

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 25 日現在

機関番号：34506

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2013

課題番号：22500114

研究課題名(和文)高速・高精度な力覚提示機能を有した没入型VRシステムにおける設計支援環境の構築

研究課題名(英文)Construction of design support system with high-speed and high-accuracy force feedback in immersive virtual reality system

研究代表者

田村 祐一(Tamura, Yuichi)

甲南大学・知能情報学部・准教授

研究者番号：50311212

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円、(間接経費) 960,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、バーチャルリアリティの技術を利用して、直感的な設計支援システムを構築することである。具体的には、コンピュータグラフィックスで設計対象の物体を表示し、それらの干渉を高速かつ高精度で計算し、干渉量に対応した擬似的な力を提示可能なシステムを構築した。

また、物体同士の干渉だけでなく、同様の手法を空間内の電磁場分布の表現に適用するとともに、電磁場シミュレーションプログラムを開発した。電磁場のバーチャルな力表現の研究はほとんど行われてこなかったため、本研究では局所的な現象を観察するために力表現を利用した。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to construct an intuitive design support system using virtual reality. We constructed the design support system which displays objects by CG (computer graphics) and calculates the interference among these objects at high speed and high accuracy. Finally this system provides users pseudo force corresponding the amount of the interference.

We applied this system to not only the interference among objects, but also representation of electromagnetic field distribution. The method of representing electromagnetic field has not been researched, therefore we applied force representation to observe in local phenomena. Further, we developed numerical simulation code of electromagnetic field by Finite-difference time-domain method for the proposed system.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学 メディア情報学・データベース

キーワード：バーチャルリアリティ 没入型ディスプレイ 力覚提示 数値シミュレーション 設計支援 衝突判定

1. 研究開始当初の背景

近年、様々な産業分野で直感的な全体把握が容易な 3 次元 CAD の利用が一般的になってきた。一方で、直感的な設計方法が模索されており、CAVE に代表される没入型バーチャルリアリティ (VR) 装置を利用した設計の試みも様々な分野で行われはじめている。設計に VR システムを使う主たる目的は、2 次元で表示されているイメージを 3 次元空間に拡張し、より自然に物体形状を理解しようとするところにある。

しかし、高度な設計での VR の利用を考えた場合、3 次元で観察できるのみでは実用的でない。なぜなら、形状を観察するだけでは 3 次元 CAD を補完するだけにとどまり、あえて VR 技術を利用する理由が少ないからである。設計に VR を有効に利用するためには、直接 3 次元空間内で設計作業を行い、試作モデルを作成する環境を構築することや、空間的な部品の移動を模擬する必要がある組付行程を表現することなど、立体空間ならではの作業を模擬することが重要となってくる。前者の 3 次元空間内での設計に関しては、様々な研究が報告されているが、後者についてはほとんど報告がない。組付作業の一例として、例えば核融合研究では、大規模な装置を 10 年単位の年月をかけ建設していく。また、構築された装置に様々な装置を組付け、性能向上を行う研究もまた 10 年単位で行われる。このようなシステムでは、設計時に後に設置される装置を全て把握することは不可能であるため、組付シミュレーションが初期設計と同程度に重要となってくる。

そこで本研究課題では、核融合炉の建設のような大量生産でなく、さらには途中で設計変更も起こりうる大規模な装置における設計支援システムの構築を目的とする。

2. 研究の目的

(1) 力覚提示機能を有した組み付け工程支援システムの構築

そこで、本課題の目的は、バーチャルな物体同士の衝突を高速に計算し、リアルタイムで干渉計算を可能とする機能を有した高速・高精度な組付支援システムを構築し、さらに、力覚フィードバック機能を付加することにより、直感的なインターフェイスを構築することである。従来研究では、リアルタイムで接触・干渉を計算し、接触した状況をオブジェクトの色を変えることで、表現することまでは達成できていた。一方で、色表現だけでは、ディスプレイを見続ける必要があり、別の部分との関係に着目しながら干渉状態をシミュレーションできないという問題や、そもそもどの程度、物体同士が干渉しているかを直感的に判断することが難しかった。そこで、高速・高精度に提示する力情報をシミュレーションし、力覚デバイスを通じてユー

ザーが直感的に組み付け状態を把握可能なシステムの構築を目的とした。

(2) 電磁気解析を行いながら、設計を最適化可能なシステムの構築

本研究の目的の一つに、大規模な核融合実験装置への適用がある。実利用を考えた場合、組立工程を対象とした構造解析だけでなく、物体内部の電場・磁場の変化を見ながら設計を進めていく必要があることがわかってきた。そこで、力覚デバイスを用いて自由に形状を変化させることができ、かつ、形状に応じた電磁界解析がインタラクティブに行うことが可能なシステムの構築を目的とする。これにより、設計に携わる使用者からそもそもの構造の基礎検討を進める研究者に到るまで使用可能なシステムの構築を目的とした。

3. 研究の方法

(1) 組み付け工程における作業のバーチャルリアリティ空間での表現手法および高速・高精度な衝突・干渉エンジンの構築

衝突判定エンジンは、これまで、すでに様々な研究成果が発表されているが、モデルの形状に依存したばらつきが小さく、かつ比較的安定した結果が得られた Lin-Canny アルゴリズムを用いた SWIFT++ をベースにシステムを構築した。また力覚提示については、以下の成果の部分にも述べるが、力感覚提示にとって、提示速度の遅れは致命的な欠陥となり、使用者にとって触っているという感覚をそぐことになる一方、細かな精度がそれほど必要ではなかったため、計算時間が短い、単純なバネモデルとして提示することとした。

また、できるだけ使用者に簡単に使ってもらえるように、CAD データから用意にバーチャルリアリティ空間内に CG データを取り込めるインターフェイスの開発を行った。

(2) 電磁気解析への応用

核融合炉において電磁気解析は不可欠なものである。核融合反応は、いわば電磁場の網に絡みつくプラズマ粒子と衝突させることで実現させることであるため、できるだけ高密度・高速なプラズマ粒子を発生可能な電磁場を作っておく必要がある。本研究では、特に電磁場の伝送路に着目し、効率的にエネルギーを伝送可能な、つまり電磁波を効率的に伝送可能な装置の開発に組み付け工程のシステムを応用した。本研究を推進するにあたり、力覚提示装置での表現方法だけでなく、電磁波伝送状態をシミュレーションする必要があり、本研究では FDTD (時間領域差分法) を用いた数値シミュレーション環境の構築

を行った。

4. 研究成果

(1) ポリゴンベースの衝突・干渉判定エンジンの構築

ポリゴンベースの干渉判定エンジンと力覚シミュレーション対応システムの構築を進めた。衝突判定エンジンは、Lin-Cannyアルゴリズムを用いたSWIFT++をベースとしたものであり、非凸多面体の干渉深度計算が可能なアルゴリズムを加えたものである。力覚情報提示を行う場合、連続的にかつ高頻度(1kHz程度)に力覚レンダリングを行う必要があるため、提案アルゴリズムで既に計算されている物体同士の干渉関係を表す干渉深度を利用し、連続的に力覚レンダリングを可能とする干渉エンジンの構築を行った。

また、力覚提示方法としては、リアルタイム性が力覚提示情報の正確さよりも重要であるという意見が多かったため、本研究では単純なバネモデルを使用し、力覚提示を行った。

(2) ネットワーク接続された干渉・物理計算-可視化システムの構築

本研究で扱うモデルは、CAD データから変換したものである。上記に記載の通り、使用者が特別な操作を行うことなしに、本提案システムを利用するための変換インターフェイスを作成した。本インターフェイスではポリゴンの重複等の処理は行っているが、ポリゴンの削減等は行っていない。これは、実際の形状から乖離することを避けるためである。したがって、単純なバネモデルであっても、干渉処理・力覚提示のための物理計算の計算コストが高くなる。単一コンピュータで描画をしながら各計算を行うことは、描画スピードを遅くしてしまう可能性が高いため、同一コンピュータで計算を行うことは好ましくないという結論に達した。そこで、VR用コンピュータと干渉・物理計算用コンピュータをネットワーク接続するシステムを構築した。また、力覚提示装置を利用して、リアルタイムで干渉を判定し、その位置での力を表現できるシステムを実現するとともに、視覚情報は、100インチを超える大規模ディスプレイで立体表示し、情報提示した。

(3) 電磁場シミュレーションコードの整備

電磁波輸送現象解明のための数値シミュレーションコードの開発を行った。具体的にはFDTD法を用いたシミュレーションコードの開発を行った。結果、電磁波輸送経路上の伝搬について空間的・時間的な電磁場の数値計算を可能とした。ただ、コンピュータの計算速

度・メモリの制約から、せいぜい数十cmの長さでのシミュレーションにとどまっている。実際の伝送経路は数10mあるため、計算可能領域はあまりにも小さい。一方、実験結果によると、電磁波伝送損失が生じている部分は限られており、本シミュレーションコードで扱うことのできる領域のみで、電磁波の伝送がうまくいかない原因を説明できることがわかった。今後、詳細に実験データと整合性を取っていくかが課題である。

(4) 電磁場シミュレーションへの力覚表現の適用

電磁波シミュレーション結果を力覚表現するという試みはほとんど行われていないため、まずは、どのような情報を力覚情報で提示すべきかの基礎検討および基礎システムの構築を行った。力覚表現は直感的な情報を与えることができるが、視覚情報は一瞬で非常に多くの情報を同時に伝えることができるという利点がある。本研究の目的は設計支援環境を作ることなので、一度に多くの情報を伝えることが可能な視覚情報で、基本的な情報を提示し、視覚情報だけでは違いがわかりづらい細かな情報を“触覚の虫眼鏡”として力覚情報で提示することとし、本表現手法に適した可視化環境の構築を始めた。ただし、上記FDTD法は計算時間が非常に長く、条件を変えてリアルタイムで結果を調べるということは不可能なため、計算結果を力覚提示装置により、観察可能とした。

本研究では電子波のシミュレーションを対象にシステムを構築したが、今回開発した手法は他の“場を扱う”デジタルデータにも適用可能と考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 17件)

"Augmented Reality Aided Operation and Maintenance System for Indoor Environments" (Y. Tamura, T. Umetani and S. Kubo), Plasma and Fusion Research, 8 (2406102), pp. 1-4, 2013. (査読有)

"Construction of Three-Dimensional Feature Point Model for Virtual Assembly System using Visual ID Tags" (T. Unigame, T. Umetani and Y. Tamura), Plasma and Fusion Research, 8 (2406120), pp. 1-6, 2013. (査読有)
"Finite-Difference Time-Domain Simulation on Transmission of

Millimeter Waves through Miter Bends" (N. Kashima, H. Nakamura, A. Takayama, Y. Tamura and S. Kubo), Japanese Journal of Applied Physics, 52 (11ND02), pp. 1-4, 2013. (査読有)

"State Estimation of Wireless Mobile Client based on Sensor Data Fusion for Localization in Multistory Building" (T. Umetani, S. Yamane, T. Yamashita and Y. Tamura), システム制御情報学会論文誌, vol. 26, no. 12, pp. 448-455, 2013. (査読有)

"Location Estimation of Mobile Wireless LAN Client in Multistory Buildings using Strength of Received Signals in State Space Framework" (T. Umetani, S. Yamane, T. Yamashita and Y. Tamura), システム制御情報学会論文誌, 25 (11), pp. 316-322, 2012. (査読有)

"Localization system using Microsoft Kinect for indoor structures" (Y. Tamura, Y. Takabatake, N. Kashima and T. Umetani), Plasma and Fusion Research, 7 (2406036), pp. 1-4, 2012. (査読有)

"Localization of Wireless LAN Client in Multistory Building based on Layered Neural Network" (T. Umetani, T. Yamashita, Y. Tamura), International Journal of Innovative Computing, Information and Control, 8 (3(B)), pp. 2301-2312, 2012. (査読有)

"Molecular Dynamics Simulation of Hydrogen Injection onto Diamond Surfaces" (H. Nakamura, A. Ito, S. Saito, A. Takayama, Y. Tamura, N. Ohno and S. Kajita), Japanese Journal of Applied Physics, 50 (01AB04), pp. 1-4, 2011 (査読有)

"Bracelet-Shaped Thermal Display for Representing Numerical Data" (Y. Tamura, S. Fujiwara, T. Umetani and H. Nakamura), Journal of Electronic Materials, 40 (5), pp. 823-829, 2011. (査読有)

"Probabilistic Localization of Mobile Wireless LAN Client in Multistory Building Based on Sparse Bayesian Learning" (T. Umetani, T. Yamashita, and Y. Tamura), Journal of Robotics and Mechatronics, 23 (4), pp. 475-483, 2011. (査読有)

"Integrated Visualization of Simulation Results and Experimental Devices in Virtual-Reality Space" (H. Ohtani, A. Kageyama, Y. Tamura, S. Ishiguro and M. Shohji), Plasma and Fusion Research, 6 (2406027), pp. 1-4, 2011. (査読有)

"Molecular Dynamics Simulation of

Micellar Shape Change in Amphiphilic Solution" (S. Fujiwara, T. Itoh, M. Hashimoto, Y. Tamura, H. Nakamura and R. Horiuchi), Plasma and Fusion Research, 6, (2401040), pp. 1-4, 2011. (査読有)

"Design Support System with Haptic Feedback and Real-Time Interference Function" (Y. Tamura, K. Ukita, N. Mizuguchi and S. Fujiwara), Plasma and Fusion Research, 6 (2406061), pp. 1-5, 2011. (査読有)

"Automated Pose Estimation of Objects Using Multiple ID Devices for Handling and Maintenance Task in Nuclear Fusion Reactor" (T. Umetani, J. Morioka, K. Inoue, T. Arai, Y. Mae and Y. Tamura), Plasma and Fusion Research, 6 (2406079), pp. 1-4, 2011. (査読有)

"Smoothing Method for Shape Measurement by using a Low-Cost 3D Scanner" (H. Maruo, A. Saitoh, T. Ishibashi and Y. Tamura), Plasma and Fusion Research, 6 (2406112), pp. 1-4, 2011. (査読有)

"Dissipative Particle Dynamics Simulation of Phase Behavior in Bolaamphiphilic Solution" (R. Shirasaki, Y. Yoshikai, H. Qian, S. Fujiwara, Y. Tamura and H. Nakamura), Plasma and Fusion Research, 6 (2401116), pp. 1-4, 2011. (査読有)

"Scientific Visualization of Plasma Simulation Results and Device Data in Virtual-Reality Space" (H. Ohtani, Y. Tamura, A. Kageyama and S. Ishiguro), IEEE Transactions on Plasma Science, 39 (11), pp. 2472-2473, 2011. (査読有)

[学会発表](計 10件)

"Shape transition of micelles in amphiphilic solution: A molecular dynamics study" (S. Fujiwara, M. Hashimoto, T. Itoh, H. Nakamura and Y. Tamura), Proc. 24th IUPAP Conference on Computational Physics, Journal of Physics: Conference Series 454 (012024), pp. 1-4, Kobe, Japan, Oct. 2013.

"Optimization of a corrugated millimeter-wave waveguide and a miter bend by FDTD simulation" (H. Nakamura, N. Kashima, A. Takayama, K. Sawada, Y. Tamura, S. Fujiwara and S. Kubo), Proc. International Conference on Mathematical Modelling in Physical Sciences, Journal of Physics: Conference Series 410 (012046), pp. 1-4, Budapest, Hungary, Sep. 2013.

"FDTD simulation of millimeter-wave

corrugated waveguides with cylindrical symmetry model" (Y. Tamura, H. Nakamura, T. Okamura, N. Kashima, S. Fujiwara and S. Kubo), Proc. International Conference on Mathematical Modelling in Physical Sciences, Journal of Physics: Conference Series 410 (012029), pp. 1-4, Budapest, Hungary, Sep. 2013.

"State Estimation of Mobile Client based on Sensor Data Fusion for Localization in Multistory Buildings" (T. Umetani, S. Yamane and Y. Tamura), Proc. 44th ISCIE International Symposium on Stochastic Systems Theory and Its Applications, pp. 61-66, Tokyo, Japan, Nov. 2013.

"Mobile Client Localization using Data Fusion of Wireless LAN Signals and Three-Dimensional Camera Image Sequences" (T. Umetani, S. Yamane and Y. Tamura), Proc. 9th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence, pp. 240-245, Daejeon, Korea, Nov. 2012.

"Localization of Wireless LAN Client in Multistory Buildings using Strength of Received Signals in State Space Framework" (T. Umetani, S. Yamane, T. Yamashita and Y. Tamura), Proc. 43rd ISCIE International Symposium on Stochastic Systems Theory and Its Applications, pp. 159-164, Shiga, Japan, Oct. 2012.

"Plasma Physics and Fusion Science by Virtual-Reality System" (H. Ohtani, Y. Suzuki, A. Kageyama, R. Kanno, S. Ishiguro, M. Shoji, and Y. Tamura), Proc. International Conference on Simulation Technology, pp. 394-397, Kobe, Japan, Sep. 2012.

"Localization with Microsoft Kinect using Natural Features and Depth Data" (Y. Takabatake, Y. Tamura, N. Kashima and T. Umetani), Proc. 21st International Conference on Artificial Reality and Telexistence, p. 142, Osaka, Japan, Dec. 2011.

"Data Acquisition for Stochastic Localization of Wireless Mobile Client in Multistory Building" (T. Umetani, T. Yamashita, Y. Tamura), Proc. 28th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, pp. 1364-1369, Seoul, Korea, Jun. 2011.

"Localization of Mobile Client in Multistory Building using Public Wireless LAN System" (T. Umetani, T. Yamashita and Y. Tamura), Proc. 42nd ISCIE International Symposium on Stochastic Systems Theory and Its Application, pp. 6-12, Okayama, Japan, Nov. 2011.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者 田村 祐一
(TAMURA, Yuichi)
甲南大学・知能情報学部・准教授

研究者番号：50311212

(2)研究分担者 中村 浩章
(NAKAMURA, Hiroaki)
核融合科学研究所・ヘリカル研究部・教授
研究者番号：30311210

研究分担者 梅谷 智弘
(UMETANI, Tomohiro)
甲南大学・知能情報学部・准教授
研究者番号：10397630

(3)連携研究者
()

研究者番号：