

## 光線空間処理による FTV シーンの編集

呂 磊<sup>†</sup> 圓道 知博<sup>†</sup> 谷本 正幸<sup>†</sup> 藤井 俊彰<sup>‡</sup>

<sup>†</sup>名古屋大学工学研究科 〒464-8603 名古屋市千種区不老町

<sup>‡</sup>東京工業大学理工学研究科 〒152-8550 東京都目黒区大岡山 2-12-1 S3-61

E-mail: <sup>†</sup>lvlei@tanimoto.nuee.nagoya-u.ac.jp, {yendo, tanimoto}@nuee.nagoya-u.ac.jp

<sup>‡</sup>fujii@it.ss.titech.ac.jp

あらまし 密なカメラレイで三次元シーンを撮影することで光線空間の取得は可能である。この光線空間の水平断面図は EPI (Epipolar-Plane Image) となる。近年、特定の奥行きにある物体は EPI 上で特定の傾きの直線として表しているという、この EPI の性質を用いて自由視点画像の編集を行う手法が提案されている。しかし、従来手法により処理されたシーンにおいて障害物に遮蔽された対象物の変化の激しい部分がぼやけてしまう問題があり、シーン全体の処理手法に適するとは言いがたい。そこで、本稿では編集された自由視点画像の更なる高画質を図り、改善された EPI 処理手法を提案する。

キーワード 光線空間, EPI, 画像セグメンテーション, 自由視点画像

## FTV Scene Editing by Ray-Space Processing

Lei LV<sup>†</sup> Tomohiro YENDO<sup>†</sup> Masayuki TANIMOTO<sup>†</sup> and Toshiaki FUJII<sup>‡</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Engineering, Nagoya University 1-2-3 Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, 464-8603 Japan

<sup>‡</sup> Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology

2-12-1 Ookayama, Meguro-ku, Tokyo, 565-0456 Japan

E-mail: <sup>†</sup>lvlei@tanimoto.nuee.nagoya-u.ac.jp, {yendo, tanimoto}@nuee.nagoya-u.ac.jp

<sup>‡</sup>fujii@it.ss.titech.ac.jp

**Abstract** In this paper we focus on EPI (Epipolar-Plane Image), the horizontal cross section of Ray-Space, and we propose a novel method that chooses objects we want and edits scenes by using multi-view images. On the EPI acquired by camera arrays uniformly distributed along a line, all the objects are represented as straight lines, and the slope of straight lines are decided by the distance between objects and camera plane. So we propose a scheme to detect line with a specific slope. This enables an effective removal of obstacles, object manipulation and a clearer 3D scene with what we want to see will be made.

**Keyword** Ray-Space, EPI, Image Segmentation, Free-Viewpoint Image

### 1. はじめに

本研究室では、IBR の一つである光線空間法[1]を用い、鑑賞者が自由に視点を変えることが可能なシステムである自由視点テレビ“Free-Viewpoint Television (FTV)” [2]を提案している。自由視点テレビというのは、視聴者が好きな視点で鑑賞できるテレビのことである。つまり、自由視点テレビが実現すれば、我々はテレビの中の空間を自由に移動できるようになる。その際、視点だけではなく、希望するタイミングで希望するところに希望する対象物だけが出現するという選択ができれば、よりニーズに合った画像が合成できると考えられる。そのためには、特定の物体の除去や画

像の編集が必要となる。

その問題に対し、近年光線空間を水平に切り出した断面図である EPI の特性を用いて自由視点画像を編集する研究[3][4]が幅広く行われている。EPI には、画像に写りこんでいる物体は直線の集まりとして表現されており、又、その直線の傾きは対応する物体の奥行きに反比例している。そこで、EPI 上で特定の傾きを有する直線を検出し、除去することは実空間で特定な物体を検出し、除去することと同じ意味である。処理手法として画素値の分散を計算することにより対象物であるか判断する手法[5]は提案されているが、この手法では処理を施し、再現された対象物の変化の激しい部

分がばやけてしまう問題がある。光線空間全体に適するとは言えない。

本稿光線では空間全体の処理に適する EPI 編集手法を考える。そこで、除去される物体の角度からの画素値の変化と除去されない物体の角度からの画素値の変化を比較する手法を提案する。そして、希望するタイミングで希望するところに希望する物体だけが出現することのできる自由視点画像を編集する手法を提案する。

以下、第 2 章で光線空間法を解説し、第 3 章で提案手法、第 4 章で自由視点画像の編集手法を述べる。第 5 章では実写シーンによる実験結果を示す。第 6 章で結論を述べる。

## 2. 光線空間法

光線空間法は 3 次元シーンを記述する Image Based Rendering の一つである。光線空間法では、3 次元空間情報を記述し、物体の形状情報などを必要としない。空間中のパラメータは必要に応じて様々に選ぶことができるが、ここでは説明を容易にするため、カメラを一直線上に配置した場合に適したパラメータを考える。まず、3 次元空間中では光線は減衰せずに一直線に発すると仮定する。一つの光線は、空間中のある基準面を通過する位置  $(x, y)$  と方向  $(\theta, \phi)$  の 4 パラメータにより一意に表すことが可能となる。この光線の光強度をあらゆる関数を  $f$  とすると、光線情報を  $f(x, y, \theta, \phi)$  と表すことが出来る。

$$f(x, y, \theta, \phi), -\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}, -\frac{\pi}{2} \leq \phi \leq \frac{\pi}{2} \quad (1)$$

この光線情報を取得する装置として、カメラアレイを考える。光線空間法では、カメラを映像の記録装置ではなく光線を集める装置と考える。簡略化するために縦方向の成分  $\phi$  を無視した時の光線空間  $f(x, \theta)$  を考える。Fig.1 に実空間と光線空間の関係を示す。Fig.1 は直線に配置されており、このカメラで記録された情報は規則にしたがって並べることによって光線空間として蓄積される。光線空間では、実空間中で光線は基準面を位置  $x$ 、方向  $\theta$  で通過する。幾何学的関係から、この光線と、画像面を  $u$ 、カメラの位置を  $(X, Z)$  としたときの関係式を式(2)で表す。光線空間は、撮影画像を直線に並べることで構成される。

$$u = \frac{1}{Z}(X - x) = \tan \theta \quad (2)$$

次に任意視点生成法を説明する。ある位置  $(X, Z)$  のカメラの撮影画像は、このカメラ位置を通過する光線群を収集する。この光線と画素の関係式は式(3)で表される。

$$x = X + Z \tan \theta, u = \tan \theta \quad (3)$$

この式より、カメラの位置と光線の角度を与えれば基準画像の通過位置を断定できる。これは、光線空間ではある直線で切り出すことと等価である。

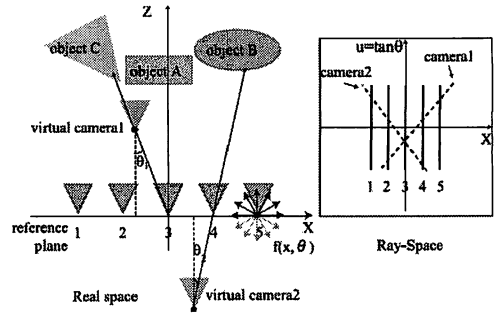
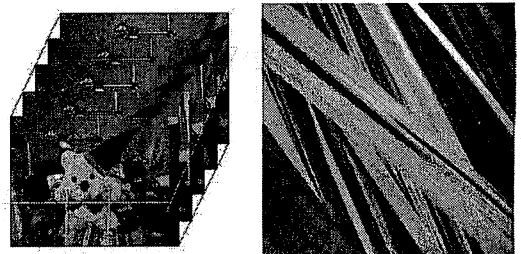


Fig.1:実空間と光線空間の対応関係

## 3. EPI と提案手法

### 3.1. EPI の取得

光線空間を水平に切り出した断面図は EPI (Epipolar Plane Image) となる。そのため、光線空間を取得するために 3 次元シーンの撮影を行えば、同時に EPI を取得することができる。EPI とは、Fig.2 のように等間隔かつ平行に撮影した多視点画像の、同じ高さの 1 ラインを切り出した平面である。



Captured Image Ray-Space(1 line)

Fig.2:多視点画像の切り出しによる EPI の取得

このように平行に撮影した画像の同じ高さの 1 ライ

ンを上から下に順に並べていけば、EPI を得ることができる。そのため、EPI の縦の長さは撮影画像の枚数と等しくなり、横の長さは撮影画像の横の長さとなる。撮影画像における全ての高さにおいてそれぞれ異なったEPI が得られるため、得られるEPI の枚数は撮影画像の縦の長さとなる。

### 3.2. EPI の取得

EPI は、Fig.3 のように多くの直線の集まりとして表される。そして、このEPI におけるそれぞれの直線はそれぞれの物体を表しており、直線の軌跡はそれぞれ光源となる物体の動きを表している。また、この動きは多視点画像により撮影された画像間の動きであるため、それぞれの直線の軌跡の違いは光源となる物体の視差の大きさによるものである。そのため、EPI 上の直線の傾きの大小により、その直線が表している物体がどの奥行きに存在しているのかを知ることができる。EPI 上で垂直に近い直線は、撮影位置が水平方向に変化していてもその光源となる物体が画像に写りこんでいる位置の変化が小さいということである。そのため、そのような直線の光源となる物体は画像間の視差が小さい、つまり奥行きが大きな場所に存在している。逆に、水平に近い直線は、撮影位置が変化すると光源となる物体が画像に写りこんでいる位置も大きく変化するということである。そのため、そのような直線の光源となる物体は画像間の視差が大きいため、奥行きが小さな場所に存在しているということが分かる。本研究ではこのような性質を用い、任意の傾きの直線を検出することにより任意の奥行きに存在する物体を検出し、それらの直線の分離や合成を行うことで多視点画像の編集を行う。



Fig.3:EPI の性質

### 3.3. 提案手法

Fig.3 のように、水平方向に近い直線はその直線より垂直方向に近い直線を遮蔽する可能性がある。それはカメラレイに近い物体（ここに A とする）はそれより奥に存在する物体（ここに B とする）を遮蔽するため

だ。従来研究では、A であるかの判定方法として A を表す直線の傾きに従ってスキャンされたすべての画素の分散を計算し、それと閾値を比較し、一番奥行き小さいものからすべての物体を順次検出手法は使用されている。しかし、画像にノイズが多いとき、遮蔽された物体の内容は変化が多いときなどの場合は、処理により再現された対象物はぼやけてしまう。

この問題に対して、私たちは各種の傾きに従ってスキャンされる画素の変化を比較する手法を提案する。ノイズを無視すれば、EPI 上では一本の直線にあるすべて画素はまったく同じものである。よって、同じものであるかどうか判定する為に、複数の画素の相似度を表現するパラメーターを見つける必要がある。

相似度を表現するパラメーターとしてよく使われるのは分散である。分散は以下のように定義されている。

ここに、 $x_1, x_2, \dots, x_N$  は特定の傾きに従うすべての画素の輝度であり、 $N$  はその傾きに従ってスキャンされた画素の数である。 $\bar{x}$  は輝度の平均値。

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (x_k - \bar{x})^2 \quad (4)$$

しかし、分散を計算する前に、しておくことがある。それは画像にある直線の傾きの種類および値をすべて調べることである。計算は一行目のある画素から始まる。調査された違う傾きの値を使って画素の分散を計算する。 $N$  種類の傾きがあれば、 $N$  個の分散値は存在する。そして、これらの値を比較して、最小値を見つける。これは、その傾きの直線にある画素は同じものである。一行目の左から右まで、一列目の上から下までスキャンすれば、画像のすべての画素は調査される。

## 4. FTV シーンの編集

### 4.1. 障害物の除去

障害物の分離においては、Fig.4 のようなシーンを用い、前面にある柵を分離して柵が無い画像を生成することを目的とする。Fig.4 のようなシーンのEPI の一枚は Fig.5 のようになる。このようなEPI において柵を表す直線を分離すれば、原画像において柵を除去されたこととなる。そのためには、柵を表す直線を取り除き、その取り除いた部分をその背後にある直線の色で埋める必要がある。そのことを実現するための手法を順に説明していく。

このシーンにおいては、大体三種類の直線（柵、ぬ

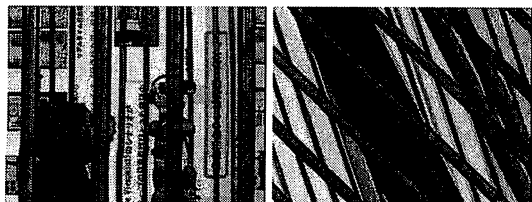


Fig.4:原画像の一枚 Fig.5:対応する EPI の一枚

いぐるみ、背景)がある。まず、Fig.6のように一行目の左から右まで、3種の傾きを使用し、画素の分散を計算。そして、結果を比較し、どれが柵であるか調査する。柵が除去された画像はFig.7に示す。

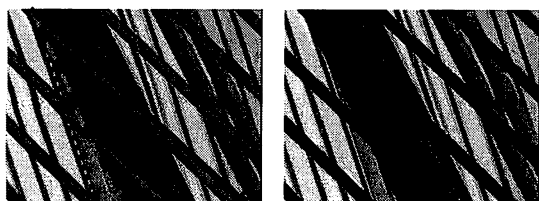


Fig.6:柵の検出 Fig.7:柵は検出された

Fig.7では、柵の部分を分離することはできているが、このままでは柵があった部分の情報が何も無くただ柵の部分を取り除いただけである。そのため、この分離した部分についてその背後にある物体を再現し分離部分を埋める必要がある。そこで、Fig.8のようにもう一度、柵を除去された画像からぬいぐるみと背景の角度から、分散を計算する。そして、比較により除去された柵のどの部分がぬいぐるみであるか、どの部分が背景であるか確定し、それ以外の画素の平均値で除去された部分を埋める。処理画像はFig.9に示す。

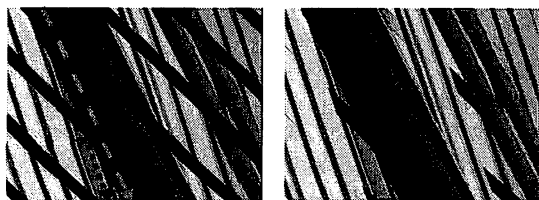


Fig.8:埋め方を決定 Fig.9:処理画像

Fig.9が示したように、除去された部分はほとんど復元されている。しかし、一回の処理で残っている部分も少しある。また、残った部分は背景であることも分かった。背景の角度からもう一度埋めれば完成だ。

Fig.10は処理結果を示す。



Fig.10:処理された EPI

#### 4.2. EPI の自由編集

今回提案するのは EPI の自由編集手法である。前述した方法では、最前面にある柵を取り除くだけでなく、ほかにも多種多様な編集ができる。そうすることで、見たいものだけを選択し、見たくないものを除去することができる。そこで、自由視点画像を鑑賞するとき、視点だけでなく、見る対象物も選択できるようになる。

例えば、対象物としてぬいぐるみしか見たくないのであれば、傾きの値を変え、前述した方法でトラを検出し、除去すればいい。ここに注意してほしいのは、コアラとトラは同じ奥行きにあるため、予めぬいぐるみの大体の位置情報を与えて、検出範囲を制限すれば、コアラを検出することは無い。

又、ぬいぐるみを取り除き、柵を残すことを希望しても問題ない。処理した EPI の一例は Fig.11、Fig.12 に示す。

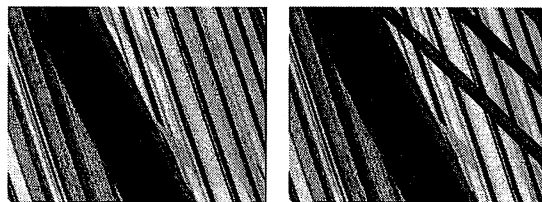


Fig.11:トラ除去 Fig.12:トラ除去、柵復元

ここに注意してほしいのは、そのまま柵を残して、柵の後ろにある物体を検出すれば、誤差は生じる為、柵の後ろにある物体を検出する為に、一時的に柵を除去する必要がある。ほかの編集は終われば、柵を復元すればいい。なお、左にはコアラがあり、右には柵が

あるようなシーンを作るのも可能である。検出範囲と使用される傾きの値を制限すればいい。

なお、EPI は多視点画像の同じ高さの 1 ラインを切り出してから、順に並べるにより作成されたものである為、一枚の EPI には各位置で取得された情報は含まれている。よって、EPI を処理するとき、縦方向の処理範囲を制限すれば、最後生成されたシーンは撮影位置により内容も変わる。例えば、すべての EPI において上半部しか編集しなければ、生成されたシーンは半分の写真しか変わらない。

#### 4.3. 復元可能と復元不可能

多視点画像の編集には、処理によりすべては復元できるとは限らない。それはもともと撮影したとき、物体の情報は取得できてない為だ。そこで、希望しない物体を検出し、除去できるとしても、除去された部分を埋める後ろの物体の情報が無い。暗くなって残っているままだ。Fig.13 は一例を示す。

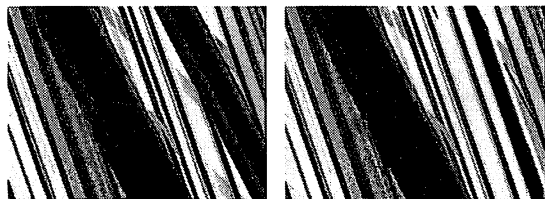


Fig.13:完全復元は不可能

#### 5. 実験結果

従来手法と提案手法の比較は Fig.14 に示す。左は従来法で、右は提案法である。画像を見て、提案法はより効果的に EPI を編集することが分かった。Fig.15 は二種類の手法により編集され、生成されたシーンの一枚である。右の写真（提案法）が左の写真（従来法）よりはっきりと見えることも分かった。

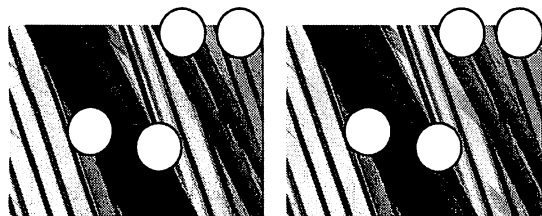


Fig.14:従来法と提案法の比較

一回の処理により生成された 258 枚目の写真と 322 枚目の写真は Fig.16、Fig.17 に示す。撮影したとき、内容は同じであったが、現在処理により内容は変わっ

ている。残念ながら、復元できない部分があり、黒くなってそのまま残っている。

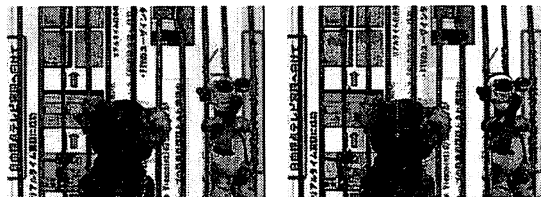


Fig.15:生成画像の比較

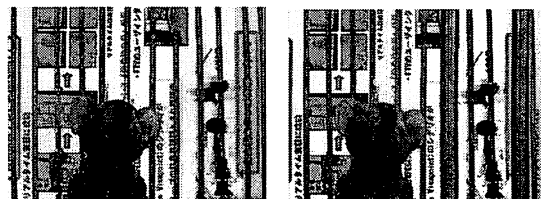


Fig.16:258 枚目の写真

Fig.17:322 枚目の写真

#### 6. まとめ

本稿では、自由に EPI を編集する手法を提案した。EPI に対する編集により、希望するタイミングで希望する位置に希望する物体だけが出るという選択を実現した。又、従来手法より効果的に EPI を編集できる結果を示した。今後の課題として、より数の少ない写真を使って検出精度を向上させる手法の改善を行う予定である。

#### 文 献

- [1] T. Fujii, T. Kimoto, and M. Tanimoto, "Ray Space Coding for 3D visual communication, ", Proc. Picture Coding Symp.'96, vol. 2, pp. 447-451, 1996.
- [2] T. Fujii, M. Tanimoto, "Free-Viewpoint TV System Based on Ray-Space Representation", In Proceedings of SPIE ITcom, Vol. 4864, pp. 175-189, 2002.
- [3] R. Bolles, H.H. Baker, and D. Marimont, "Epipolar-plane image analysis: An approach to determining structure from motion," Int. Journal of Computer vision, vol. 1, pp. 7-55, 1987.
- [4] A. Criminisi, S.B. Kang, R. Swaminathan, R. Szeliski, and P. Anandan, "Extracting Layers and Analyzing Their Specular Properties Using Epipolar-Plane-Image Analysis, ", Microsoft Research, Microsoft Corporation, Redmond, WA 98052, Tech. Rep. MSR-TR-2002-19, March 2002.
- [5] 高野, 他, " 光線空間におけるシーンの分離合成処理", 映像メディア処理シンポジウム(IMPS), 2006.