

氏 名 (本 籍)	箕 浦 弘 人 (岐阜県)
学 位 の 種 類	博 士 (工学)
学 位 記 号 番 号	甲第 114 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 11 年 9 月 8 日
専 攻	電子情報システム工学専攻
学 位 論 文 題 目	実空間と仮想空間とのリアルタイム融合に関する研究 (Study on Real-time Merging of Real and Virtual Spaces)
学位論文審査委員	(主査) 教 授 小 鹿 丈 夫 (副査) 教 授 山 本 和 彦 教 授 河 瀬 順 洋 (副査) 講 師 木 島 竜 吾

論文内容の要旨

現在、Virtual Reality(VR)に関する研究の一分野である Mixed Reality(MR)は、仮想空間と実空間とを高度に融合し提示することをテーマとしており、多くの研究がなされている。特に、人間の外部情報の取得において最も比重が高い視覚的融合には、多くの取り組みがなされている。

視覚的融合には、空間的整合・時間的整合などの問題がある。その中でも最も基本的な整合問題である空間(位置)的整合は、実空間と仮想空間の座標変換の精度を求めるものであり、既に幾つか研究が行われている。

一方、物体の相互の位置関係に関する手がかりとして、立体視による距離感と共に隠蔽関係の表現は非常に重要であり、隠蔽関係の表現するために様々なシステム構成が出現しつつある。

本論文では、まずそれらのシステムが用いている隠蔽関係の表現の実現方法を「単合成」、「ピクセル合成」、及び「レイヤー合成」として分類しまとめることによって、現在の合成システムの特徴と改良点を考察した。

実空間と仮想空間の融合の際、すべての状況下で正確な隠蔽関係の表現をするにはピクセル合成が必要である。しかし、対象空間に比べて物体の大きさが無視できるくらい小さいときや物体が少ないときは、レイヤー合成でも十分な隠蔽関係の表現力がある。さらに、現在広く用いられており、かつ解像度の点で有利なクロマキー合成装置を利用できるため、レイヤー合成システムを実現することは意義がある。

しかし、一般のバーチャルスタジオにおける映像(書割映像)のレイヤー合成システムでは、書割の数だけ層が必要であり、さらに連続的な仮想物体に実物体が囲まれた場面は表現できないという欠点がある。そこで本論文では、この欠点を緩和することによって、レイヤー合成システムの隠蔽関係の表現力を増す方法を提案する。

本論文で提案する手法の有効性の検証には、岐阜大学バーチャルシステム・ラボラトリーに設置されている双眼クロマキー合成装置を使用した。この装置は各眼クロマキー面を2面持っているので、3層のレイヤー合成システムである。従って、本実験は3層で行った。

この3層のレイヤー合成では、仮想空間に実空間を入れ込むことができる。まず、カメラ映像(ここでは人物とする)、前景用CGと後景用CGを用意する。前・後景用CGは、一つのCG空間を人物の位置でカメラに対して前側と後側に切り分けて生成される。したがって、対象空間は(1)前景用CG、(2)カメラ映像、(3)後景用CGの3層に分割される。

そこで、まず人物と後景を合成し、次にその合成映像と前景を合成することによって、二つのCG空間の間に人物を合成する。これらの処理は両眼用に2系統の映像を用いて行われるため、立体視可能な

ステレオ映像となる。遮蔽関係は前景・実写・後景であるが、立体視をすることにより、三次元の空間同士を融合しているような効果が得られる。

ここで重要なのは、仮想空間の CG を切り分けるクリッププレーンの決定方法である。本論文では、カメラ視線に対して垂直に決定するだけでなく、任意の角度に決定することによって、少ない層でより複雑な隠蔽関係の表現を実現した。

また、実空間と仮想空間の座標系の整合をとるためのキャリブレーションは非常に煩雑な作業であるので、これを画像処理によって自動化した。このとき、キャリブレーションの必須測定点(6点)から剰余測定点を推測することによって、より多くの測定点を検出し、キャリブレーション精度の向上を図った。

本論文では、提案方法の有効性の検証実験として、(a)必要な層の数を削減の例と、(b)連続した仮想物体との合成例を挙げた。

実験(a)では、バーチャルスタジオに提案方法を応用した。登場人物が二人の場合では、垂直にクリッププレーンを決定した場合 5 層必要であるが、本提案方法では 3 層で実現できた。

実験(b)では、仮想物体の PC ケース内部に実物体の部品を取り付ける作業の教示システムに応用した。PC ケースは部品に対して周りを連続的に囲む仮想物体である。これまでのレイヤー合成では、隠蔽関係の整合を保つためには移動範囲が限られていたが、提案方法によって、部品が PC ケースの内部を自由に移動することができるようになった。

これら一連の研究により、現在のレイヤー合成システムの隠蔽関係の表現力を増すことができた。この成果は、表現力の向上だけでなくシステム運用のコスト削減につながるため、産業・医療・アミューズメントなどの分野で Mixed Reality の技術の応用を促進するものであると考えられる。

論文審査結果の要旨

本論文では、Virtual Reality の基礎技術である、実空間と仮想空間の視覚的融合方法（以下視覚的融合を合成と呼ぶ）の改良について論じている。まず、現在の合成方法を整理することによって問題点を明らかにし、次に、その問題点を解決する方法を提案している。そして、既存の双眼三画面クロマキー合成装置を用いて本提案方法を実現し、その応用例を挙げることによって提案方法の有効性を示している。

1) 現在の合成システムの分類と特徴

既存の合成システムを、奥行き情報の保有方法により「単合成」、「ピクセル合成」、及び「レイヤー合成」に分類し、特徴を述べている。この分類により合成システムの整理をすることができ、改良箇所を見つけだす手がかりとなっている。この結果、現在の技術ではレイヤー合成システムを改良することが妥当であることを導き出している。

2) レイヤー合成システムの基本原理と表現力の比較

レイヤー合成システムを改良するにあたり、まずレイヤー合成の基本原理を明確にしている。その結果、レイヤー合成の表現力は層の決定方法によることが明らかとなった。次に、層の表現力の違いを「層の分割数」、「層の向き」、「動的・静的」、及び「単眼視・立体視」の面から比較している。この比較の結果、既存のレイヤー合成システムは「垂直」、「静的」、及び「単眼視」であることが分かり、「斜面」、「動的」、及び「立体視」を新たに取り入れることによって改良できることを見だし、その改良方法を提案している。そしてこの改良により、「必要な層の削減」、「連続した物体の合成」、「移動範囲の拡大」、及び「視覚的三次元合成」の効果が非常に大きいことを指摘している。

3) 提案方法の実現

本実験では、岐阜大学バーチャルシステム・ラボラトリーにある双眼三画面クロマキー合成装置を用いてシステムを構築し、提案する改良方法を実現することに成功している。また、提案方法の実現のためには、層を分割するクリッププレーンの決定方法が重要であり、(1)体積を無視できる1つの実物体、(2)体積を無視できない1つの実物体、及び(3)体積を無視できる2つの実物体の場合について、クリッププレーンの決定方法を提案している。さらに、このためのシステムを具体的に構築すると共に、実空間と仮想空間のキャリブレーションの自動化・高精度化を行っている。

4) 提案方法の応用例

本提案方法の有効性を示す応用例として、(a)バーチャルスタジオ、(b)卓上手作業空間を実現している。応用例(a)では、岐阜大学バーチャルシステム・ラボラトリーのバーチャルスタジオを利用して、既存のシステムと比較して必要な層が5層から3層に削減されていること、実物体の移動範囲が広がっていることを示している。応用例(b)では、ビデオシースルー型HMDを用いたシステムを構築し、層を跨いでいる仮想物体を合成できることを示している。

これらを纏めると、合成システムの特徴を明確にし、合成システムの改良方法を提案すると共に、実際のシステムを用いてその有効性を示している。その結果として、現在広く用いられている合成システムの表現力を向上させることに成功している。

本研究は、合成方法の特徴の明確化など学術的な成果だけでなく、産業・医療・アミューズメントなど多くの分野において、Virtual Reality 技術の応用範囲を広げる効果があると考えられる。

最終試験結果の要旨

公聴会後に、学位論文に関する口頭質問を行い、これを最終試験に代え、合格と判定した。