

**レンズアレイを用いた実時間自由視点画像  
合成システム LIFLET に関する研究開発 (042103014)**

LIFLET: Real-time Free-viewpoint Image Synthesis Using Array of Lens

**研究代表者**

苗村 健 東京大学大学院情報理工学系研究科  
Takeshi Naemura

Graduate School of Information Science and Technology, The University of Tokyo

**研究分担者**

飯田 誠 東京大学大学院工学系研究科  
Makoto Iida

Graduate School of Engineering, The University of Tokyo

**研究期間** 平成 16 年度～平成 18 年度

**本研究開発の概要**

3次元実空間の視覚情報を一括して取得し、ユーザの視点位置から見た画像を自由に合成するシステム Light Field Live with Thousands of Lenslets (LIFLET) に関して、光学設計およびソフトウェア開発の両面で研究開発を推し進めた。これは、従来の2次元画像が「ある一点を通過する光線の集合」であったのに対して、ホログラフィのように「面を通過するすべての光線の集合」を取り扱うことによって実現される。具体的には、3次元写真技術（インテグラフोटोगラフィ）に基づく新たな空間型メディア技術を提案・実装した。これは、写実的CG技術と3次元ディスプレイ技術を高度に融合するものであり、時間変化する動空間を実時間で処理しながら、光学的な歪や解像度の問題を解消し、画質の改善を実現した。本システムにより、実用に耐え得る品質の高い自由視点合成画像を生成することが可能になった。

**Abstract**

In this project, we have investigated and realized a system for real-time free-viewpoint image synthesis, which we call LIFLET. We focused on the combination of optical design of 3D photography and software algorithm of photo-realistic computer graphics. We started from an array of lenslets and clarified its characteristics in frequency domain. Then we proposed an algorithm for real-time pixel-by-pixel depth estimation method for higher quality of image synthesis, and employed a dual lens-array system for suppressing optical blurring effect. Finally, we can handle 3D scenes in motion for real-time free-viewpoint contents.

**1. まえがき**

目の前の3次元空間を、動的な変化も含めて、まるごと視覚的に切り取って伝送したり記録蓄積したりすること。それが、本研究課題における目標である。この技術によって、ユーザがその空間を自由自在に眺め回すことが可能になり、1枚の写真だけでは伝えきれない柔らかな肌や潤んだ瞳の質感をも再現できるようになる。このような実空間の自由視点画像合成技術は、超臨場感通信の実現や次世代の写実的なコンテンツ制作において、新たな基盤となる技術である。

従来、多数のカメラを並べる大規模システムの構築や、手作業によるオフライン処理で空間の構造モデルを作成する手法などが実現されてきた。本研究課題では、より緻密な情報を得る手段としてレンズを並べるアプローチを取り、全自動かつ実時間で動作するシステムの実現を目標に掲げてきた。

このために、3次元ディスプレイの光学設計と、写実的なコンピュータグラフィックスのアルゴリズムを融合した新しい学問分野を切り拓くことから着手した。具体的には、微小なレンズを数千個並べたレンズアレイを用いるインテグラルフोटोगラフィの光学系を採用し、イメージベースレンダリングと呼ばれるコンピュータグラフィックスの技法を駆使することで、オフラインの処理を要せず実時間で3次元空間の情報を処理することが可能なシステムを構築した。

**2. 研究内容及び成果**

3年間の研究において得られた成果は、以下のような6つの項目に集約される。

1. ソフトウェアによるレンズ歪み除去手法の確立
2. レンズアレイ光学系の空間周波数特性の解析
3. 「合成ぼけ」を抑制する画素単位の奥行き推定手法の提案と実装
4. 「光学ぼけ」を抑制する二重化光学系の提案と実装
5. 光学設計を容易にする「見え方」に関するパラメータの導入
6. 動空間の自由視点画像合成を10.9 [frames/sec]の速さで実時間合成するシステムの実装

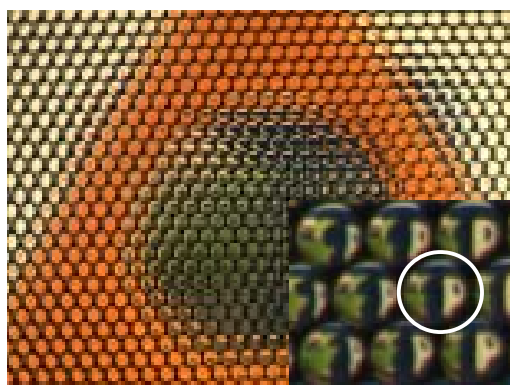
以下では、それぞれについて概説する。

まず、1. の成果では、3次元ディスプレイにおける光学的な奥行き圧縮の現象を、光線追跡法の考え方に基づいて除去するアルゴリズムを提案・実装した。本手法によって合成した自由視点画像を解析した結果、被写体の位置に応じて適切な視差が描き出されていることが確認された。すなわち、レンズ系による歪みの影響をソフトウェア的に除去することができた。

2. の成果では、レンズアレイに結像した像を後段のカメラで撮影するモデルを検証し、その空間周波数特性を明らかにした。これにより、サンプリングの影響と、光学ぼけの影響の2つを考慮する必要性が明らかになった。特に、焦点のあった画像が合成できる範囲（被写界深度）を広く

とるためには、単純なシステムの高密度化や大規模化では対応できないことが確認された。この問題は、4. において解決が図られた。

3. の成果では、レンズアレイ入力から最大限の情報を引き出し、画質の高い自由視点画像合成を実現する手法を提案・実装した。図1にその概要を示す。入力レンズアレイ画像(a)から、さまざまな視点位置における画像合成を行うことを考える。その際に、被写体の奥行きをさまざまに仮定した多焦点画像群(b)を合成することができる。この多焦点画像群を解析して全焦点画像(c)を得る。このアプローチの特徴は、CPU でさまざまな推定を行うよりも、GPU で大量の画像合成を行ってしまう方が高速な処理を実現できるようになってきたという技術的背景から、「合成に基づく分析」という新たなパラダイムを提案した点にある。6. で述べるように、この処理は10.9fpsの速度で全焦点かつ自由視点の画像を合成することができている。



(a) 入力レンズアレイ画像



(b) 同一視点の多焦点画像群の合成結果



(c) (b)を統合した全焦点画像の合成結果

図1 合成ぼけを抑制した全焦点自由視点画像合成

4. の成果では、2. で明らかになった光学ぼけの問題に対して、光学系を二重化することで被写界深度を広げる手法を提案・実装した。図2にその様子を示す。光学系を二重化することで、フォーカスの異なる2つの入力レンズアレイ画像を得ている。3. の手法で合成ぼけのない画像を合成しても、この2つからは、光学的に後ろがぼけた画像(a)と手前がぼけた画像(b)が合成されることになる。これらを実時間で統合することによって、合成ぼけも光学ぼけも抑制された全焦点自由視点画像(c)が得られる。



(a) 手前にフォーカス (b)奥にフォーカス



(c) 最終的な合成結果

図2 二重化光学系による光学ぼけの抑制

5. の成果は、光学設計を容易にするために、見え方に対する要求条件から、光学素子の物理的な配置パラメータを算出する手法を確立した。

6. の成果は、上記の成果を統合して、実際に動空間の自由視点画像を実時間で合成するシステムを実装した。

### 3. むすび

今後は、実際のコンテンツ制作や通信システムへの応用を実践していく予定である。

#### 【誌上发表リスト】

- [1] 小島 将、苗村 健、“レンズアレイを用いた自由視点画像合成システムにおける撮像光学系の空間周波数特性”、映像学誌 Vol. 59 No. 4 pp. 569 - 580 (2005.4)
- [2] 河 宗玄、小島 将、高橋 桂太、苗村 健、“レンズアレイを用いた実時間全焦点自由視点画像合成システム”、映像学誌 Vol. 59 No. 10 pp. 1483 - 1487 (2005.9)
- [3] 金 時煥、河 宗玄、田口 裕一、高橋 桂太、苗村 健、“自由視点画像合成における見え方を考慮したレンズアレイ撮像系の設定”、映像学誌 Vol. 60 No. 10 pp. 1658-1663 (2006.10)

#### 【受賞リスト】

- [1] 山本智幸、映像情報メディア学会研究奨励賞、“屈折率分布レンズ方式 IBR システムにおける奥行き圧縮効果の除去”、2004年12月21日
- [2] 田口 裕一、電子情報通信学会学術奨励賞、“自由視点画像合成に基づく光線空間符号化方式の基礎検討”、2006年3月25日
- [3] 河 宗玄、小島 将、高橋 桂太、苗村 健、3次元画像コンファレンス2005優秀論文賞、“レンズアレイを用いた実時間全焦点自由視点画像合成システム”、2006年7月6日

#### 【報道発表リスト】

- [1] “1000枚のレンズを使って、どんな姿勢でも3D表示が楽しめるインテグラル立体テレビ”、インプレスインターネットウォッチ、2004年5月27日
- [2] “SIGGRAPH 2004 - EMERGING TECHNOLOGIES 展示セクション(1) 1つのカメラで捉えた映像から別視点の映像が見られる不思議/東京大学苗村研究室”、MYCOM PC WEB、2004年8月14日
- [3] “テレビの未来は?”、テレビ東京 ワールドビジネスサテライト 2007年2月20日

#### 【本研究開発課題を掲載したホームページ】

<http://www.hc.ic.i.u-tokyo.ac.jp/project/LIFLET>