[招待講演] Surface-Based FTV の提案

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@nagoya-u.jp, *‡*aiguo@u-aizu.ac.jp

あらまし 高い写実性と広い視域を持つ次世代FTVとしてSurface-Based FTVを提案した.代表的なFTVとして、 実写画像を用いるイメージベース FTV と物体の3Dモデルを用いるモデルベース FTV がある.前者は写実性に優 れているが,視域が狭い.一方,後者は視域は広いが,写実性に劣る.Surface-Based FTV は3Dシーンを面で表し, 面と光線を用いて自由視点画像を生成するため,イメージベース FTV とモデルベース FTV の長所を併せ持つ.光 線と面の関係を解析し、3方向の平行投影画像と透視投影画像から面を検出する手法を導いた. キーワード 自由視点テレビ,FTV, Surface-Based FTV,イメージベース FTV,モデルベース FTV

[Invited Talk] Proposal of 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@nagoya-u.jp, ‡ aiguo@u-aizu.ac.jp

Abstract Surface-Based FTV is proposed for next-generation FTV with photo-realistic views and wide viewing zone. The idea is to integrate image-based FTV with photo-realistic views and model-based FTV with wide viewing zone. Surface-Based FTV has advantages of both types of FTV because it represents 3D scenes by surfaces and uses ray and surface information for view synthesis. Analyzing relation between ray and surface, a method to detect surfaces from parallel and perspective views in three directions.

Keyword Free-viewpoint Television, FTV, Surface-Based FTV, image-based FTV, model-based FTV

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できる 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、人と 仮想環境をシームレスにつなげるヒューマンインタフ 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,現在は第 3 フェーズ MPEG-I(Immersive)の標準化[9]-[11]を行っている.

映像メディアの進歩とFTVの位置付けを図1に示す. 横軸は画素数または視野の広さ,縦軸は視点数または 視域の広さである.横方向の矢印は標準テレビから2K テレビ,4K/8K テレビへと進む解像度の向上を示す. これは視野の拡大でもあり,360 度映像がそのゴール である.

これに対して、縦方向の矢印は2D(2次元)テレビ から2眼式のステレオテレビ、多眼式の多視点テレビ へと進む視点数の増加を示す.視点数を増やすと視域 が広がる.視点数を更に増やして無限大にしたものが FTVである.リアリティの高い没入メディアには広い

視野と視域の両方が必要である.



Number of pixels / FoV (Field of View)

映像メディアの進歩と FTV の位置付け 図 1

FTV の構成を図2に示す.多数のカメラ(多視点カ メラ) でシーンを撮影する. カメラ配置は, シーンを 一方向から見る場合には図3(a)の平行型,様々な方向 からのぞき込む場合には同図(b)の収束型,様々な方向 を見回す場合には同図(c)の発散型とする.撮影データ は伝送や画像生成に適したシーン表現形式に変換され る.このシーン表現データから自由視点画像を生成す るため、FTVの性能はシーン表現法に強く依存する.

代表的なシーン表現法として、光線を用いるイメー ジベース法と物体の3Dモデルを用いるモデルベース 法がある. 光線空間[12]-[15]はイメージベースのシー ン表現法である.

イメージベース FTV とモデルベース FTV は相補的 な特徴を持つ. イメージベース法は写実性に優れてい るが, 視域が狭い. 一方, モデルベース法は写実性に 劣るが,視域が広い.このような相補関係は,静止画 表現法のラスター形式(画素ベース)とベクトル形式 (図形ベース)においてもみられる普遍的な関係であ る. 光線情報から3Dモデルを生成できれば、写実性 と広視域性を併せ持つイメージベース法とモデルベー ス法の統合方式[16]-[20]が実現できる.



Sender side

図 2 FTV の構成

本報告では面をベースとするシーン表現法による 新しい FTV を提案する.2章ではイメージベース法と モデルベース法の中間方式である Depth-Based FTV の 特徴を説明し、その弱点を克服する Surface-Based FTV を提案する. 3章では Surface-Based FTV の実現に必 要な平行投影画像からの面の検出法を導く. 4 章では 3章の手法を利用して透視投影画像から面を検出する 手法を提案する.5章ではシミュレーション実験によ って提案手法を検証する.

2. Depth-Based FTV の特徴と Surface-Based FTV の提案

2.1. Depth-Based FTV とその特徴

Depth-Based FTV は MPEG の FTV 第2フェーズで開 発された方式である. Depth-Based FTV の構成を図3 に示す.この FTV では多数の view と depth で 3 D シー ンを表現する. これが MVD(Multi-View plus Depth)で ある. Depth-Based FTV を実現するために, Depth Estimation Reference Software (DERS) [21] & View Synthesis Reference Software (VSRS) [22]が開発された.

図 4 (a)に示すように MVD の view と depth はカメラ 間で非常に冗長である.この冗長性を取り除いた方式 が同図(b)に示す GVD(Global View plus Depth)である. MVD と GVD は MPEG の 3DV(3D Video)標準化で採用 された.MVDとGVDを360度映像に拡張したものが, MPEG-I 標準化の MIV(MPEG Immersive Video)にも採 用されている.

view の各画素は光線の入射方向を示すので、光線を depth の距離だけ遡ると, 画素と depth の 1 組から光源 の1点が得られる.図5に示すように、これを全ての 画素について行うと MVD から点群(Point Cloud)が得 られる.光線と点情報の両方を持つ MVD を利用する Depth-Based FTV はイメージベースとモデルベースの 中間方式であるが、各点が別個に求められているので 物体の面としてのまとまりがない.このため,正面か ら離れて異なる方向からシーンを見ると depth 誤差の 影響が大きくなる.



図 3 Depth-Based FTV の構成



図4 MVD の冗長性を取り除いた GVD.



図 5 MVD と Point Cloud の関係

2.2. Surface-Based FTV の提案

点をベースとする FTV の弱点を克服するため, 面を ベースとする Surface-Based FTV を提案する. Surface-Based FTV では光線から検出した面情報を空 間情報として持つ MVS(Multi-View plus Surface)でシー ンを表現する. MVS と Surface-Based FTV の位置付け を図6に示す. 光線と面の情報を持つ MVS はイメー ジベース法とモデルベース法を統合する方式であるた め, 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 の実現が期待される.

以下の3章, 4章では Surface-Based FTV に必要な 光線情報から面を検出する手法について述べる.



[Image-based FTV] [Depth-based FTV] [Surface-based FTV] [Model-based FTV]

図6 様々な FTV のシーン表現法と空間情報

3. 平行投影画像からの面の検出

3.1. 検出式の導出

図7に示す3枚の平行投影画像から面を検出する 手法を説明する.法線ベクトル u0を持つ面 S0を3方 向 u1, u2, u3から見たときの平行投影画像を S1, S2, S3 とする. u1, u2, u3は1次独立とする.平行投影画像 S1, S2, S3の面積を S1, S2, S3,面 S0の面積を S0とする と, u0, u1, u2, u3が単位ベクトルのとき

$(\boldsymbol{u}_0, \boldsymbol{u}_1) = \mathbf{S}_1 / \mathbf{S}_0$	(1)
$(\boldsymbol{u}_0, \boldsymbol{u}_2) = \mathbf{S}_2 / \mathbf{S}_0$	(2)
$(\boldsymbol{u}_0,\boldsymbol{u}_3)=\mathbf{S}_3/\mathbf{S}_0$	(3)
が成り立つ.	

det $[(u_2 \times u_3) (u_3 \times u_1) (u_1 \times u_2)] = [det(u_1 u_2 u_3)]^2$ (4) であるから、 u_1 、 u_2 、 u_3 が1次独立のとき、それらの 外積 $u_2 \times u_3$ 、 $u_3 \times u_1$ 、 $u_1 \times u_2$ も1次独立となる、した がって

$$u_0 = k_1(u_2 \times u_3) + k_2(u_3 \times u_1) + k_3(u_1 \times u_2)$$
 (5)
と表せる.

(5)の両辺と u1 との内積を取ると

 $(u_0, u_1) = k_1(u_2 \times u_3, u_1) + k_2(u_3 \times u_1, u_1) + k_3(u_1 \times u_2, u_1)$ = k_1det(u_2, u_3, u_1) + k_2det(u_3, u_1, u_1) + k_3det(u_1, u_2, u_1) = k_1det(u_1, u_2, u_3) (6) (6) $\downarrow \emptyset$

$$\mathbf{k}_{1} = \frac{(\boldsymbol{u}_{0} \times \boldsymbol{u}_{1})}{\det(\boldsymbol{u}_{1} \boldsymbol{u}_{2} \boldsymbol{u}_{3})}$$
(7)

同様にして

$$\mathbf{k}_{2} = \frac{(\boldsymbol{u}_{0} \times \boldsymbol{u}_{2})}{\det(\boldsymbol{u}_{1} \boldsymbol{u}_{2} \boldsymbol{u}_{3})}$$
(8)

$$\mathbf{k}_{3} = \frac{(\boldsymbol{u}_{0} \times \boldsymbol{u}_{3})}{\det(\boldsymbol{u}_{1} \boldsymbol{u}_{2} \boldsymbol{u}_{3})} \tag{9}$$

(7), (8), (9)を(6)に代入すると

$$u_{0} = \frac{(u_{0}, u_{1})(u_{2} \times u_{3}) + (u_{0}, u_{2})(u_{3} \times u_{1}) + (u_{0}, u_{3})(u_{1} \times u_{2})}{\det(u_{1}u_{2}u_{3})}$$
(10)
(1), (2), (3)を(10)に代入すると

$$u_{0} = \frac{S_{1}(u_{2} \times u_{3}) + S_{2}(u_{3} \times u_{1}) + S_{3}(u_{1} \times u_{2})}{\det(u_{1}u_{2}u_{3})S_{0}}$$
(11)

となる.

$$\mathbf{v}_{0} = \frac{\mathbf{S}_{1}(\mathbf{u}_{2} \times \mathbf{u}_{3}) + \mathbf{S}_{2}(\mathbf{u}_{3} \times \mathbf{u}_{1}) + \mathbf{S}_{3}(\mathbf{u}_{1} \times \mathbf{u}_{2})}{\det(\mathbf{u}_{1}\mathbf{u}_{2}\mathbf{u}_{3})}$$
(12)

と置くと, (11)は $\boldsymbol{u}_0 = \frac{\boldsymbol{v}_0}{\|\boldsymbol{v}_0\|}$

と書ける.面の面積 Soが分からなくても,3方向から 見た面積 S1, S2, S3が分かれば,(12),(13)から uo を決 定することができる.

[(10)の別解]

ベクトル四重積の公式

(**a**×**b**)×(**c**×**d**)=[**a**,**b**,**d**]**c**-[**a**,**b**,**c**]**d**=[**a**,**c**,**d**]**b**-[**b**,**c**,**d**]**a** (14) を変形して

[**a**,**b**,**c**]**d**=[**d**,**b**,**c**]**a**+[**a**,**d**,**c**]**b**+[**a**,**b**,**d**]**c** (15) ここで, [**a**,**b**,**c**]は行列式 det(**a b c**)を表す. (15)で

$$\mathbf{a} = \boldsymbol{u}_2 \times \boldsymbol{u}_3, \, \mathbf{b} = \boldsymbol{u}_3 \times \boldsymbol{u}_1, \, \mathbf{c} = \boldsymbol{u}_1 \times \boldsymbol{u}_2, \, \mathbf{d} = \boldsymbol{u}_0 \tag{16}$$

と置くと

 $\begin{bmatrix} (u_2 \times u_3), & (u_3 \times u_1), & (u_1 \times u_2) \end{bmatrix} u_0 = \begin{bmatrix} u_0, & (u_3 \times u_1), & (u_1 \times u_2) \end{bmatrix} (u_2 \times u_3)$ + $\begin{bmatrix} (u_2 \times u_3), & u_0, & (u_1 \times u_2) \end{bmatrix} (u_3 \times u_1) + \begin{bmatrix} (u_2 \times u_3), & (u_3 \times u_1), & u_0 \end{bmatrix} (u_1 \times u_2)$

(17)

(13)

となる. (17)の各項を

 $[(u_2 \times u_3), (u_3 \times u_1), (u_1 \times u_2)] = [\det(u_1 u_2 u_3)]^2$

 $[u_0, (u_3 \times u_1), (u_1 \times u_2)] = \det(u_1 u_2 u_3)(u_0, u_1)$

 $[(u_2 \times u_3), u_0, (u_1 \times u_2)] = \det(u_1 u_2 u_3)(u_0, u_2)$

 $[(u_2 \times u_3), (u_3 \times u_1), u_0] = \det(u_1 u_2 u_3)(u_0, u_3)$





3.2. 検出の条件

(11)は面の法線ベクトル uo が、3個の方向ベクトル u1, u2, u3の外積 u2×u3, u3×u1, u1×u2 を面積 S1, S2, S3 で重み加算して得られることを示す. u1, u2, u3 の重 み加算でないのは, u1, u2, u3 のいずれの方向からも 面の表面が見えないといけないからである. この3方 向の全てから面の表面が見えて, S1, S2, S3 が正の値を とるには,図8に示すように,面に垂直な法線方向 u0 が u2×u3, u3×u1, u1×u2 で挟まれる範囲になければなら ない. u0 がこの範囲を超えると, S1, S2, S3 の少なくと も一つが求まらないので検出できない.

図9は面の方向の検出可能範囲を方位球上に示し たものである. $u_2 \times u_3$, $u_3 \times u_1$, $u_1 \times u_2$ を頂点とする球面3 角形の内部が検出可能範囲となる. この球面3角形の 各辺は大円の弧であり, それぞれの辺上では S₁=0, S₂=0, S₃=0 となっている. したがって, S₁=0の辺と S₂=0 の辺が交わる頂点が $u_1 \times u_2$, S₂=0の辺と S₃=0の辺が交 わる頂点が $u_3 \times u_1$, S₃=0の辺と S₁=0の辺が交わる頂点 が $u_3 \times u_1$ となっている. また, S₁=0の辺を作る大円は u_1 に垂直な方向ベクトルの集合である.

3個のベクトル u1, u2, u3から3個の外積 u1×u2, u2×u3, u3×u1 を作り, 更にその外積 (u3×u1)×(u1×u2), (u2×u3)×(u3×u1), (u1×u2)×(u2×u3)を作ると

 $(u_3 \times u_1) \times (u_1 \times u_2) = (u_3, u_1 \times u_2) u_1 - (u_1, u_1 \times u_2) u_3$ = det(u_1, u_2, u_3) u_1 - 0 u_3 = det(u_1, u_2, u_3) u_1 (18)

 $(\boldsymbol{u}_1 \times \boldsymbol{u}_2) \times (\boldsymbol{u}_2 \times \boldsymbol{u}_3) = \det(\boldsymbol{u}_1 \ \boldsymbol{u}_2 \ \boldsymbol{u}_3) \boldsymbol{u}_2$ (19)

 $(\boldsymbol{u}_2 \times \boldsymbol{u}_3) \times (\boldsymbol{u}_3 \times \boldsymbol{u}_1) = \det(\boldsymbol{u}_1 \, \boldsymbol{u}_2 \, \boldsymbol{u}_3) \boldsymbol{u}_3$ (20)

となり,元の u_1 , u_2 , u_3 に戻る.

外積によるベクトル群の開口の変化を図10に示 す.ベクトル群の開口を角度で表すと、ベクトル群の 開口αとその外積ベクトル群の開口βの間には

$$\alpha + \beta = 180^{\circ} \tag{21}$$

の関係がある.このため、ベクトル群(a)に外積を2回 演算したベクトル群(c)の開口は、最初のベクトル群(a) の開口に戻る.



Directional Sphere





図10 外積によるベクトル群の開口の変化

4. 透視投影画像からの面の検出

4.1. 透視投影画像から平行投影画像への変換

図11に示すカメラ配置で撮影した透視投影画像 から面を検出する.透視投影画像の場合には光線が収 束するので,面の面積が方向だけでなく距離にも依存 する.そこで距離を求めて透視投影画像を平行投影画 像に変換し,3章の手法で面の方向を検出する. 透視投影画像を平行投影画像に変換する処理のフ ローチャートを図12に示す.まず3枚の透視投影画 像から3個の錐を作る.面S₀の法線方向u0を与えて, 各々のカメラ位置を中心とする単位球に接する平面 u0で錐を切断し,切断面S₁,S₂,S₃を求める.そして, その面積S₁,S₂,S₃と重心方向の単位ベクトルu₁,u₂, u3を求める.u₁,u₂,u₃を延長したベクトルa₁,a₂, a3の交点として面S₀の重心の位置(X_e,Y_e,Z_e)を求める. u0が真値であればa₁,a₂,a₃は全て1点に交わるので その位置を(X_e,Y_e,Z_e)とする.u₀が真値でなければ, 2 直線間の距離が最小となるようにa₁,a₂,a₃を定め, そのa₁,a₂,a₃の平均を(X_e,Y_e,Z_e)とする.

錐の切断面の面積はカメラからの距離の2乗に比例 する.各カメラから面の重心へのベクトル

$$l_{c1} = (X_c - X_1, Y_c - Y_1, Z_c - Z_1)$$

$$l_{c2} = (X_c - X_2, Y_c - Y_2, Z_c - Z_2)$$

$$l_{c1} = (X_c - X_3, Y_c - Y_3, Z_c - Z_3)$$
(22)

を用いて、カメラから面までの法線上の距離を求め、 距離1での面積 S1, S2, S3を実際の面積 S01, S02, S03 に変換すると、次式のようになる.

$$S_{01} = (l_{c1}, u_0)^2 S_1$$

$$S_{02} = (l_{c2}, u_0)^2 S_2$$

$$S_{03} = (l_{c3}, u_0)^2 S_3$$
(23)

 S_{01} , S_{02} , S_{03} の値は u_0 が真値であれば一致するが,そうでなければ一致しない.

S₀₁, S₀₂, S₀₃は u₀の方向から見た面積なので,これ から u₁, u₂, u₃の方向から見た平行投影画像の面積 S₁', S₂', S₃'が

 $S_1' = S_{01}(u_0, u_1)$ $S_2' = S_{02}(u_0, u_2)$ $S_3' = S_{03}(u_0, u_3)$

と得られる.



図11 3枚の透視投影画像からの面の検出

(24)



図12 透視投影画像を平行投影画像に変換する処理

4.2. 透視投影画像から面を検出する手法

図12の手法「Perspective-Parallel View Conversion」 は 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、 u_0 の真値は分かっていない.一方、3 章の手法「 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 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 u_0 を求めることとする.

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13に示す.まず、3枚の透視投影画像 W_1, W_2 , $W_3 とカメラパラメータを与える. 次に <math>u_0$ の初期値を 与え、「Perspective-Parallel View Conversion」部に入 力し、内部で S_{01} , S_{02} , $S_{03}を求める. S_{01}$, S_{02} , $S_{03}の$ $差が0に収束すれば、そのときの<math>u_0$ と重心の位置を出 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「 u_0 Detection from Parallel Views」部に入力して新しい u_0 の値を得る.こ の 値 で u_0 を更新し、「Perspective-Parallel View Conversion」部に入力して処理を繰り返す.



図13 透視投影画像から面を検出する処理

5.実験

方向ベクトル u1, u2, u3 とその外積 u1×u2, u2×u3, u3×u1 の関係を調べ, 図10の結果を確認した.図1 4は u1, u2, u3の開口が狭い場合で, u1×u2, u2×u3, u3×u1の開口は広い.図15は u1, u2, u3の開口が広 い場合で, u1×u2, u2×u3, u3×u1の開口は狭い.

図13の手法によって方位球上で面の方向 uo が 様々な初期値から真値へ収束する様子を調べた.図1 6は u1, u2, u3の開口が狭い場合,図17は u1, u2, u3の開口が広い場合である.初期値(青丸)が図9で 説明した u2×u3, u3×u1, u1×u2を頂点とする球面3角形 の内部にある場合に,u0が収束している.また,いず れの場合も1,2回の反復演算で真値に収束しており, 図13の手法が非常に有効であることが分かる.図1 8はカメラ位置(x,y,z)のうちの x と y が図17と同じ で,面までの距離 z が図17より約2倍大きい場合で ある.このとき u1, u2, u3の開口は図17より狭くな るので,図18は図17より図16に近い結果となる.



図14 ベクトル u1, u2, u3との開口が狭いときの外 積 u1×u2, u2×u3, u3×u1の開口



図15 ベクトル u1, u2, u3との開口が広いときの外 積 u1×u2, u2×u3, u3×u1の開口



図16 方位球上で面の方向 u₀ が様々な初期値(青 丸)から真値へ収束する様子(u₁, u₂, u₃の開口が狭 い場合)



図17 方位球上で面の方向 u₀ が様々な初期値(青 丸)から真値へ収束する様子(u₁, u₂, u₃の開口が広 い場合)



図18 方位球上で面の方向 u₀ が様々な初期値(青丸)から真値へ収束する様子(カメラ位置(x,y,z)のうちのxとyが図17と同じで,面までの距離zが図17の約2倍大きい場合)

6. むすび

高い写実性と広い視域を持つ次世代 FTV として Surface-Based FTV を提案した. Surface-Based FTV は 3D シーンを面で表し,面と光線を用いて自由視点画 像を生成するため,イメージベース FTV とモデルベー ス FTV の長所を併せ持つ.

光線と面の関係を解析し, Surface-Based FTV の実現 に必要な光線から面を検出する手法を導いた. 平行投 影の場合には, 3方向の平行投影画像の面積から面の 法線ベクトルを求める解析式を導出した. 透視投影の 場合には, 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, 3方向から撮影した透視投影画像から面を検出する手 法を導いた. シミュレーション実験により,本手法の 有効性を示した.

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 21K04072 及び放送文化 基金の助成によって行われた.

文 献

- 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. Fujii, "A Basic Study on Integrated 3-D Visual Communication", Ph.D dissertation in engineering, The University of Tokyo, 1994 (in Japanese).
- [13] T. Fujii, T. Kimoto, M. Tanimoto, "Ray Space Coding for 3D Visual Communication", Picture Coding Symposium '96, pp. 447-451, Mar. 1996.
- [14] M. Tanimoto, A. Nakanishi, T. Fujii, T. Kimoto, "The Hierarchical Ray-Space for Scalable 3-D Image Coding", Picture Coding Symposium 2001, pp.81-84, April 2001.
- [15] Toshiaki Fujii, Masayuki Tanimoto, "Free-Viewpoint TV System Based on Ray-Space Representation", SPIE ITCom 2002, Vol. 4864-22, pp.175-189, Aug. 2002.
- [16] M. Tanimoto and Hirokuni Kurokawa, "New Framework of FTV," ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG2016/M38547, Geneva, Switzerland, May 2016.
- [17] 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.
- [18]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)
- [19]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)

- [20]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)
- [21] Masayuki Tanimoto, Toshiaki Fujii, Mehrdad Panahpour Tehrani and Menno Wildeboer, "Depth Estimation Reference Software (DERS) 4.0," ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG2009/M16605, London, UK, June 2009.
- [22] Masayuki Tanimoto, Toshiaki Fujii and Kazuyoshi Suzuki, "View synthesis algorithm in View Synthesis Reference Software 2.0 (VSRS2.0)," ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG2009/M16090, Lausanne, Switzerland, February 2009.