

氏 名 田 村 祐 一

学位（専攻分野） 博士(工学)

学 位 記 番 号 総研大乙第106号

学位授与の日付 平成14年9月30日

学位授与の要件 学位規則第4条第2項該当

学 位 論 文 題 目 Development of Virtual Reality Environment for Large Scale
Numerical Simulation

論 文 審 査 委 員 主 査 教授 岡本 正雄
教授 小森 彰夫
教授 林 隆也
教授 英保 茂（京都大学）
助教授 石田 亨（岐阜県立情報科学芸術大学院大学）
センター 佐藤 哲也（地球シミュレータセンター）
長

論文内容の要旨

Virtual reality system (VR) now becomes widely used in various fields now, and the way of easy usage has been explored. One of the most effective usages of the VR is to use for scientific representation, especially for large-scale numerical simulation because of its complexity in education. But the original functions of VR are not suitable for scientific representation, so the purpose of this study is to develop a viable VR system that can easily represent numerical simulation data in terms of 3D images, and to demonstrate the viability and practicability for comprehension of complex evolution of physical phenomena. In this study, I used an immersive projection technology (IPT) display called the CompleXcope system, which is similar to the CAVE system.

This type of system enables users to immerse 3D object deeply and observe 3D object precisely. The Following are the results I obtained in this study.

1. Utilization of Sound Information for VR system

3D sound system technology has been developed for many purposes, but has not been amply applied to scientific representation. Moreover, scientific representation in the IPT display has never been accomplished. Auditory sense is more sensitive than visual sense, so it is effective for scientific representation, especially, for large-scale data representation, because of the enormous output data and many parameters, which need to be observed. The difficulty of introducing 3D sound system to the IPT display lies in sound source localized in any point in the VR space. Accordingly, I introduced 3D sound space processors to make 3D sound space and connected this system to the CompleXcope VR system by the inter process communication. This system is applied to the Large Helical Device (LHD) in NIFS and the molecular dynamics simulation result.

The former auralized a behavior of a plasma particle and enabled to recognize where and how a plasma particle moves, and the latter enabled to recognize global behavior, watching local behavior of molecules. Since auditory display research has just started, there is no rule to auralize scientific information, but considering characteristics of sound, this technology will employed effectively and widely in scientific field, in future.

2. Volume visualization

I proposed layered texture method for volume visualization. Volume visualization is the popular method to visualize scalar data, especially, the isosurface method is used in various field. But, in order to comprehend complex phenomena, it is necessary to observe both inside and outside values of represented models at the same time. Volume rendering, corresponding to ray casting method, is a promising

method to visualize both inside and outside data at the same time. This method is effective to visualize 3D complex objects, but is too heavy to make 3D objects in real time. Making 3D objects in real time is an indispensable function in the CompleXcope. The stereo images, which are projected to screens, need to be changed in real time in the CompleXcope, because the observer moves continuously and the eye position changes. To solve this problem, I proposed a method of layered texture method. Instead of tracing ray path and integrating translucent rate, the translucent images are assigned parallel in front of the observer in this method. But in this method, we cannot see stereo image from any direction, because the visualized object is 2D images after all. To compensate this defect, 6 groups, which consists of the translucent images and assigned vertically, are stored in memories in the computer and the most suitable group is represented in response to the direction of observer's eye. By using this method, the process time reduced one tenth smaller than ray casting method. This method enables to achieve 3D volume visualization like the IPT display and makes researchers see both inside and outside data at the same time.

3. Verbal Interface to Control Virtual Environment

The interfaces to communicate with VR space and objects have been one of the biggest subjects in the VR research. Generally in VR space, observers cannot use own hands freely and point VR objects intuitively, since they use an input device, which consist of a few buttons and a joystick. One solution is to control VR objects and environment by voice input. By using this technology, we can control VR objects without hands and intuitively. In order to achieve this, speech recognition system JULIUS was installed and connected to VR system: CompleXcope by socket communication. But this software is originally for continuous speech recognition program and quiet environment. To compensate these defects, I optimized speech recognition parameters and introduced the weighted function for improving the rate of correct recognition of sentences. Generally in speech recognition system, acoustic model is more dominant than language model. By weighting word model, the influence of acoustic model is reduced. As the result of this, the rate became over 90%.

4. Collaboration with Any Other Site

The disadvantage of large-scale VR system is the difficulty in sharing represented information among remote users. Represented data in the VR system is very effective to observe complex phenomena or structure, but this data cannot be shared, since this VR system is not portable. The solution against this problem is to connect with any site by high-speed network and shares the VR objects, the interaction information and other important information of each site. I proposed

the procedure of connecting each VR system, which is located in remote site. I denoted the method for connecting between computers and for management of information using socket communication (server-client model) and inter process communication. In the network configuration in this thesis, bottleneck network speed between remote sites is 1.5Mbps, whose speed can be achieved in most institutes. In this condition, the speed of processing command communication is 21.9 Hz in the worst case. This speed is fast enough not to feel the delay by network communication. So this software can fulfill its function and is very useful to communicate among remote sites.

論文の審査結果の要旨

計算機による大規模シミュレーション研究は、21世紀の科学の新しい分野を切り開くための機軸的方法論として、その飛躍的発展が大いに期待される。計算機の目覚ましい進展は大規模シミュレーション研究を力強く支援するが、科学の新分野開拓をシミュレーション研究が先導していくためには、大規模シミュレーション研究のために必要なシステムを自らの手で作り上げていく必要がある。なかでも、人間と計算機が一体となって結びついたシステムを構築し、人間の想像力の及ぶ範囲を計算機の助けを借りてはるかに押し広げることのできるような、新しい技術を開発することが重要である。

このような背景のもとに、田村氏は、大規模シミュレーション結果の表現法に関する先端的な技術を開拓する役割を果たしてきた。なかでも、核融合科学研究所に導入したばかりの先進的可視化装置であるヴァーチャルリアリティ(VR)表示装置(CompleXcope)を土台として、人間と計算機間の高速な情報交換の手段である可視化技術の開発に取り組んだ。これは、VR表示装置がサイエンスの表示用として大きな可能性を持っていることに着眼したものである。田村氏は特に、大規模シミュレーション研究を推し進めるに真に有効な表現装置へと発展させるのにはどのような機能が今後重要となるか、可視化技術研究の方向性を検討するところから本研究に着手した。

その結果、(1)音による表現手法、(2)ボリュームビジュアライゼーションの低負荷化、(3)直感的な入力インターフェイス、(4)遠隔地との仮想現実空間の接続の4つの方向性の開発が重要であると認識した。さらに田村氏はこれらの課題の具体化に取り組み、必要な技術の結合と新しいソフトウェアの開発によって構想した機能の実現をおこなった。これらを通じて、CompleXcopeを先導的な表現装置へと発展させることに大きな貢献をした。

より具体的には、(1)音による新しい表現手法を開発し、3次元音響装置を仮想現実システムと接続することによって仮想現実空間の任意の位置に音を定位可能なシステムを構築し、LHD(大型ヘリカル装置)プラズマの粒子軌道や分子鎖のMDシミュレーション結果の表現に適用した。人間は音に対して鋭敏な識別能力を持っており、映像情報のみならず、映像に連動した音響情報を通じて人間が計算機と情報交換をおこなう仕組みを実現することによって、表示装置としての機能に大きな可能性を提示した。(2)取り扱うデータ量の大きさのためにこれまでリアルタイムでの処理が難しかったボリュームレンダリング手法に対し、独自の発想に基づく擬似的なボリュームレンダリング手法を提案した。この手法を用いることにより、従来手法に比べて飛躍的に高速な表示計算処理が可能となった。大容量データ表示の実用として、球形トカマクの圧力や磁場の内部構造のダイナミクスを様々な角度から観測することが出来た。(3)従来の入力装置では難しかった直感的入力が可能な音声による仮想現実空間への指示システムを構築した。不特定多数話者による指示を認識するために、認識過程の最適化を行ない、認識精度を90%以上に向上させることを可能とし、誤認識をさける機能を設けることにより、これまで頻繁に起こっていた“助詞”による誤認識発生をなくした。(4)遠隔地間で仮想現実装置を接続し、シミュレーション結果を共有可能なシステムを構築した。比較的低速な通信環境下で、実用レベルの負荷の大きな描画の場合であっても、通信速度がボトルネックになることなく遠隔地操作ができることを実証し、今後仮想現実ネットワークによる対話システムの構築が十分実現可能であることを示した。

以上の研究成果は、VR表示装置に新しい表現能力と対話的操作機能を実現しており、

VR表示装置がサイエンスを目的とする表示装置として今後大きく発展する端緒を切り開くものである。特に、シミュレーション結果の膨大な数値データの中から興味深い物理過程を人間が直感的に取捨選択し、新たな発見へと導くプロセスを強力に手助けする道具としてVR表示装置が大きな潜在能力を有することを具体的に実証するものである。これらの内容は学位授与にふさわしい学術的価値を有すると判断する。