

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	自動視差調整機能を持つステレオカメラシステムの開発
Title(English)	
著者(和文)	王 磊
Author(English)	Lei Wang
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10233号, 授与年月日:2016年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:佐藤 誠,長橋 宏,小池 康晴,山口 雅浩,長谷川 晶一
Citation(English)	Degree:., Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10233号, Conferred date:2016/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	要約
Type(English)	Outline

東京工業大学

博士論文

自動視差調整機能を持つ
ステレオカメラシステムの開発

指導教員 佐藤 誠 教授

提出者

東京工業大学 物理情報システム専攻

王 磊

平成28年2月

自動視差調整機能を持つ ステレオカメラシステムの開発

近年、立体映像や3Dなどの言葉を耳にすることが増えており、次世代のメディアとしてステレオ技術の開発が急速に進められている。特に、2009年ジェームズ・キャメロン監督の3D作品「AVATAR」が世界的に大ヒットしたことにより、3D映画が世界中で盛んに作られはじめた。

3D撮影では、単に左右両眼用カメラを並べればよいというわけではなく、両カメラの位置・姿勢を精密に設置することが非常に重要である。従来の手動調整作業は非常に難しく、時間もかかるため、3D撮影技術のボトルネックであった。我々は自動キャリブレーションのできる3D撮影システムを開発し、カメラの光軸アライメント調整作業を自動化することができた。

しかし、奥行き感を知覚する上で最も重要な役割を担っている視差情報を決定する基線長（カメラ光軸の間隔）、輻輳角（カメラ光軸のなす角）及び画角の相互関係に関する理論解析が非常に複雑で、理想的な奥行き感を表現するための視差調整が新たな難題になった。適切な視差調整は快適な3D体験を提供できるが、不適切な調整は眼精疲労、頭痛などの不快感を引き起こすことの原因になっている。事実、3D撮影現場では、ステレオグラファーという3D専門家が構図、画角、カメラの位置など様々な要素に配慮しながら、基線長と輻輳角を調整することで視差調整を行うが、カメラの移動や画角の変化などパラメータが動的に変化しているときは、調整作業がさらに複雑で困難になる。従って、3D作品の品質を保証し、調整作業の負荷を減らすために、基線長や輻輳角などのパラメータ設定作業の簡略化が期待されている。

本研究では、視差情報、基線長、輻輳角及び画角の相互関係を明らかにし、カメラの基線長と輻輳角を自動調整することで、ステレオグラファーに負荷がかからず、指定した奥行き感を実現する自動視差調整手法を提案した。まず、画面上の視差範囲を考慮し、全画面の視差を指定した範囲に抑える視差範囲調整手法を提案した。そして、被写体の知覚形状を考慮し、3D空間の中の被写体の知覚的な歪みを抑え、自然な立体感を表現する被写体知覚形状調整手法を提案した。さらに、提案した手法を用いて、自動視差調整機能を持つステレオカメラシステムを開発し、評価実験を行うことで、定量的に提案手法の有効性を示し、実際の撮影現場でテスト撮影を行い、定性的にも提案手法の有効性を評価した。

内容要約

研究背景

ステレオ映像は、長期に渡って次世代の映像情報メディアの一つとして世界から注目され、近年急速に普及しつつある。特に2009年アメリカの監督ジェームズ・キャメロンの3D映画作品「AVATAR」が世界的に大ヒットすることにより、2010年から「第三の波」と呼ばれる3Dブームが起きた。

3D立体映像の発展

3D立体映像は、正式には両眼立体映像と呼ばれる。その概念は英国の物理学者チャールズ・ホイットストンが1833年に提出した。3Dの発展の長い歴史の中では、周期的にブームが訪れるという特徴があると指摘されている。今まで1950年代と1980年代に2回の3D映画ブームが起きた。だが、当時のディスプレイ開発やコンテンツ制作に関する技術が未熟で、作品の内容も品質も悪いものが多かったため、すぐに観客に飽きられ、短時間でブームが終わった。これに対して近年では、デジタルシネマシステムを劇場に導入し、3Dディスプレイなどの関連技術も以前より成熟した。さらに、2000年以降に製作された3D映画は興行収入を伸ばしており、ハリウッドを中心として、3Dコンテンツは継続的に製作公開されている。2009年公開された「AVATAR」は、世界興行収入において約28億ドルという史上最高記録を打ち立て、3Dにおける歴史上最大の波が始まる重大な契機になった。2010年からは、さらに多くの3D映画が製作され、その立体映画の上映可能な映画館も加速的に増えてきた。重要なセットメーカー各社は、3Dに対応したカメラテレビ、ゲーム、パソコンなどの民生機器を発表、発売し、業務、民生用を問わず各種関連製品が市場に投入されつつある。また、3D番組の放送も世界で積極的に展開された。

しかし、3Dコンテンツへの関心は高まってはいるが、3D製作が従来の2D製作に比べて非常に難しく、コストもかかるため、高品質な3Dコンテンツは多くない。この問題が3Dの普及に大きな影響を与え、良質なコンテンツを安定して供給することができず、今回の3Dブームも2012年以降はやや停滞気味になりつつある。

3D映像製作の難題

一般的な3D撮影では左右両眼用二つのカメラを使用することがよく知られている。撮影中、単に左右両眼用カメラを並べればよいというわけではなく、両カメラの設定（フレームレート、画角、シャッター時間）を完全に一致させることが必要である。また、カメラの位置・姿勢を精密に設置することも非常に重要である。

カメラの位置調整は二つのプロセスに分けられている。一つは光軸アライメントと呼ばれ、それは、二つのカメラの光軸を常に一つの水平面に維持することを意味する。もう一つは、視差調整と呼ばれ、それは、左右カメラの間隔と輻輳角を適切に設置し、理想的な奥行き感を調整することを意味する。現在の一般的な3D撮影では、3Dカメラ撮影雲台を利用し、手動で各カメラの位置調整を行う。我々は自動キャリブレーションのできる3D撮影システムを開発し、光軸アライメント調整作業を自動化にすることができた。しかし、高品質な3Dコンテンツを作成するための視差調整はまだ難しく、3D製作の難題になった。

視差調整は3D撮影の中で非常に重要な作業であり、適切な視差調整は快適な3D体験を提供することができるが、不適切な調整が間違った奥行き感を観客に与え、眼精疲労、頭痛、映像酔い等の悪影響を及ぼす可能性がある。視差情報はカメラの位置、レンズパラメータ、被写体の位置などとの相互関係が複雑で、実際の3D撮影現場では、ステレオグラファーという専門技術者がこの役割を担っている。彼らは想定する撮影・鑑賞条件、現場の3D画像、視差分佈、プリプロダクションで用意した奥行きスクリプトなど様々な要素を考慮しながら手動で適切なカメラ位置の調整を行う。この作業の負荷は大きく、調整時間もかかる。特に3Dライブ放送においては、全てのパラメータが動的に変化することにより、この作業は更に困難なものになる。彼らは自身の経験から安全範囲等を考慮し適切な視差調節を行うわけだが、これは、多くの場合個人差が含まれ、3Dコンテンツの品質に大きく影響を与えた。特に経験が浅いステレオグラファーの場合、3D効果を強調するために安全範囲を超えてしまったり、逆に安全を意識するあまり立体感の少ない映像になってしまうことも多い。従って、3D作品の品質を保証し、撮影時間を短縮するためには、より容易かつ精確な視差調整手法の需要が高まっている。

研究目的

これまでの視差調整方法では、被写体の距離情報またはそれに関連する情報が必要であり、実用が難しいため、我々の知る限り市販の3D撮影装置にはまだ実装されていない。

そこで本研究では、まず、視差情報、基線長、輻輳角及び画角の相互関係を明らかにした。

また、画像処理を用いて画面上の視差情報を分析し、設計した奥行き感を実現する基線長と輻輳角の自動制御手法を設計し、以下二つの視差調整手法を提案した。一つ目は3Dボリューム感を考慮し、画面上視差分布の範囲をコントロールする視差範囲調整手法であり、二つ目は3D形状ディストーション問題を考慮し、被写体の知覚形状を自然に表すための被写体知覚形状調整手法である。

さらに、提案した視差調整手法を先行研究の自動光軸アライメント機能と統合し、自動視差調整手法をもつステレオカメラシステムを開発した。

最後に、評価実験を行い、本提案の有効性を実証し、その有意性を示した。

本論文の構成

本論文の構成は以下の通りである。

第2章「3D撮影技術」では、本研究の関連技術として、3Dの原理、名詞定義と3D撮影の関連技術を紹介している。3D撮影における左右カメラの相対位置制限を述べ、先行研究の自動光軸アライメント手法を説明している。また、視差調整過程を説明し、本研究の着目点を明らかにしている。

第3章「3D撮影における幾何関係」では、視差調整を自動化するために画面上の視差情報と撮影環境における要素及び表示環境における要素の幾何関係を明らかにしている。撮影空間と表示空間を数学モデル化し、幾何計算により、視差と撮影環境及び表示環境におけるパラメータの理論関係式をまとめている。また、シミュレーションを行い、各パラメータの変化による知覚する空間の変化を示している。

第4章「視差範囲調整手法」では、3D映像のボリューム感を調整する視差範囲調整手法を提案している。まず、第3章でまとめた理論式を分析し、基線長と輻輳角の視差調整理論をまとめている。次に、全体のボリューム感または視差安全範囲を重視するシーン向けの全画面視差範囲調整手法と注意を引く被写体があるシーン向けの被写体知覚距離を考慮した視差範囲調整手法を提案している。まとめた調整理論に従い、画面上の視差情報を利用し、事前に指定した視差調整目標を達成する基線長と輻輳角の計算式と制御ブロック図を示している。さらに、シミュレーション実験を行い、自動的に3D映像のボリューム感を調整できることを確認している。

第5章「被写体知覚形状調整手法」では、3D映像における被写体の知覚ディストーション問題を解決する被写体知覚形状調整手法を提案している。この手法を用いて、観察者に被写体と同じ自然な形状を知覚させることを調整目

標としている。まず、被写体の奥行き幅比を定義し、第3章の理論式から奥行き幅比と基線長の関係式を示している。次に、指定した視差と奥行き幅比の調整目標に達成する基線長と輻輳角の計算式と制御ブロック図を示している。また、提案手法のシミュレーション実験を行い、被写体の知覚形状を自動的に調整できることを確認している。

第6章「ステレオカメラシステムの開発」では、第4章と第5章に提案した自動視差調整手法を実装したステレオカメラシステムの開発を述べている。システムのハードウェア構成とソフトウェアの処理プロセスを紹介し、自動視差調整機能の実現を示している。また、自然な撮影環境における提案した視差範囲調整手法と被写体知覚形状調整手法の評価実験を行っている。実験結果から、自動視差調整機能が動作していることを確認している。さらに、従来の手動視差調整手法との比較実験を行い、提案手法を利用することで、より高速かつ高精度な視差調整できることを確認している。

第7章「テスト撮影と現場からの評価」では、第6章で説明したステレオカメラシステムを用いるテスト撮影と現場からの評価を述べている。現場のスタッフからのコメントをまとめ、定性的に提案手法の有効性を確認し、開発したシステムの不足点も述べている。

第8章「結論」では、第3章から第7章で得られた成果を総括し、今後の展望と課題について述べている。