏡マニピュレータ、スレーブマニピュレータを交換可能な構成機器モジュールとしている。

マスタ・スレーブマニピュレータシステムに求められるリアルタイム性を実現するために、リアルタイム性が十分保証されたシステム環境で構築し、サブシステム間を非同期で実現した。一方、非同期処理では、サブシステムの実行順序の整合性が崩れ、内視鏡座標に基づいた一貫した機能の実現が行えない問題に対して、再利用可能なインタフェースに基づく機能モジュール層、リアルタイム性を保証する通信モジュール層、マスタからの指令値を連続的に受信する一方で、サブシステム間の調停を行い、実行順序を保守する管理システムから構成されるシステムアーキテクチャを設計した。

マスタ・スレーブの操作性を中心とした評価実験により、各構成機器の交換前後での各人の操作性に違いは見られないことを示し、マスタ・スレーブ操作に求められる即応性、内視鏡座標系に基づいた一貫した操作の実現を示している。

第4章では、従来の再利用可能性を示した分散システムの提案だけでなく、位置と時間の統一性を考慮したモジュール型ナビゲーションシステムの設計について述べている。治療対象に対して多角的な情報を有効に利用するためのナビゲーションシステム概念

設計、実装を行い、実用的なシステムを実現するための仕様を臨床現場に近い環境下でシステム運用実験を行い、明らかにしている。高精度な時間の統一化、位置情報の安定性及び座標系の統合、手術支援システムの交換可能性が重要であることを示している。

通信遅延時間を考慮した時刻同期及びシステム毎の 3 次スプライン補間による各計測機器のサンプリング周期のずれを補正する情報統合により、高精度な時間の統一化を実現し、その結果、時間のずれは 4.8msec に抑えられている。

位置情報の安定性に関しては、2 台の光学式位置計測装置から構成される冗長性を持たせた位置計測システムを構築し解決している。

分散オブジェクト技術の位置透過性と構成する機器間の通信をすべて非同期とすることで、手術支援機器の交換可能性を実現している。術者保持型及び自動計測型 2 種類の術中計測機器を、それぞれを交換しながら座標系の統合における精度評価を行ったところ、自動計測型の交換前後での評価では、座標系統合の精度評価結果 2.7mm に対して、1 回目 2.9mm, 2 回目 2.5mm となり、システムの交換に対して、利用する環境、装置から妥当な結果が得られた。

第 5 章では、第 3 章及び第 4 章で実施した 2 種類の手術支援システムの設計と実装を通して得られた知見から、モジュール型手術支援システムの設計する上で従うべき基本方針を提案している。

モジュール型手術支援システムを設計する上で、適切なモジュールの大きさは、機構的要素、駆動ユニット及びその制御ソフトウェアが 1 つの実装された機能単位と述べている。また、このモジュールの大きさを前提条件とした構成機器のモジュール化指針として、システム運用時の視点から機能分割を行い、機能毎にモジュールを切り分けた後、モジュール間の関連の強さに応じて、モジュール化することが重要だと主張している。モジュール間の関連の強さを性能と機能に分け、実際の手術支援システムを例にモジュール化の方法を示している。

第 6 章は結論であり、本論文は、実際に 2 種類の手術支援システムの設計と実装で得られた知見から、モジュール型手術支援システムの設計指針を示した。

本研究により明確化した設計指針は、今後発展していくであろうモジュール型手術支援システム開発の設計指針の基礎となるものであり、手術支援システムの普及に大きく寄与するといえる。

よって本論文は博士(科学)の学位請求論文として認められる。