

平成 2 1 年 4 月 1 日現在

研究種目：基盤研究（B）  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19300056  
 研究課題名（和文） 空間共有通信を軸とした 3 次元光線情報処理技術の体系化  
 研究課題名（英文） Systematization of 3D Light Ray Processing  
 for Space Sharing Communications  
 研究代表者  
 原島 博（HARASHIMA HIROSHI）  
 東京大学・大学院情報学環・教授  
 研究者番号：60011201

## 研究成果の概要：

映像だけでなく空間そのものを共有するような通信システムの実現を目指し、3次元映像の撮影・処理・伝送・提示に関する技術を包括的に議論した。このために、空間を満たす光線を単位とした方式を検討し、コンピュータビジョンと信号処理という異なる学問体系を橋渡しする理論体系の構築に取り組んだ。また、情報のサンプリングの観点から、特殊な光学系による効率的な撮像方式について検討した。さらに、多数のカメラ映像の伝送には、従来のサーバ・クライアント方式では限界があると判断し、新たな圧縮・伝送方式を提案した。最後に、空間共有通信のためのプロトタイプシステムを実装し、その有効性を確認した。

## 交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	6,700,000	2,010,000	8,710,000
2008 年度	4,900,000	1,470,000	6,370,000
総 計	11,600,000	3,480,000	15,080,000

## 研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学，知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：画像・音声・文章等認識、バーチャルリアリティ、コンテンツ・アーカイブ、情報通信工学、ディスプレイ

## 1. 研究開始当初の背景

我々が生活する環境は本来 3 次元である。これからの映像メディア技術においては、単なる平面的な 2 次元の画像のみならず、実世界の 3 次元視覚情報そのものを対象とした本質的な検討が必要である。

近年、実世界の 3 次元情報を扱う技術に対する関心はますます高まっており、画像通信、コンピュータビジョン、コンピュータグラフィックス、3 次元ディスプレイおよび信号処理などの各分野において積極的な研究が展開されてきた。これらの技術は、写実性の高

い 3 次元 CG コンテンツの制作、現実世界をコンピュータの中に取り込むバーチャルリアリティ・複合現実感システム、現存する物体の視覚的アーカイビング、あるいは空間そのものの伝送を目的とした新たな通信システムなど、様々な方面での応用が期待されている。

これまでに、研究代表者らは、3 次元視覚情報の最小単位として空間を満たす「光線」に着目した研究を行ってきた。特に、有力な応用分野として、「空間共有通信」に着目し、これを軸に据えるため、実世界の 3 次元視覚情報の取得から始まり、分析、伝送、提示に

および一連の流れを研究の対象としてきた。この経験を背景として、さらにその成果を有機的に結びつけ、従来の分野の枠組みを超えた総合的な検討が必要な段階に来ていた。

## 2. 研究の目的

実世界 3 次元空間の視覚情報をそのまま伝送することを目指す「空間共有通信」では、入力から出力までの流れを、下記のような 5 つのステップに分けて考えることができる。

1. 空間を満たす 3 次元光線情報（多視点画像データ）の取得
2. 取得された多視点画像データを用いた被写体空間の構造・形状推定
3. 多視点画像データと形状データの圧縮符号化
4. 多視点画像データと形状データの任意の形式（自由視点画像など）への変換
5. 再現された 3 次元空間の観察者への提示（自由視点提示、立体提示など）

本研究では、各ステップにおける個別の検討に加え、前後のステップの関連を考慮した処理の枠組みを考えることで、新たな技術的展開を目指す。特に下記の 4 点について重点的に検討を進める。

(1) ステップ 1 に関連して、3 次元視覚情報の取得方式について検討する。3 次元空間を満たす光線情報を取得するため、カメラアレイやレンズアレイを用いて多視点画像を撮像する方式を検討してきた。本研究では、これらをさらにレンズ・ミラー等と組み合わせる方式についても理論的に検討し、光線情報の取得方式を体系化する。

(2) ステップ 3 に対応して、3 次元視覚情報の圧縮符号化の最適化についての検討する。従来の画像符号化方式（変換符号化、予測符号化、モデルベース符号化）を拡張した多視点画像データの圧縮符号化方式をこれまでに提案してきた。本研究では、多視点画像の取得条件、通信における伝送遅延、最終的な提示方式（自由視点画像、3 次元ディスプレイ）などを考慮した場合に生じる課題を整理し、それぞれに応じた解決策や最適化手法を検討する。また、圧縮符号化技術を構造推定や画像合成と適切に組み合わせる手法についても検討する。

(3) ステップ 2 と 4 に対応して、被写体の構造推定法と自由視点画像合成法について検討する。以前より、自由視点画像合成を目的とした被写体の形状推定法について検討

を進めてきた。本研究ではこれを発展させ、従来のコンピュータビジョン的な構造推定の枠組みにとどまらず、信号処理的な信号再構成理論の枠組みを導入し、両者を包括する理論体系の構築を目指す。さらに、実時間動作するシステムを構築するための構造推定と自由視点画像合成の最適化手法を明らかにする。

(4) 全てのステップに関係するトピックとして、空間共有通信システムのプロトタイプについて検討する。従来の「画像通信」以上の臨場感を与え得る「空間共有通信」は、3 次元視覚情報処理の一つの有力な応用分野であり、関連分野を網羅するのに適した課題である。本研究では、上記の各ステップにおける実用的な要素技術を有機的に組み合わせ、実空間同士を繋ぐ「空間共有通信」システムを実現するための指針を示す。

## 3. 研究の方法

初年度は、研究課題の調査、および数値計算ソフトウェアや既存の画像データベースを用いたシミュレーションなど基礎的な検討を中心に進めた。2 年目は初年度の基礎検討をもとに各課題を発展させた。

(1) 初年度は、さまざまな光学系を駆使して光線情報を取得する方式について基礎的な検討を行い、撮像可能な空間周波数などについて理論的な考察を行うとともに、必要とされる撮像系の規模やコストについて比較検討した。2 年目は、この結果に基づき、可変焦点レンズアレイによる効率的な光線情報の取得方式について検討した。

(2) 初年度は、光線情報の取得条件（撮像デバイスの配置方法・配置間隔）や観察者への提示方式（3 次元ディスプレイ、自由視点画像合成）など、前後のステップとの相互関係を踏まえた新たな情報圧縮符号化方式の可能性について検討した。2 年目は、この結果に基づき、観察者への表示方式として自由視点画像合成を想定した場合、光線情報に対する参照には特有の「局所性」が存在する。この「局所性」を生かした高能率符号化方式について検討した。

(3) 初年度は、自由視点画像合成を目的とした被写体の形状推定法について、コンピュータビジョン的な構造推定の枠組みに対して、信号処理的な周波数解析の枠組みを導入するための基礎検討を行った。例えば、自由視点画像合成における合成画像上の雑音や歪は、コンピュータビジョンの観点から見る

と、構造推定の誤差に起因するものであるが、信号処理の観点から見ると、離散的な多眼画像データを不適切に補間することに起因するエイリアシング雑音とみなせる。2年目は、この議論を発展させ、実写多眼画像データを用いて理論の検証を行った。

(4) 初年度は、3次元視覚情報の取得および可視化を実時間で行うシステムに関して、現存するシステムを相互に比較し、新たなシステム構築に向けた課題や可能性について考察した。また、システムとして組み上げる上で、既存の要素技術のいかなる組み合わせが有効であるかについても、基礎的な検討を行った。この結果に基づき、2年目には、裸眼立体ライブ映像システムのプロトタイプを実装した。

#### 4. 研究成果

それぞれの研究目的における成果は下記の通りである。

(1) 可変焦点レンズをアレイ化したシステムの基礎検討を行い、その新たな可能性を理論的に検討した。これは、これまでの固定的なレンズアレイに対して、シーンの状況に応じた適応的な多眼かつ高密度な撮影を可能にするものである。図1に、構築したシステムを示す。まだ世界に例を見ない試みであり、基礎的な実装の段階にあるが、その基本的な潜在能力が明らかになった。



図1: 可変焦点レンズアレイ

(2) Distributed Coding による実践的な伝送について検討した。これは、カメラ間の通信を行うことなく、効率的に多眼画像の伝送を行う方式として注目されている。自由視点映像通信においては、ユーザごとに受信すべき情報が異なってくる。つまり、すべてのユーザが、入力カメラアレイのすべての情報を

必要としている訳ではない。図2にその基本原理を示す。カメラKの情報を送り、受信側ではカメラWの位置の画像を予測合成する。このとき、カメラWに関してはパリティ情報だけを伝送することで、効率的に予測結果を補正する。伝送する画像間の相関を用いていないため、必要なカメラからの情報だけを選択的に受信することができる。ユーザの要求に応じて、必要な部分だけを効率的に伝送することを目的として、入力カメラアレイのためのサーバを設けない伝送方式の実現方法を明らかにし、その有効性を確認した。

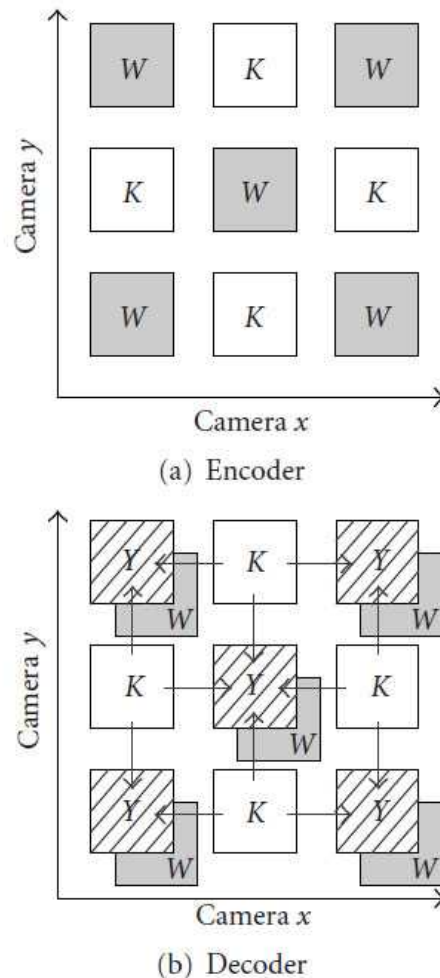


図2: Distributed Coding

(3) 多眼伝送における間引きの理論モデルについて検討した。これは、与えられた帯域の中で、品質を少し落としてでも多眼画像をすべて伝送すべきか、品質を保って限定した一部の画像のみを伝送し、復号側で補間合成すべきかを、理論的なモデル作りを通じて議論する基盤を与えるものである。伝送する多眼画像の眼数を増やせば、受信側での補間処理の負担は軽減される。しかし、一定の帯域で眼数を増やせば、1眼あたりの情報量

が減ることになる。画質の観点から、伝送眼数と補間処理のバランスを見極めるための理論モデルを構築した。実験の結果、レートに応じて間引きが有利/不利が逆転すること、またその境界が多眼画像の性質や視差の推定精度に応じて変化することを確認した。これは、実際のシステムを構築する際の重要な指針を与えるものである。

(4) 自由視点画像合成方式に関しては、ネットワークカメラ 64 台分の映像入力を、ギガビットイーサで伝送し、1 台のパソコンで Graphics Processing Unit (GPU) を使って処理することで、実時間でインタラクティブな自由視点映像を合成するシステムを実現した。提案システムは、実時間性および可搬性を兼ね備えたライブ映像の自由視点映像合成システムであり、世界的に見ても画期的な成果である。さらに、裸眼立体ライブ映像システムのプロトタイプを実現した。自由視点画像を同時に 60 視点分合成することに成功し、これを裸眼立体ディスプレイ(株式会社 日立製作所の研究成果)に入力することで、目の前の空間をライブ映像として裸眼立体ディスプレイで閲覧することが可能となった。3 次元映像技術の分野では、オフライン処理を要するものがこれまでほとんどであったが、ライブ処理が可能になったことで、臨場感通信や立体ライブ放送などの実現が、はじめて現実味を帯びてきたと言えよう。



図 3: プロトタイプシステム

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 6 件)

Yuichi Taguchi, Takafumi Koike, Keita Takahashi, Takeshi Naemura, TransCAIP: A Live 3D TV System Using a Camera Array and an Integral Photography Display with Interactive Control of Viewing Parameters, IEEE

Transactions on Visualization and Computer Graphics, vol. 15, 2009 (掲載予定), 査読有

Yuichi Taguchi, Takeshi Naemura, Rendering-Oriented Decoding for a Distributed Multi-View Coding System Using a Coset Code, EURASIP Journal on Image and Video Processing, vol. 2009, Article ID 251081, 2009, 査読有

石井 雅人, 高橋 桂太, 苗村 健, 多眼画像の間引きと符号化特性に関する基礎実験, 電子情報通信学会和文論文誌, vol. J-91D-8, pp. 1951 - 1953, 2008, 査読有

高橋 桂太, 苗村 健, レート歪み理論から見た多眼画像の間引きと符号化, 情報科学技術レターズ, vol. 6, pp.285 - 288, 2007, 査読有

高橋 桂太, 苗村 健, 多眼ステレオ法の周波数解析的な解釈と一般化, vol. J90-D, pp. 1726 - 1728, 2007, 査読有

高橋 桂太, 苗村 健, 多眼カメラ画像群からの実時間自由視点画像合成 - 視点依存奥行推定による高速アルゴリズムの検討 -, vol. 18, pp. 16 - 20, 2007, 査読無(招待)

〔学会発表〕(計 9 件)

苗村 健, [招待講演] Computational Photography に基づく裸眼立体ライブ映像システム, 映像情報メディア学会研究報告 3DIT2008-67, 2008 年 10 月 21 日, 東京都

Yuichi Taguchi, Takafumi Koike, Keita Takahashi, Takeshi Naemura, TransCAPE: Live Transmission of Light Field from a Camera Array to an Integral Photography Display, SIGGRAPH ASIA Emerging Technologies, 2008 年 12 月 10 日, Singapore

Masato Ishii, Keita Takahashi, Takeshi Naemura, Rate-Distortion Performance of Multi-View Image coding with Subsampling of Viewpoints, IEEE International Conference on Image Processing (ICIP '08), 2008 年 10 月 15 日, San Diego

Yuichi Taguchi, Keita Takahashi, Takeshi Naemura, Real-Time All-in-Focus Video-Based Rendering Using a Network Camera Array, 3DTV-Conference 2008, 2008 年 5 月 30 日, Istanbul

Kensuke Ueda, Takafumi Koike, Keita Takahashi and Takeshi Naemura, Adaptive IP Imaging with Variable-Focus Lens Array,

SPIE Stereoscopic Displays and Applications XIX, 2008年1月30日, San Jose, U.S.A

Yuichi Taguchi, and Takeshi Naemura, Rendering-Oriented Decoding for Distributed Multi-View Coding System, IEEE ICIP, 2007年9月17日, San Antonio

田口 裕一, 山本 和明, 小池 崇文, 高橋 桂太, 苗村 健, TransCAPE:カメラアレイからインテグラルフォトグラフィディスプレイへのインタラクティブな3次元映像提示, 3次元画像コンファレンス, 2008年7月11日, 東京都  
田口 裕一, 高橋 桂太, 苗村 健, ネットワークカメラアレイを用いた実時間全焦点自由視点映像合成システム, 電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会, 2008年3月10日, 北陸先端大

石井 雅人, 高橋 桂太, 苗村 健, 多眼画像の間引きと符号化特性に関する基礎実験, 画像符号化シンポジウム, 2007年11月1日, 修善寺

〔図書〕(計1件)

苗村 健, NTS, “序論 3次元映像技術の魅力”, 立体視テクノロジー - 次世代立体表示技術の最前線 -, pp. 1 - 18, 2008

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

原島 博 (HARASHIMA HIROSHI)  
東京大学・大学院情報学環・教授  
研究者番号: 60011201

(2) 研究分担者

苗村 健 (NAEMURA TAKESHI)  
東京大学・大学院情報理工学系研究科・准教授  
研究者番号: 90292896