

[招待講演] MPEG-FTV のシーン表現と面ベース FTV

谷本 正幸[†] 黒川 弘国[‡]

[†]名古屋産業科学研究所 〒464-0819 名古屋市千種区四谷通 1-13 ノア四谷ビル 2F

[‡]会津大学大学院コンピュータ理工学研究科 〒965-8580 福島県会津若松市一箕町鶴賀

E-mail: [†] tanimoto.masayuki.r4@a.mail.nagoya-u.ac.jp, [‡] aiguo@u-aizu.ac.jp

あらまし 将来の没入メディアでは高い写実性と広い視域を持つ FTV が必要となる。しかし、MPEG-FTV で開発した点ベースのシーン表現では広い視域を持つ FTV の実現は難しい。点ベース FTV に代わる面ベース FTV の実現を目指し、双対基底による展開式を利用して平行投影画像から面を求める解析式を導いた。透視投影画像の場合には平行投影画像に変換して面検出を行った。これにより面を空間情報として持つ新しいシーン表現 MVS (Multi-View plus Surface) と面ベース FTV が可能となった。Free Navigation 実験を行い、面ベース FTV が FTV の視域拡大に有効であることを示した。

キーワード 自由視点テレビ, FTV, 面ベース FTV, MVS, MVD

[Invited Talk] Scene Representation of MPEG-FTV and Surface-Based FTV

Masayuki TANIMOTO[†] Hirokuni KUROKAWA[‡]

[†] Nagoya Industrial Science Research Institute Noa Yotsuya Building 2F, 1-13 Yotsuya-dohri, Chikusa-ku, Nagoya, 464-0819 Japan

[‡] Graduate School of Computer Science and Engineering, University of Aizu, Tsuruga, Ikki-cho, Aizu Wakamatsu, Fukushima-ken, 965-8580 Japan

E-mail: [†] tanimoto.masayuki.r4@a.mail.nagoya-u.ac.jp, [‡] aiguo@u-aizu.ac.jp

Abstract FTV with photo-realistic views and wide viewing zone is needed for future immersive media. However, it is difficult to realize FTV with wide viewing zone by point-based scene representation of MPEG-FTV. We are developing Surface-based FTV based on new scene representation. An expression to detect surface direction from parallel views is derived by using expansion of vector by dual basis. For perspective views, surface direction is detected by combining this expression and perspective-to-parallel view conversion. It enables a new surface-based scene representation MVS (Multi-View plus Surface) and Surface-based FTV. Experiment of free navigation by surface-based FTV is made. Wide viewing zone is achieved by MVS and Surface-based FTV.

Keyword Free-viewpoint Television, FTV, Surface-based FTV, MVS, MVD

1. まえがき

自由視点テレビ FTV (Free-viewpoint Television) [1]-[6]は、ユーザがあたかもその場にいるかのように、自由に視点を変えて遠隔地の情景を見ることが出来る映像メディアである。無限個の視点を持つ FTV は極めて高いセンシングや映像表現の能力を持ち、産業や生活、社会、学術、教育、文化、スポーツ、アミューズメント等、数多くの分野で大きな貢献が期待される。更に、FTV は臨場感の高い没入メディアとして、実環境と仮想環境をシームレスにつなげるインタフェース、革新的なコンテンツ制作ツール、社会の安全性を高める映像情報インフラなどと位置づけられる。このよう

に、FTV は社会的、文化的に大きな意義を持つ。

2001 年に FTV を MPEG に提案し、その標準化活動 MPEG-FTV を推進してきた。これまでに FTV 第 1 フェーズ MVC (Multiview Video Coding) [7]と第 2 フェーズ 3 DV(3D Video) [8]の標準化を終了し、現在は没入メディアを目指した第 3 フェーズ MPEG-I(Immersive)の標準化[9]-[11]を行っている。リアリティの高い没入メディアには広い視野と広い視域の両方が必要である。MPEG-I では 360 度映像によって広い視野を実現しているが、広い視域はまだ実現されていない。

FTV では様々な視点からシーンを撮影し、これを自由視点画像生成に適したシーン表現形式に変換して伝

送する．このため FTV の性能はシーン表現法に強く依存する．

FTV のシーン表現とその空間情報を図 1 に示す．光線情報だけを持ち空間情報を持たないイメージベース FTV は写実性に優れているが，視域が狭い．一方，対象物の 3D モデルを持つモデルベース FTV は写実性に劣るが，視域が広い．このようにイメージベース FTV とモデルベース FTV は逆の性質を持つ．奥行き情報を空間情報として持つ Depth-based FTV はイメージベース FTV とモデルベース FTV の中間の方式である．depth を利用して自由視点画像を生成するが，depth が画素毎に求められているので，空間中の点に対応させるとき面としてのまとまりがない．このため，広い視域の実現が難しい．これを改善するために，同一平面に属すると推定される画素をまとめて大きな画素とする superpixel[12]や，点群の各点を空間中で広らせて点を結合する SPLASH[13]などの手法が提案されている．

これに対して，我々はシーン表現そのものを見直し，点ではなく面情報を持つ新しい面ベース FTV (Surface-based FTV)[14]-[19]を提案した．

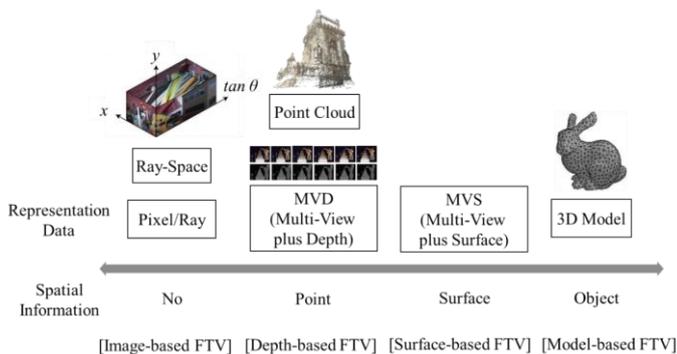


図 1 様々な FTV のシーン表現と空間情報

本報告では，まず MPEG-FTV で開発してきたシーン表現について述べる．次に，それらとは異なる面によるシーン表現 MVS[19]とそれを用いた Surface-based FTV について説明する．光線から面の検出する手法を導き，シミュレーション実験によって提案手法が視域の拡大に有効であることを示す．

2. MPEG-FTV のシーン表現

2.1. FTV 第 1 フェーズ：MVC (Multiview Video Coding)

FTV 標準化の第 1 フェーズである MVC の枠組みを図 2 に示す．MVC のシーン表現は多視点映像 Multiview のみであり，空間情報は持たない．入力と出力の多視点映像数は同じである．画像生成はユーザに任されている．

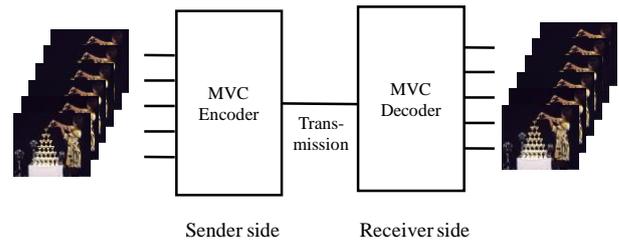


図 2 MVC の枠組み

2.2. FTV 第 2 フェーズ：3D Video

FTV 標準化の第 2 フェーズである 3DV の枠組みを図 3 に示す．3DV のシーン表現は MVD (Multi-View plus Depth) である．MVD は view と depth のペアを視点の数だけ持つ．少数の view と depth を伝送し，受信部で depth を利用して view から画像合成を行い，必要な眼数の多視点映像を生成する．

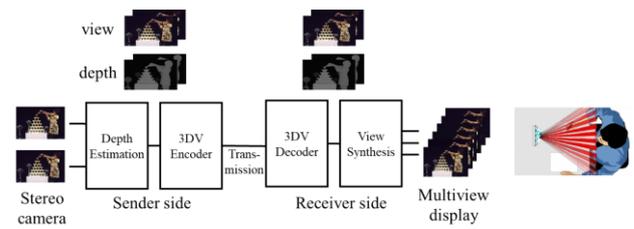


図 3 3DV の枠組み

デフォルトのシーン表現は MVD であるが，その他のシーン表現として GVD (Global View and Depth)[20]が採用された．図 4 に示すように MVD の view と depth は視点間で非常に冗長である．この冗長性を取り除いたものが GVD である．

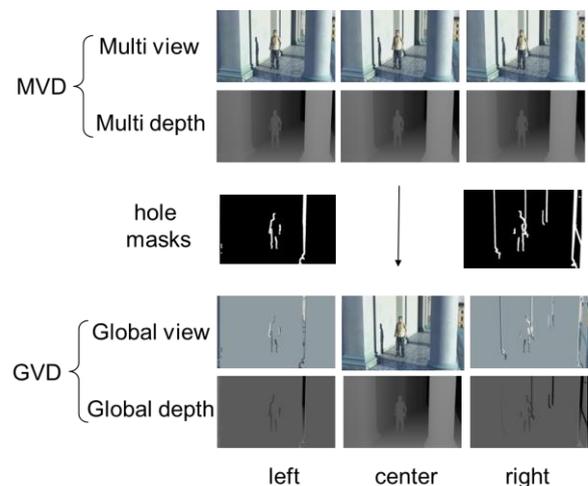


図 4 MVD が持つ視点間の冗長性を除いた GVD

2.3. FTV 第3フェーズ: MIV (MPEG Immersive Video)と LVC (Lenslet Video Coding)

FTV 第3フェーズでは没入メディアの実現を目指し、MIV (MPEG Immersive Video)[21]と LVC (Lenslet Video Coding)の標準化を行っている。

MIVの枠組みを図5に示す。MIVでは360度自由視点を実現する。入力にはFTV第2フェーズと同じMVDである。360度映像では、発散型多視点カメラで撮影する。

図6に示すように、MIVではGVDと同様に視点間の冗長性を除去[22]する。このようにMIVのシーン表現はGVDを360度映像に拡張したものとなっている。LVCでもLenslet映像をMVDに変換して符号化している。

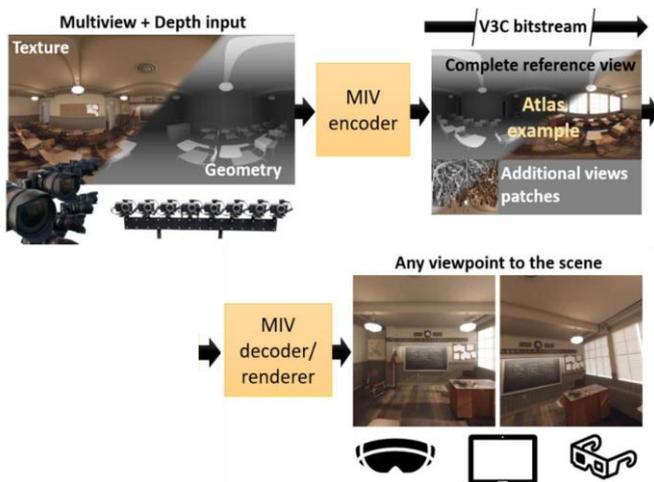


図5 MPEG-Iの枠組み[21]

を360度映像に拡張したものがMIVである。したがって、MVD, GVD, MIVはいずれもdepth, すなわち空間内の点(点群)によってシーンを表現している。

点によるシーン表現は、点の集まりが面としてのまとまりを持たないので、角度を変えてシーンを見ると生成画像が乱れる。この問題を根本的に解決するため、点でなく面を用いるシーン表現を提案した。これが多視点のviewとsurfaceでシーンを表現するMVS(Multiview plus Surface)[19]であり、MVSを用いたFTVが面ベースFTV(Surface-based FTV)である。光線と面の情報を持つSurface-based FTVによってイメージベースの写実性とモデルベースの広視域性を併せ持つ新しいFTVの実現が期待できる。

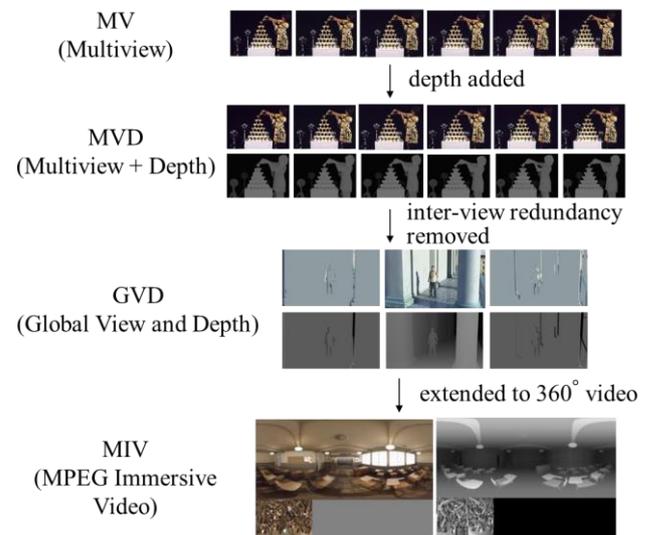


図7 MPEG-FTVのシーン表現の関係

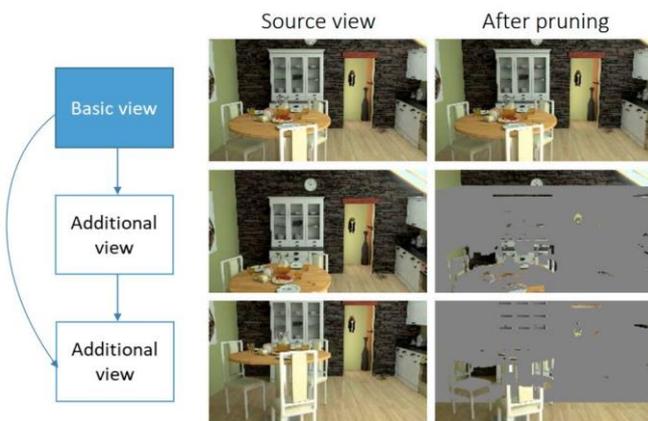


図6 MIVも視点間冗長性を除去[22]

2.4. 点ベースから面ベースのシーン表現へ

MPEG-FTVのシーン表現の関係を図7に示す。MVにdepthを加えたものがMVDであり、MVDが持つ視点間の冗長性を除いたものがGVDである。更に、GVD

3. 面検出の理論

3.1. 非直交基底によるベクトルの展開

任意のN次元ベクトル u はN個の線形独立なベクトル u_k ($k=1,2,\dots,N$)を基底として

$$u = \sum_{k=1}^N c^k u_k \quad (1)$$

と展開できる。このとき、

$$(u^i, u_j) = \delta_{ij} \quad (i, j = 1, 2, \dots, N) \quad (2)$$

を満たすN次元ベクトル u^k ($k=1,2,\dots,N$)を用いると、展開係数 c^k は

$$c^k = (u^k, u) \quad (3)$$

として求められる。この u^k が u_k の双対基底である。逆に、双対基底 u^k ($k=1,2,\dots,N$)を用いれば u は

$$\mathbf{u} = \sum_{k=1}^N c_k \mathbf{u}^k \quad (4)$$

$$c_k = (\mathbf{u}_{j^k}, \mathbf{u}) \quad (5)$$

と展開できる.

(1), (3), (4), (5)より, 展開式は

$$\mathbf{u} = \sum_{k=1}^N (\mathbf{u}^k, \mathbf{u}) \mathbf{u}^k \quad (6)$$

$$\mathbf{u} = \sum_{k=1}^N (\mathbf{u}_k, \mathbf{u}) \mathbf{u}^k \quad (7)$$

となる. \mathbf{u}_k ($k=1,2,\dots,N$)が直交基底の場合には, $\mathbf{u}^k = \mathbf{u}_k$ なので(6)と(7)は一致し, 通常の直交基底による展開となる.

3.2. 双対基底の性質

N次元の双対基底 $\mathbf{u}_k, \mathbf{u}^k$ を列ベクトルで書くと

$$\begin{pmatrix} \mathbf{u}^1 & \mathbf{u}^2 & \dots & \mathbf{u}^N \end{pmatrix}^T \begin{pmatrix} \mathbf{u}_1 & \mathbf{u}_2 & \dots & \mathbf{u}_N \end{pmatrix} = \mathbf{E} \quad (8)$$

が成り立つ. Tは転置, Eは単位行列である. (8)より

$$\begin{pmatrix} \mathbf{u}^1 & \mathbf{u}^2 & \dots & \mathbf{u}^N \end{pmatrix}^T = \begin{pmatrix} \mathbf{u}_1 & \mathbf{u}_2 & \dots & \mathbf{u}_N \end{pmatrix}^{-1} \quad (9)$$

$$\mathbf{u}^k = \frac{(-1)^{k-1}}{\det(\mathbf{u}_1 \mathbf{u}_2 \dots \mathbf{u}_N)} (\mathbf{u}_1 \times \mathbf{u}_2 \times \dots \times (\mathbf{u}_k \text{を除く}) \times \dots \times \mathbf{u}_N) \quad (10)$$

が導かれる. (10)の右辺の括弧内はN次元空間のベクトル積であり, 双対基底ベクトル \mathbf{u}^k が \mathbf{u}_k を除くN-1個のベクトルの張る平面に垂直なN次元ベクトルであることを示す. また, (9)より

$$\det(\mathbf{u}^1 \mathbf{u}^2 \dots \mathbf{u}^N) = \frac{1}{\det(\mathbf{u}_1 \mathbf{u}_2 \dots \mathbf{u}_N)} \quad (11)$$

が成り立つ.

N=2の場合の双対基底の関係を図8に示す. 双対基底ベクトルの成す角は一方が鋭角なら他方は鈍角であり, 両者は補角の関係にある. すなわち, $\theta_{12} + \theta^{12} = \pi$ が成り立つ.

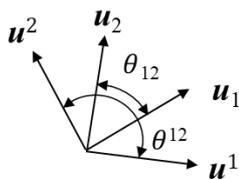


図8 N=2の双対基底の関係($\theta_{12} + \theta^{12} = \pi$)

N=3の場合にもN=2の場合と同様の関係がある.

N=3の双対基底は, (10)より

$$\begin{aligned} \mathbf{u}^1 &= \frac{\mathbf{u}_2 \times \mathbf{u}_3}{\det(\mathbf{u}_1 \mathbf{u}_2 \mathbf{u}_3)} \\ \mathbf{u}^2 &= \frac{\mathbf{u}_3 \times \mathbf{u}_1}{\det(\mathbf{u}_1 \mathbf{u}_2 \mathbf{u}_3)} \\ \mathbf{u}^3 &= \frac{\mathbf{u}_1 \times \mathbf{u}_2}{\det(\mathbf{u}_1 \mathbf{u}_2 \mathbf{u}_3)} \end{aligned} \quad (12)$$

である. すなわち, $\mathbf{u}^1, \mathbf{u}^2, \mathbf{u}^3$ は $\mathbf{u}_1, \mathbf{u}_2, \mathbf{u}_3$ の外積である. このとき $\mathbf{u}_1, \mathbf{u}_2, \mathbf{u}_3$ と $\mathbf{u}^1, \mathbf{u}^2, \mathbf{u}^3$ の関係は図9のようになり, $\alpha_1 + \theta^{23} = \pi$ が成り立つ.

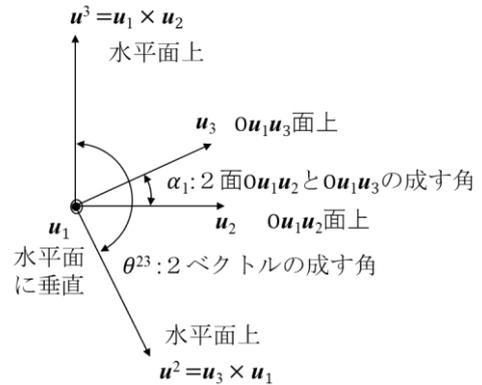


図9 N=3の双対基底の関係($\alpha_1 + \theta^{23} = \pi$)

これを一般化すると, N=3の双対基底が作る二つの球面三角形の内角と辺を図10のように定義するとき, (13)の関係が成り立つ. すなわち, 内角と辺が互いに補角で, 一方の球面三角形が大きいと他方の球面三角形は小さい.

$$\begin{aligned} \alpha_1 + \theta^{23} &= \pi & \alpha^1 + \theta_{23} &= \pi \\ \alpha_2 + \theta^{31} &= \pi & \alpha^2 + \theta_{31} &= \pi \\ \alpha_3 + \theta^{12} &= \pi & \alpha^3 + \theta_{12} &= \pi \end{aligned} \quad (13)$$

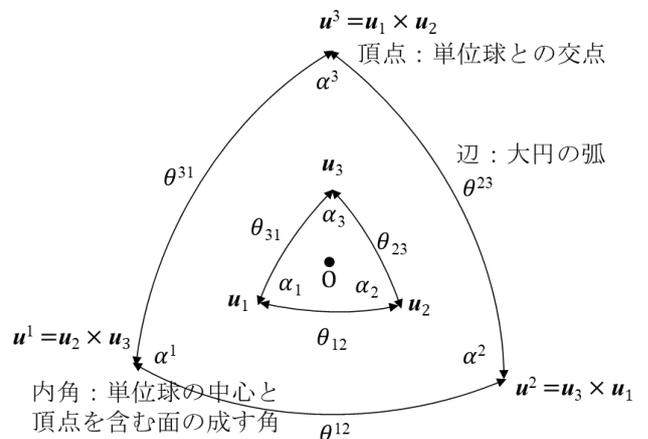


図10 N=3の双対基底が作る球面三角形の内角と辺

方向ベクトル u_1, u_2, u_3 とその外積 $u_1 \times u_2, u_2 \times u_3, u_3 \times u_1$ から二つの球面三角形を求め、(13) の関係が成り立つことを確認した。図 1 1 は u_1, u_2, u_3 の開口が狭い場合で、 $u_1 \times u_2, u_2 \times u_3, u_3 \times u_1$ の開口は広い。図 1 2 は u_1, u_2, u_3 の開口が広い場合で、 $u_1 \times u_2, u_2 \times u_3, u_3 \times u_1$ の開口は狭い。

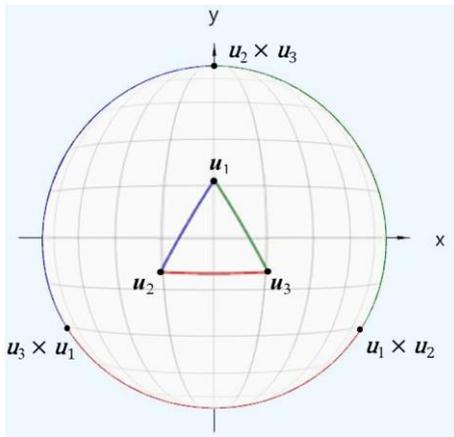


図 1 1 球面三角形の双対関係 1 : 基底 u_1, u_2, u_3 の開口が狭いと双対基底 $u_1 \times u_2, u_2 \times u_3, u_3 \times u_1$ の開口が広い

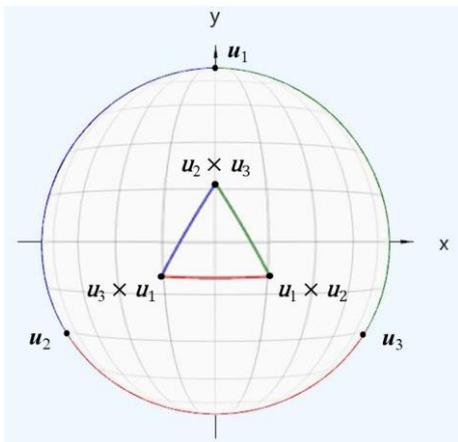


図 1 2 球面三角形の双対関係 2 : 基底 u_1, u_2, u_3 の開口が広いと双対基底 $u_1 \times u_2, u_2 \times u_3, u_3 \times u_1$ の開口が狭い

3.3. 双対基底を用いた面検出

3次元の双対基底による展開式(7)を用いて、面を検出することができる。N=3 のとき、(12)を(7)に代入すると

$$u = \frac{(u_1, u)(u_2 \times u_3) + (u_2, u)(u_3 \times u_1) + (u_3, u)(u_1 \times u_2)}{\det(u_1, u_2, u_3)} \quad (14)$$

図 1 3 に示すように、法線ベクトル u_0 を持つ面 S_0 を 3 方向 u_1, u_2, u_3 から見たときの平行投影画像を S_1, S_2, S_3 とする。これを(14)に対応させて u_0 を求める。 $u = u_0$ とすると(14) は

$$u_0 = \frac{(u_1, u_0)(u_2 \times u_3) + (u_2, u_0)(u_3 \times u_1) + (u_3, u_0)(u_1 \times u_2)}{\det(u_1, u_2, u_3)} \quad (15)$$

(15)は恒等式であり、これを解いて u_0 を求める方程式ではない。しかし、右辺の u_0 を含む項の値が測定できれば、(15)の右辺を計算して u_0 を求めることができる。

平行投影画像 S_1, S_2, S_3 の面積を S_1, S_2, S_3 、面 S_0 の面積を S_0 とすると、 u_0, u_1, u_2, u_3 が単位ベクトルのとき

$$\begin{aligned} (u_0, u_1) &= S_1/S_0 \\ (u_0, u_2) &= S_2/S_0 \\ (u_0, u_3) &= S_3/S_0 \end{aligned} \quad (16)$$

が成り立つ。(16)を(15)に代入すると

$$u_0 = \frac{S_1(u_2 \times u_3) + S_2(u_3 \times u_1) + S_3(u_1 \times u_2)}{\det(u_1, u_2, u_3)S_0} \quad (17)$$

となる。方向ベクトルでは大きさは重要でなく、方向のみが意味を持つので、(17)の分母を省略して

$$u_0 = S_1(u_2 \times u_3) + S_2(u_3 \times u_1) + S_3(u_1 \times u_2) \quad (18)$$

と書いてもよい。したがって、3方向から見た面積 S_1, S_2, S_3 が測定できれば、(18) から面の方向 u_0 を決定することができる。

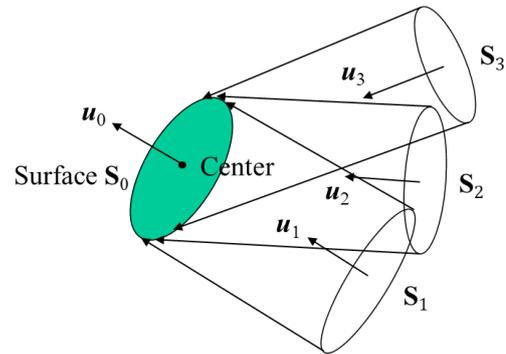


図 1 3 3 方向 u_0, u_1, u_2, u_3 から見た平行投影画像 S_1, S_2, S_3 から面方向 u_0 を検出

3.4. カメラ配置と面の検出範囲

(18)は面の法線ベクトル u_0 が、3個の方向ベクトル u_1, u_2, u_3 の外積 $u_2 \times u_3, u_3 \times u_1, u_1 \times u_2$ を面積 S_1, S_2, S_3 で重み加算して得られることを示す。このため、図 1 4 に示す方位球上の範囲が面方向の検出可能範囲となる。これは $u_2 \times u_3, u_3 \times u_1, u_1 \times u_2$ を頂点とする球面三角形の内部であり、この範囲では u_1, u_2, u_3 のいずれの方向からも面の表面が見える。 u_0 がこの範囲を超える

と、 S_1, S_2, S_3 の少なくとも一つが求まらないので面を検出できない。

この球面三角形の各辺は大円の弧であり、それぞれの辺上では $S_1=0, S_2=0, S_3=0$ となっている。 $S_1=0$ の辺を作る大円は \mathbf{u}_1 に垂直な方向ベクトルの集合である。したがって、 $S_1=0$ の辺と $S_2=0$ の辺が交わる頂点は \mathbf{u}_1 と \mathbf{u}_2 の両方に垂直な方向、すなわち $\mathbf{u}_1 \times \mathbf{u}_2$ となる。同様に、 $S_2=0$ の辺と $S_3=0$ の辺が交わる頂点は $\mathbf{u}_2 \times \mathbf{u}_3, S_3=0$ の辺と $S_1=0$ の辺が交わる頂点は $\mathbf{u}_3 \times \mathbf{u}_1$ となる。

カメラから面を見る3方向 $\mathbf{u}_1, \mathbf{u}_2, \mathbf{u}_3$ と面検出範囲の球面三角形の3頂点 $\mathbf{u}_1 \times \mathbf{u}_2, \mathbf{u}_2 \times \mathbf{u}_3, \mathbf{u}_3 \times \mathbf{u}_1$ は双対の関係にある。図15に示すように、基底 $\mathbf{u}_1, \mathbf{u}_2, \mathbf{u}_3$ から双対基底 $\mathbf{u}_1 \times \mathbf{u}_2, \mathbf{u}_2 \times \mathbf{u}_3, \mathbf{u}_3 \times \mathbf{u}_1$ を作り、更にその双対基底を作ると元の $\mathbf{u}_1, \mathbf{u}_2, \mathbf{u}_3$ に戻る。したがって、カメラから面を見る方向と面検出範囲の関係は入れ替えても成り立つ。3章の図11と図12はその例である。

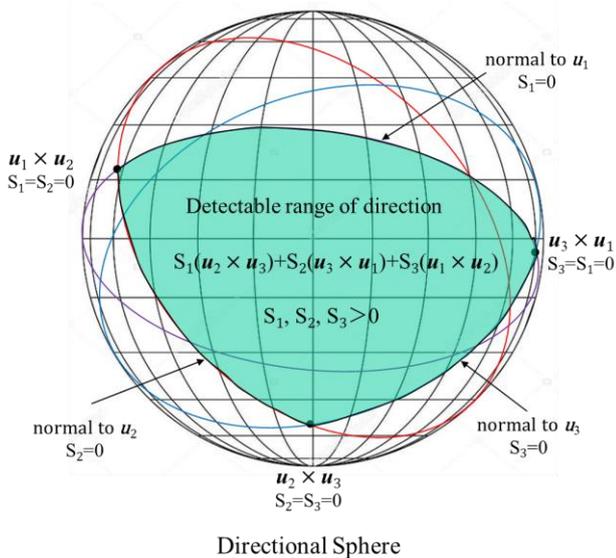


図14 面方向の検出可能範囲

$$\begin{array}{c}
 \text{vector product} \\
 \frac{\mathbf{u}_2 \times \mathbf{u}_3}{\det(\mathbf{u}_1, \mathbf{u}_2, \mathbf{u}_3)} \\
 \leftarrow \\
 \mathbf{u}_1, \mathbf{u}_2, \mathbf{u}_3 \\
 \rightarrow \\
 \frac{\text{vector product}}{\det(\mathbf{u}^1, \mathbf{u}^2, \mathbf{u}^3)}
 \end{array}
 \left\{
 \begin{array}{l}
 \mathbf{u}^1 = \frac{\mathbf{u}_2 \times \mathbf{u}_3}{\det(\mathbf{u}_1, \mathbf{u}_2, \mathbf{u}_3)} \\
 \mathbf{u}^2 = \frac{\mathbf{u}_3 \times \mathbf{u}_1}{\det(\mathbf{u}_1, \mathbf{u}_2, \mathbf{u}_3)} \\
 \mathbf{u}^3 = \frac{\mathbf{u}_1 \times \mathbf{u}_2}{\det(\mathbf{u}_1, \mathbf{u}_2, \mathbf{u}_3)}
 \end{array}
 \right.$$

図15 双対基底の双対基底は元の基底

4. 面検出の実験

4.1. 面検出のフローチャート

カメラで撮影する画像は透視投影画像なので、透視投影画像を平行投影画像に変換して3章の理論を適用

した。透視投影画像を平行投影画像に変換する手法「Perspective-Parallel View Conversion」は \mathbf{u}_0 の真値を入力すると平行投影画像の正しい面積を出力するが、 \mathbf{u}_0 の真値は分かっていない。一方、3章の手法「 \mathbf{u}_0 Detection from Parallel Views」は平行投影画像の正しい面積を入力すると \mathbf{u}_0 の真値を出力する。そこで両手法の入力と出力をつないでループにし、反復演算で \mathbf{u}_0 を求めた。

両手法を組み合わせた面の検出法のフローチャートを図16に示す。まず、3枚の透視投影画像 $\mathbf{W}_1, \mathbf{W}_2, \mathbf{W}_3$ とカメラパラメータを与える。次に \mathbf{u}_0 の初期値を与え、「Perspective-Parallel View Conversion」部に入力し、 $\mathbf{W}_1, \mathbf{W}_2, \mathbf{W}_3$ の各々から面の面積 S_{01}, S_{02}, S_{03} を求める。 S_{01}, S_{02}, S_{03} の差が ϵ 以下に収束すれば、そのときの \mathbf{u}_0 と重心の位置 X_c, Y_c, Z_c を出力して終了する。そうでなければ、平行投影画像の面積 S'_1, S'_2, S'_3 を出力する。これを「 \mathbf{u}_0 Detection from Parallel Views」部に入力して新しい \mathbf{u}_0 の値を得る。この値で \mathbf{u}_0 を更新し、「Perspective-Parallel View Conversion」部に入力して処理を繰り返す。

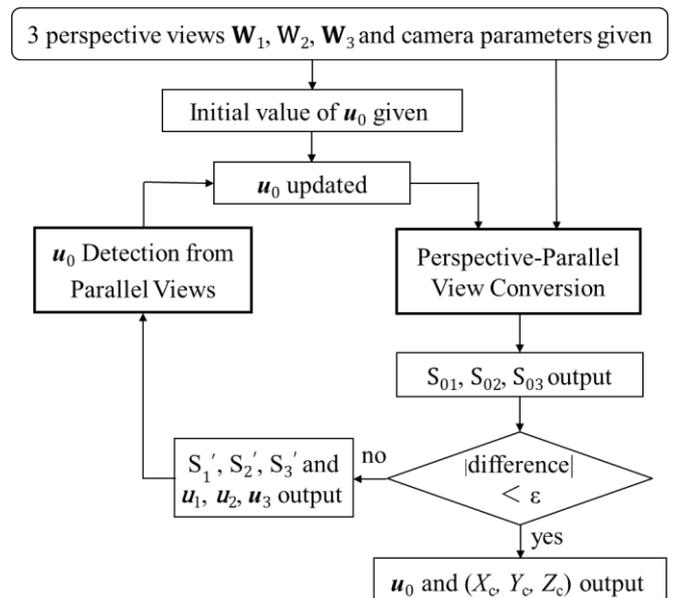


図16 透視投影画像から面を検出する処理

4.2. 実験

図16の手法による \mathbf{u}_0 の検出実験を行った。図17, 18は様々な初期値を与えて真値へ収束する過程を調べたものである。図17では理論的な収束範囲の境界近くの初期値から数回の反復で真値に収束している。図18は収束範囲の中心を初期値とした場合で、真値が収束範囲の境界近くであっても1~2回の反復で収束する。このように、提案手法が面検出に有効である

ことが示された。

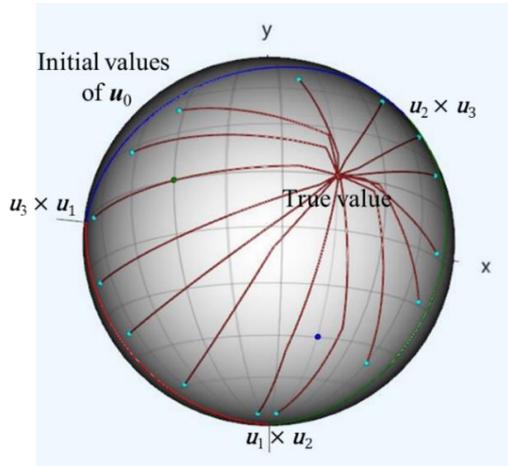


図 17 面方向の収束過程 1 :
初期値が周辺の場合

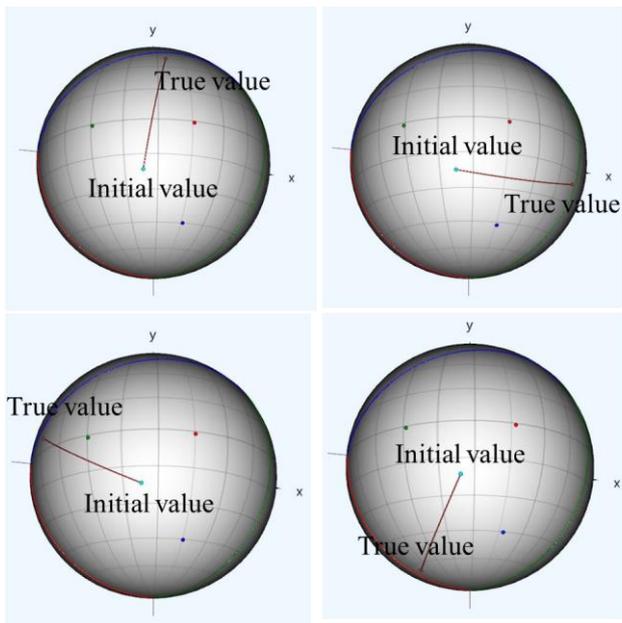


図 18 面方向の収束過程 2 :
初期値が中央, 真値が周辺の場合

5. Free Navigation の実験

対象物を 7 台のカメラで全方向から撮影し, Surface-Based FTV による Free Navigation 実験を行った. カメラ配置は図 19 に示すように上下 2 段で, 上段には 4 台, 下段には 3 台を配置した. 対象物は四面体で, どの面も 3 台のカメラで撮影される. カメラも対象物も静止している. Free Navigation のために移動する仮想カメラの軌跡は図 19 の例では水平の円と垂直の円である.

自由視点画像生成に用いる面の検出には, 仮想カメラの位置毎に最も近い 3 台の実カメラ画像から求めた面の面積を用いた. 実験結果の一例を図 20 に示す. 面ベースの画像生成により, 7 台のカメラで 360 度の広い視域を実現できた.

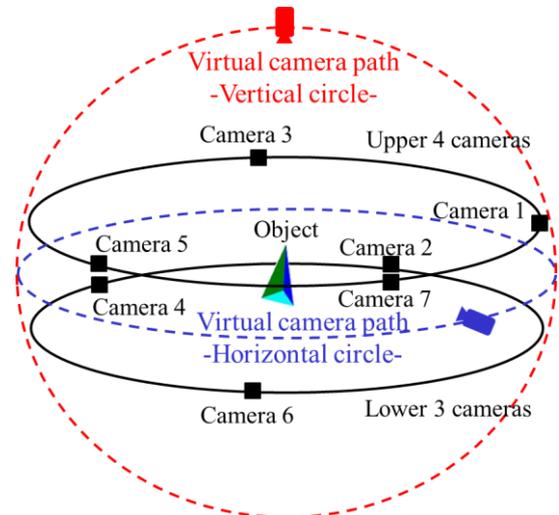
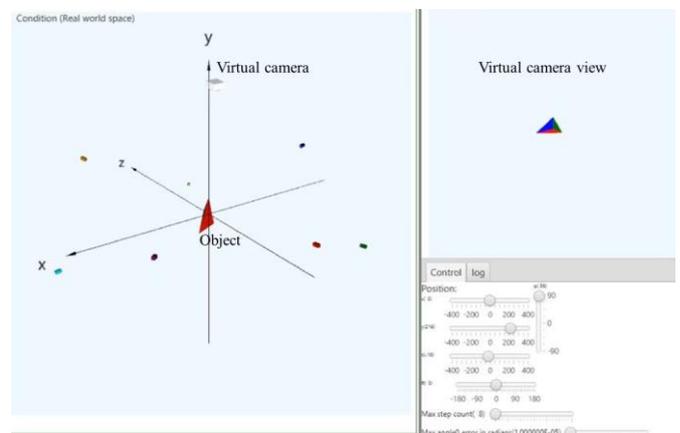


図 19 対象物を撮影する疎なカメラ配置と仮想カメラの軌跡



(a) 実空間での視点移動 (b) 自由視点画像

図 20 Surface-Based FTV の Free Navigation 実験 (動画の 1 シーン)

6. むすび

平行投影の場合に面が放射する平行光線の方向ベクトルと面の法線ベクトルの関係を解析し, 3 方向の平行投影画像と面の法線ベクトルの関係式を導出した. これによって, 面の法線ベクトル u_0 が 3 個の方向ベクトル u_1, u_2, u_3 の外積 $u_2 \times u_3, u_3 \times u_1, u_1 \times u_2$ を平行投影画像の面積 S_1, S_2, S_3 で重み加算して得られることを明らかにした. 面を見る 3 方向 u_1, u_2, u_3 が与えられ

たとき, $u_2 \times u_3$, $u_3 \times u_1$, $u_1 \times u_2$ を 3 頂点とする球面三角形の内部が面方向の検出可能範囲となる.

カメラで撮影する透視投影の場合については, 平行投影画像から面を求める解析式と透視投影画像を平行投影画像に変換する手法を組み合わせ, 反復演算で面方向を求める手法を開発した.

これにより, 点を空間情報として持つ従来のシーン表現に代わる, 面を空間情報として持つ新しいシーン表現 MVS (Multi-View plus Surface) が可能となった. Surface-based FTV による Free Navigation 実験を行い, MVS が FTV の視域拡大に有効であることを示した.

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 21K04072 の助成によって行われた.

文 献

- [1] Masayuki Tanimoto, Mehrdad Panahpour Tehrani, Toshiaki Fujii, Tomohiro Yendo, "Free-Viewpoint TV", IEEE Signal Processing Magazine, vol.28, no.1, pp.67-76, January 2011.
- [2] Masayuki Tanimoto, Mehrdad Panahpour Tehrani, Toshiaki Fujii, Tomohiro Yendo, "FTV for 3-D Spatial Communication", Proceedings of the IEEE, Vol. 100, No. 4, pp. 905-917 (April 2012). (invited paper)
- [3] Masayuki Tanimoto, "FTV: Free-viewpoint Television", Signal Processing: Image Communication, Vol. 27, Issue 6, pp. 555-570 (June 2012). doi:10.1016/j.image.2012.02.016 (invited paper)
- [4] Masayuki Tanimoto, "FTV (Free-viewpoint Television)", APSIPA Transactions on Signal and Information Processing, Vol. 1, Issue 1, e4 (14 pages) (August 2012). doi: 10.1017/ATSIP.2012.5 (invited paper)
- [5] Masayuki Tanimoto, "FTV Technologies and Standards", IEEE COMSOC MMTC E-Letter, Vol.10, No.2, pp.7-10, March 2015.
- [6] 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. (Invited paper)
- [7] "Introduction to Multi-view Video Coding", ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N7328, July 2005.
- [8] "Introduction to 3D Video", ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N9784, Archamps, France, May 2008.
- [9] M. Tanimoto, T. Senoh, S. Naito, S. Shimizu, H. Horimai, M. Domański, A. Vetro, M. Preda and K. Mueller, "Proposal on a New Activity for the Third Phase of FTV," ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG2013/M30229, Vienna, Austria, July 2013.
- [10] "Use Cases and Requirements on Free-viewpoint Television (FTV) v.3," ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG2016/N16130, San Diego, USA, February 2016.
- [11] "Summary on MPEG-I Visual Activities," ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG2018/N17717, Ljubljana, Slovenia, July 2018.
- [12] T. Tezuka, M. Panahpour Tehrani, K. Suzuki, K. Takahashi, T. Fujii, "View Synthesis Using Superpixel Based Inpainting Capable of Occlusion Handling and Hole Filling," Picture Coding Symposium (PCS), pp. 124-128, May-June 2015.
- [13] R. Pagés, S. García, D. Berjón, F. Morán, "SPLASH: A Hybrid 3D Modeling/Rendering Approach Mixing Splats and Meshes", 20th Int. Conf. on 3D Web Technology, Web3D 2015, Heraklion, Greece, pp. 231-234, 18-21 Jun. 2015.
- [14] M. Tanimoto and Hirokuni Kurokawa, "New Framework of FTV," ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG2016/M38547, Geneva, Switzerland, May 2016.
- [15] Masayuki Tanimoto and Hirokuni Kurokawa, "Integration of Image-Based and Model-Based Methods for FTV", ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG2019/N49154, Gothenburg, Sweden, July 2019.
- [16] 谷本 正幸, 黒川 弘国, "FTVのためのイメージベースとモデルベースの統合", 映像情報メディア学会技術研究報告, Vol. 43, No. 30, ME2019-113, pp.45-51, 2019年9月. (招待講演)
- [17] 谷本 正幸, 黒川 弘国, "空中立体像FTVを目指して", 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 119, no. 323, CS2019-79 IE2019-59, pp. 69-74, 2019年12月. (特別招待講演)
- [18] 谷本 正幸, 黒川 弘国, "FTVの新しい構築原理を目指して", 映像情報メディア学会技術研究報告, Vol. 44, No. 18, ME2020-87, pp.13-20, 2020年9月. (招待講演)
- [19] 谷本 正幸, 黒川 弘国, "Surface-Based FTVの提案", 映像情報メディア学会技術研究報告, Vol. 45, No. 22, ME2021-69, pp.43-50, 2021年8月. (招待講演)
- [20] Masayuki Tanimoto, Kazuyoshi Suzuki, "Global View and Depth (GVD) Format for FTV/3DTV", Proc. of SPIE, Vol.8738, 8738-4 (April 2013). (invited paper)
- [21] <https://mpeg-miv.org/index.php/home/>
- [22] <https://mpeg-miv.org/wp-content/uploads/2021/12/3-MIV-tutorial-part-2-b.pdf>