

令和元年6月13日現在

機関番号：73905

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H04370

研究課題名(和文)超広域自由視点テレビの研究

研究課題名(英文)A Study on Wide Area Free-viewpoint Television

研究代表者

谷本 正幸 (Tanimoto, Masayuki)

公益財団法人名古屋産業科学研究所・研究部・上席研究員

研究者番号：30109293

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,700,000円

研究成果の概要(和文)：3次元空間の光線をパラメータ空間で記述する光線空間法において、従来の収束型配置の多視点カメラで取得された光線と新しい発散型配置の多視点カメラで取得された光線を統一的に表現でき、光線の仰角パラメータも記述できる4次元光線空間法を研究した。更に、移動する多視点カメラによる光線空間取得法を研究した。その結果、360度の広視野と水平・垂直両方向視差を持つ自由視点テレビの実現と、異なる地点で撮影した光線空間の統合が可能となり、超広域全方位自由視点テレビの基盤技術が開発できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

自由視点テレビは3次元シーンをユーザが自由に視点を移動させて見ることができる映像メディアである。視点を移動させてシーンを見ることができる映像メディアとして、多数のカメラを切り替える多視点映像や都市の情景を道路に沿って見るストリートビュー等がある。本研究では、映像メディアの視野と視点移動の範囲を拡大する研究を行い、360度自由視点ストリートビューのようなアプリケーションを実現する超広域全方位自由視点テレビの基盤技術を開発した。

研究成果の概要(英文)：FTV (Free-viewpoint Television) enables users to view a 3D scene by freely changing the viewpoint. FTV is realized based on ray-space representation. Ray-space is a parameter space that describes rays in 3D space. 4D spherical ray-space including a parameter of vertical angle is developed to describe both convergent rays and divergent rays captured by convergent multi-camera and divergent multi-camera, respectively. Furthermore, ray-space capture by moving multi-camera is analyzed. These studies enable wide field-of-view of 360-degree, full parallax with both horizontal and vertical parallaxes, and unification of ray-spaces captured by different locations. By applying these technologies to views captured by moving multi-camera of circular arrangement, omnidirectional ultra-wide area FTV is realized.

研究分野：通信・ネットワーク工学

キーワード：自由視点テレビ

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

申請者は、3次元空間をユーザが自由に視点を移動させて見ることができる自由視点テレビFTVを提唱し、実世界の3次元空間情報の取得から表示までをリアルタイムで行うFTVシステムの実現に世界で初めて成功した。申請者はFTVをMPEGに提案し、その国際標準化を推進してきた。FTV標準化の第1フェーズでは、複数のカメラで撮影した映像信号を効率的に圧縮する多視点映像符号化(Multi-view Video Coding, MVC)を実現した。第2フェーズでは、少数のカメラで撮影した映像からカメラ間の映像を合成して生成し、多眼3Dディスプレイに表示する3Dビデオ(3D Video, 3DV)の標準化を実現した。現在は、視域が広く眼の疲れがない100以上の視点数を持つ超多眼3D表示と、自由に視点を移動させながらシーンを見るフリーナビゲーションの実現を目指すFTV第3フェーズ標準化MPEG-FTVを推進している。

これまでのFTVでは、円周上に内側を向いて配置した収束型カメラで撮影を行うため、撮影できる範囲が制限されていた。一方、円周上に外側を向いて配置した発散型カメラが、多視点映像をつなぎ合わせた360度ビデオや都市の情景を道路に沿って見るストリートビューなどで用いられている。しかし、360度ビデオやストリートビューは1地点から周囲を見るパノラマビュー、あるいはその撮影地点に沿った移動であって、撮影していない地点からもシーンを見ることができる自由視点ではない。そこで、撮影範囲を拡大できる発散型カメラ配置をFTVに適用し、開かれた空間を自由視点で見ることができる超広域FTVの実現を目指すこととした。

### 2. 研究の目的

本研究では、FTVの自由度の拡大を目指し、外向きに配置された多視点カメラによって開かれた空間を撮影できる新しい構成のFTV方式を研究し、超広域FTVを構築するための基礎資料として整備することを目的とする。

### 3. 研究の方法

MPEG会議に参加し国際標準化の動向を調査しながら、FTVの自由度を拡大する方式を研究する。

#### (1) MPEG国際標準化活動の推進

MPEG国際標準化会議に参加し、自由視点テレビ標準化プロジェクトMPEG-FTVを推進する。FTV関連技術の最先端情報を収集・評価し、本研究の遂行に反映させる。

#### (2) FTVの自由度を拡大する3Dシーン表現

発散型カメラ配置と収束型カメラ配置の双方に適用でき、水平視差と垂直視差を同時に実現できる4D光線空間方式を開発する。

#### (3) 全方位FTV

水平面上に置かれた円周上に、多数の発散型と収束型のカメラを配置する場合の4D光線空間方式を研究し、これによって全方位FTVを実現する。

#### (4) FTVの広域化

超広域FTVの実現のため、撮影に用いる多視点カメラを移動させて広い空間を撮影する場合のFTV方式を研究する。

### 4. 研究成果

#### (1) MPEG国際標準化活動の推進

MPEG国際標準化会議に参加し、MPEG-FTVプロジェクトをAHG Chairとして推進した。“Call for Evidence on Free-Viewpoint Television”を実施し、現在の標準化技術を超える新しい技術の実証に成功した。これを受けて、MPEG-FTVプロジェクトは新しいMPEG-I(Immersive)プロジェクトに移行し、自由聴点3Dオーディオを含むImmersive Mediaの実現を目指すこととなった。MPEG-IではImmersive Mediaの没入の程度を自由度DoF(Degree of Freedom)で表し、図1に示す全方位で固定視点の3DoFから全方位で自由視点の6DoFまで、ステージ毎に順次標準化を行うこととした。これを受けて本研究の研究項目を整理し、

- 発散型カメラ配置と従来の収束型カメラ配置の双方に適用できる光線空間理論の構築
- 水平視差と垂直視差の同時実現
- 全方位(360度)視野を自由視点で実現
- 視域の超広域化

を目指すこととした。

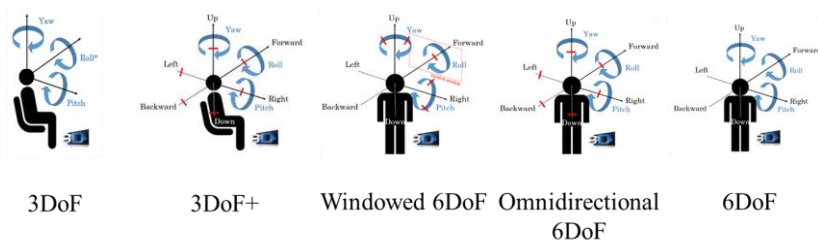


図1. 自由度 DoF で表した標準化のステージ

(2) FTVの自由度を拡大する3Dシーン表現

発散型カメラ配置と収束型カメラ配置の双方に適用でき、水平視差と垂直視差を同時に実現できる4D光線空間理論を構築した。ここでは4D極座標光線空間について述べる。4D極座標光線空間では、光線を光線方向 $(\theta, \phi)$ と光線に垂直な基準面上の位置 $(\xi, \eta)$ によって表す。このとき、この光線の光線空間は $(\xi, \eta, \theta, \phi)$ となる。

3次元空間中の1点 $P(X, Y, Z)$ を通る光線の4D極座標光線空間を $(\xi, \eta, \theta, \phi)$ とする。 $\theta, \phi$ が与えられると、 $\xi, \eta$ は次式で求められる。

$$\xi = -r \sin(\theta - \alpha) \tag{1}$$

$$\eta = r \sin \phi \cos(\theta - \alpha) + \cos \phi Y \tag{2}$$

ここで

$$X = r \sin \alpha, Z = r \cos \alpha \tag{3}$$

とした。

$\phi$ が一定のとき、 $(\xi, \eta, \theta)$ のグラフは図2に示すように、楕円を描きながら $\theta$ 方向に進む楕円らせんとなる。

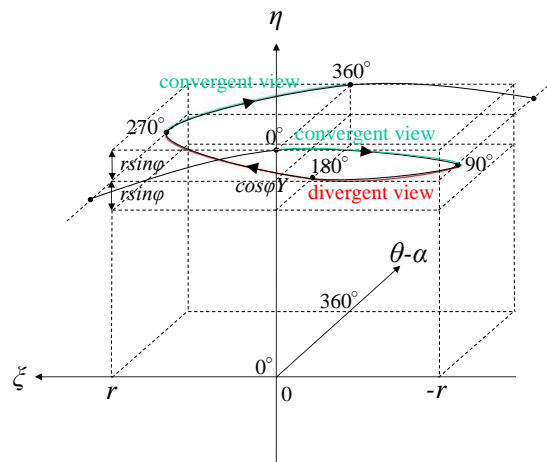


図2 点 $P(r \sin \alpha, Y, r \cos \alpha)$ を通る光線の4D極座標光線空間 $(\xi, \eta, \theta, \phi)$  ( $\phi$ 一定として $(\xi, \eta, \theta)$ 空間で表現)

4D極座標光線空間は垂直角 $\phi$ をパラメータとして持つため垂直視差を表現でき、更に図2中に示すように水平角 $\theta$ を0度から360度まで変化させることにより、収束viewと発散viewの両方で取得される光線を統一的に表現できた。

(1), (2)で $\phi=0$ としたものが3D極座標光線空間である。3D極座標光線空間は正弦波構造を持つ。この正弦波構造は4D極座標光線空間の楕円らせん構造を $\eta$ 軸方向から眺めたものになっている。3D極座標光線空間では水平視差は実現できるが、垂直視差は実現できない。

(3) 全方位FTV

図3に示すように、水平面上の円周上に密に配置された多視点カメラにより、収束viewと発散viewを取得し、(2)で開発した4D極座標光線空間法により全方位FTVを実現した。

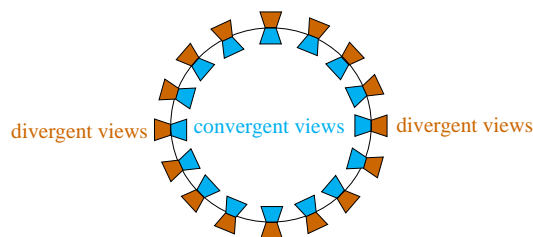


図3 水平な円周上に配置した多視点カメラ

図3の多視点カメラで取得される光線空間を図4, 図5に示す。楕円錐の色は、青が収束viewから得られる光線、茶が発散viewから得られる光線であることを示す。図4は $\theta$ を固定して $(\xi, \eta, \phi)$ 空間で表示したものであり、 $\theta$ を変化させると、光線空間の形状は不変で、値が変化する。

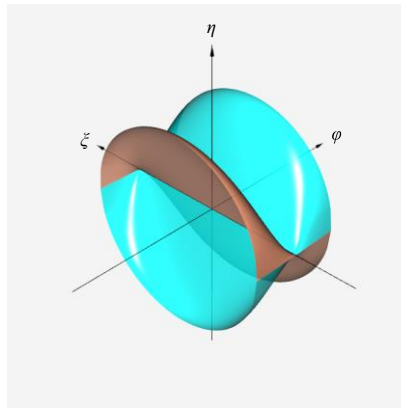


図4 円周上の多視点カメラで取得される4D極座標光線空間  
( $\theta$ を固定して( $\xi, \eta, \phi$ )空間で表示)

図5は $\phi$ を固定して( $\xi, \eta, \theta$ )空間で表示したものである.形状は楕円筒であり, $\phi$ を変化させると色が変わるだけでなく,楕円の短軸も変化する.

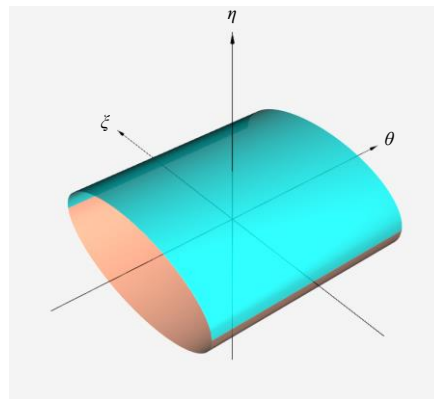


図5 円周上の多視点カメラで取得される4D極座標光線空間  
( $\phi$ を固定して( $\xi, \eta, \theta$ )空間で表示)

全方位FTVを実現するには,実カメラの位置を通過する光線以外は取得されていないので,それらの光線を取得された光線から生成する.光線生成のフローチャートを図6に示す.生成したい光線を遡った光源の奥行き $Z'$ を仮定し,この光源から放射される光線の光線空間と取得された光線の光線空間の共通部分の色の分散が最小となるように $Z'$ を定める.

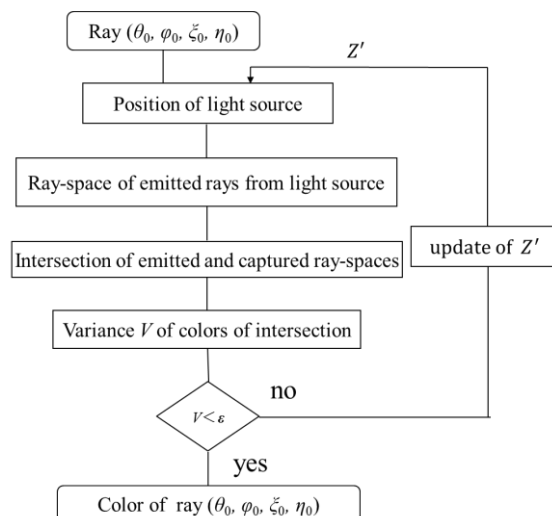


図6 光線生成のフローチャート

視点が前進する step-in のシミュレーション実験を行った結果,図7に示すように水平視差と垂直視差を同時に実現できた.また,全方位画像も生成できた.



図7 4D 光線空間で水平視差と垂直視差が実現

(4) FTV の広域化

FTV を広域化するため、多視点カメラを3次元空間内で移動させて広い空間を撮影するFTV方式を研究した。これまでの固定多視点カメラによるFTVの光線空間方式では、多視点カメラの中心を基準点とする光線空間表現を用いていた。この光線空間表現を移動多視点カメラによるFTV方式に適用すると、光線空間の基準点が多視点カメラの位置毎に異なるため、取得位置が異なる光線空間を統合して超広域の光線空間を構築することができない。そこで光線空間の基準点を変換する研究を行った。その結果、 $(X, Y, Z)$ を基準点とする光線空間を $(0, 0, 0)$ を基準点とする光線空間に変換するには、 $(X, Y, Z)$ を基準点とする光線空間の位置パラメータである $\xi$ と $\eta$ に、 $(X, Y, Z)$ を通る光線群の $(0, 0, 0)$ を基準点とする光線空間の位置パラメータ $\xi$ と $\eta$ をそれぞれ加えればよいことが明らかになった。これにより、基準点を変換すると物体形状を表現する光線空間の局所構造である微細構造が保たれたまま、実空間内の物体位置を表す大局構造である正弦波構造が変形する。このとき、正弦波の振幅の差が基準点の距離の差を表し、位相の差が基準点の方向の差を表す。光線空間の基準点を変換するシミュレーション実験を行い、この理論を実証した。これによって、異なる位置で取得した様々な光線空間を統合できるようになった。

そこで、図8に示すように水平な円周上に配置した多視点カメラを直線に沿って移動させ、取得した光線情報から統合光線空間の構築と自由視点画像生成を行うシミュレーション実験を行った。これにより直線上及び水平面上で直線に垂直な方向に移動した位置での自由視点画像を生成でき、多視点カメラを3次元空間内で移動させて広い空間を撮影するFTVの広域化の基本手法が確立できた。

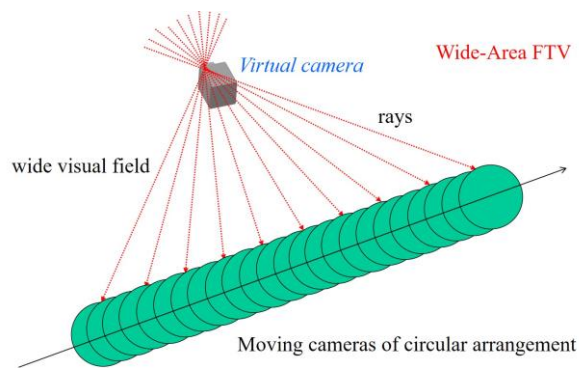


図8 多視点カメラを3次元空間内で移動させて広い空間を撮影するFTV方式

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計6件)

- ① Masayuki Tanimoto, “New 3D Scene Representation for FTV”, Proc. of Electronic Imaging & Visual Arts 2016 Florence, pp. 58-63, May 2016, 査読有.
- ② Masayuki Tanimoto, Hirokuni Kurokawa, “Framework of 360-Degree 3D Video”, Proc. of Electronic Imaging & Visual Arts 2017 Florence, pp. 71-78, Florence, Italy, May 11, 2017, 査読有.
- ③ Masayuki Tanimoto, “FTV (Free-viewpoint Television) and its International Standardization”, IEIE Transactions on Smart Processing and Computing, vol. 6, no. 6, pp. 415-427, December 2017, 査読有. (Invited paper)
- ④ Masayuki Tanimoto, Hirokuni Kurokawa, “Ray-Space Processing for Omnidirectional FTV”, Proc. of SPIE, Vol. 9495, pp. 28-1-28-13, April 2018, 査読有. (Invited paper)
- ⑤ Masayuki Tanimoto, “New 3D Scene Representation for FTV”, Proc. of Electronic Imaging & Visual Arts 2018 Florence, pp. 58-63, May 2018, 査読有.
- ⑥ Masayuki Tanimoto, “New 3D Scene Representation for FTV”, Proc. of Electronic Imaging & Visual Arts 2018 Florence, pp. 58-63, May 2018, 査読有.



〔学会発表〕（計20件）

- ① Masayuki Tanimoto, “New Framework of FTV”, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG2016/M38547, Geneva, Switzerland, May 2016.
- ② Masayuki Tanimoto, “Technologies and Standards of FTV (Free viewpoint Television)”, International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON) 2016, Chiang Mai, Thailand, June 28 - July 1, 2016. (Invited talk)
- ③ 谷本 正幸, “FTVを実現する3Dシーン表現”, 電子情報通信学会通信方式研究会技術研究報告, vol. 115, no. 123, CS2015-20, pp. 57-62, 2016年7月7日. (沖縄県久米島) (特別招待講演)
- ④ Takanori Senoh, Krzysztof Wegner, Olgierd Stankiewicz, Gauthier Lafruit, Masayuki Tanimoto, “FTV test material summary”, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG2016/N16521, Chengdu, China, October 2016.
- ⑤ Krzysztof Wegner, Olgierd Stankiewicz, Takanori Senoh, Gauthier Lafruit, Masayuki Tanimoto, “FTV software summary”, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG2016/N16522, Chengdu, China, October 2016.
- ⑥ 谷本 正幸, “FTVの新しいフレームワークとSIGGRAPH2016における3D技術の動向”, 映像情報メディア学会メディア工学研究会技術研究報告, Vol. 40, No. 33, ME2016-123, pp. 29-36, 2016年10月6日. (福岡県福岡市城南区) (招待講演)
- ⑦ Masayuki Tanimoto, “FTV (Free-viewpoint Television)”, Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA ASC) 2016, Jeju, South Korea, December 15, 2016. (Invited talk)
- ⑧ Masayuki Tanimoto, Hirokuni Kurokawa, “Ray-Space Representation for 360-Degree 3D with Motion Parallax”, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG2017/M39831, Geneva, Switzerland, January 2017.
- ⑨ Takanori Senoh, Arianne Hinds, Krzysztof Wegner, Gauthier Lafruit, Masayuki Tanimoto, “MPEG-I visual test material summary”, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG2017/N16731, Geneva, CH, January 2017.
- ⑩ Masayuki Tanimoto, “FTV (Free-viewpoint Television)”, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG2017/M74063, Geneva, Switzerland (January 18, 2017). (Invited talk)
- ⑪ 谷本 正幸, “自由視点テレビと国際標準化”, PoTS 映像学シンポジウム, 2017年3月13日. (神奈川県横浜市港北区) (基調講演)
- ⑫ Masayuki Tanimoto, Hirokuni Kurokawa, “Ray-Space Processing for Omnidirectional FTV”, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG2017/M41059, Torino, Italy, July 2017.
- ⑬ Gauthier Lafruit, Joël Jung, Didier Doyen, Gun Bang, Olgierd Stankiewicz, Paul Higgs, Krzysztof Wegner, Masayuki Tanimoto, “Requirements on 6DoF (v1)”, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG2017/N17073, Torino, Italy, July 2017.
- ⑭ 谷本 正幸, 黒川 弘国, “全方位FTVとSIGGRAPH2017における3D技術の動向”, 映像情報メディア学会技術研究報告, Vol. 41, No. 28, ME2017-88, pp. 43-50, 2017年9月4日. (京都府京都市左京区) (招待講演)
- ⑮ Masayuki Tanimoto, “Free viewpoint television (FTV) and its standardization in MPEG”, 3rd ITU-T Mini-Workshop on Immersive Live Experience (ILE), Macao, China, October 24, 2017. (Invited talk)
- ⑯ Takanori Senoh, Mehrdad Panahpour Tehrani, Krzysztof Wegner, Gauthier Lafruit, Masayuki Tanimoto, Yule Sun, “MPEG-I visual test material summary (v2)”, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG2017/N17134, October 2017, Macao, China.
- ⑰ 谷本 正幸, 黒川 弘国, “全方位FTVの光線空間処理”, 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 117, no. 329, CS2017-67, pp. 31-36, 2017年11月30日. (愛知県名古屋市中千種区) (特別招待講演)
- ⑱ Masayuki Tanimoto and Hirokuni Kurokawa, “Omnidirectional FTV”, Proc. of 2017 International Conference on 3D Immersion, Brussels, Belgium, December 12, 2017.
- ⑲ 谷本 正幸, 黒川 弘国, “広視野・広視域FTVの実現に向けて”, 映像情報メディア学会技術研究報告, Vol. 42, No. 34, ME2018-102 AIT2018-178, pp. 19-26, 2018年10月19日. (長崎県長崎市) (招待講演)
- ⑳ 谷本 正幸, 黒川 弘国, “6DoF-FTV”, 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 118, no. 328, CS2018-77 IE2018-56, pp. 39-44, 2018年11月29日. (徳島県徳島市) (特別招待講演)

## 6. 研究組織

### (1) 研究協力者

研究協力者氏名：黒川弘国

ローマ字氏名：HIROKUNI KUROKAWA