

マルチカメラ画像の特徴的な構造を用いた情報圧縮 Compression of Multi-camera Images Considering their Features

山本健詞† 園道知博† 藤井俊彰† 谷本正幸†

Kenji Yamamoto Tomohiro Yendo Toshiaki Fujii Masayuki Tanimoto

1. まえがき

近年、文化遺産や伝統舞踊の記録保存、自由視点テレビ、教育用コンテンツ、エンターテインメント等の目的から、マルチカメラで撮影した画像から自由視点の画像をイメージベースで作る技術が注目されている。この技術は、画像を光線情報としてとらえる理論[1-3]を基礎にして、撮影画像を補正する技術[4]、補間で自由視点画像を作成する技術[5,6]、効果的に画像を圧縮する技術などから構成されている。

これらのうちの圧縮技術では、既に多く研究されている。例えば、Tzovarasらはディスパリティ・マップを利用する手法[7]を提案している。岡らや木全らは、前後時間の画像を参照のみではなく、隣接カメラの撮影画像も参照する手法[8,9]を提案している。秋山らは視点間の射影幾何的な関係を利用する手法[10]を提案している。Ramanathanらは、圧縮効率は低下するもののランダム・アクセスが容易になる方法[11]を提案している。また、これらの研究を背景にMPEG(Moving Picture Experts Group)の3DAVアドホックグループにおいて、自由視点のためのマルチカメラ動画圧縮法が議論されている。以上のように多く研究されているが、国際標準の決定には至っていない。

本論文では、これらと同じく圧縮技術において、マルチカメラの静止画像を圧縮する手法を2つ比較検討する。第1の手法は、各カメラの撮影画像をそのままフレームとして扱うのではなく、各カメラの同一水平ラインまたは同一垂直ラインを集めた画像をフレームとして扱う方法である。従来の手法ではカメラを円形に配置したときには動き予測をうまくできなかった。この問題に対処できる手法として比較検討する。第2の手法は、H.264/AVCの動きベクトルの予測において、隣接ブロックではなく隣接カメラを用いる手法である。この手法では、隣接ブロック間で動きベクトルが大きく異なる場合に対応できる。

比較検討する両手法とも、H.264/AVCを応用した圧縮を時間方向の代わりにカメラ方向に使う。そのため、本論文では例えば埴輪や土偶の記録保存といった静止画像の圧縮について述べる。しかしながら、時間とカメラの両方向に圧縮する岡らの手法[12]に組み込むことで、動画にも適用できる。

2. マルチカメラ静止画像

各カメラで撮影した静止画像を並べたデータをマルチカメラ静止画像と呼ぶことにする (Figure 1)。また、Figure 1においてマルチカメラ静止画像をz軸、y軸、x軸に垂直な面で切り出した画像をそれぞれカメラ画像、水平断面画像、垂直断面画像と呼ぶことにする (Figure 2)。

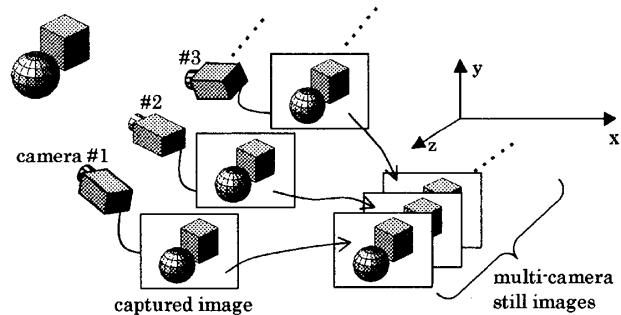


Figure 1: multi-camera still images

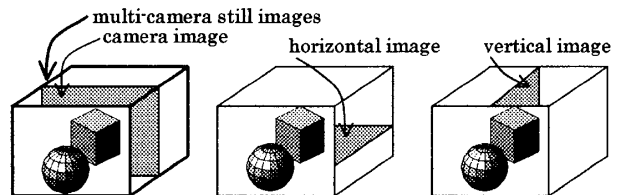


Figure 2: three types of images made from multi-camera still images

マルチカメラの配置では、代表的な配置として直線と円形、平面、円筒、球面が挙げられる (Figure 3)。後の3配置は前の2配置の拡張と考えると、ここでは前の2配置でのマルチカメラ静止画像の一般的な特徴を述べる。

2.1 直線配置での特徴

直線配置でのマルチカメラ静止画像を Figure 4 に示す。この配置の場合、すべてのエピポラ線は水平になるため水平断面画像はEPI(Epipolar Plane Image)になる。一見で分かる通り、水平断面画像が直線構造になっているのが特徴である。それぞれの直線が3次元空間中の1点を表し、直線の傾きがその点の奥行きを表すことから、水平断面画像は奥行き推定や補間[6]などに多用されている。

2.2 円形配置での特徴

円形配置でのマルチカメラ静止画像を Figure 5 に示す。水平断面画像を見ると正弦波構造になっているのが特徴である。それぞれの正弦波が3次元空間中の1点を近似的に表し、正弦波の振幅が円形配置の中心とその点との距離を表す。この特徴から、水平断面画像は補間[5]に利用されている。

H.264/AVCで採用されている動き補償では、撮影物がカメラに対して平行に移動している場合にはうまく動きを補償できるが、それ以外ではうまく補償できない。この配置で撮影したカメラ画像の場合、撮影物を含めたすべてが回

†名古屋大学工学研究科

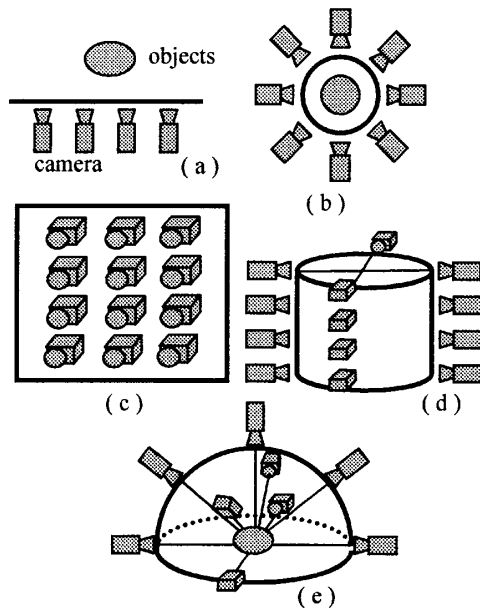


Figure 3: camera arrangement. (a) line, (b) circle, (c) plane, (d) cylinder, and (e) sphere

転するため、画像の全領域において動きをうまく補償できない。

3. 比較検討するマルチカメラ静止画像の圧縮法

本論文では、H.264/AVC を応用してマルチカメラ静止画像を効果的に圧縮する方法を考える。H.264/AVC はハイブリッド符号化の一種であり、動き補償フレーム間予測でフレーム間冗長性を削減し、かつ DCT 変換で画像内冗長性を削減する圧縮法である。そのため、これらにより冗長性が削減されやすい動画画像ほど効果的な圧縮が期待できる。2章で示したとおり、通常の動画画像にはない特徴がマルチカメラ静止画像にはあるため、これらの特徴をうまく当てはめて高い圧縮率を得ることを考える。

3.1 水平断面画像列と垂直断面画像列での圧縮

通常に考えられるマルチカメラ静止画像の圧縮方法は、カメラ画像を順に並べたカメラ画像列を動画画像として扱い、H.264/AVC を適用する方法である。それに対して水平断面画像や垂直断面画像を順に並べた水平断面画像列、垂直断面画像列に H.264/AVC を適用し、比較検討する (Figure 6)。この方法は断面を変えて並べるのみでリサンプリングしないため、適用だけでは画質劣化しないという利点がある。

水平断面画像列に適用する場合は、異なる水平断面画像に3次元空間中の同一点が無くなるためフレーム間冗長性は削減しにくく想定される。しかしながら画像内を見ると、単純な直線構造や正弦波構造のために冗長性の削減が容易と想定される。このように水平断面画像列はカメラ画像列の場合に対して一長一短があり、単純に良否を判定できない。

垂直断面画像に適用する場合は、直線配置と円形配置に分けて考えるとよい。一方向だけからの光を受光するようなラインセンサを仮定すると、直線配置の場合は、このラインセンサを直線移動しながら撮影したものが垂直断面画像になる。また、ラインセンサの角度を変えることが画像

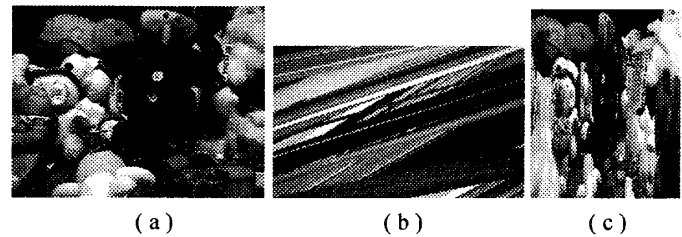


Figure 4: three types of images in line camera arrangement. (a) camera image, (b) horizontal image, and (c) vertical image

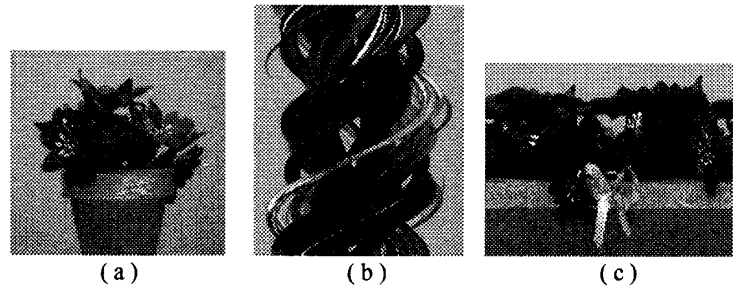


Figure 5: three types of images in circle camera arrangement. (a) camera image, (b) horizontal image, and (c) vertical image

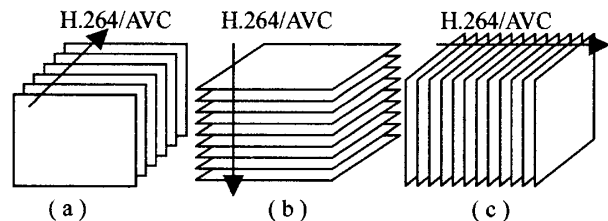


Figure 6: three types of sequences for compression. (a) camera image sequence, (b) horizontal image sequence, and (c) vertical image sequence

を順に並べることに相当する。これを光線空間[1]で考えると、詳細な説明は省略するが、 u 軸に垂直な面の光線で作った画像が垂直断面画像であり、 u の値を変えることが画像を順に並べることになる (Figure 7)。いずれの見方をするにせよ、フレーム間冗長性、画像内冗長性とも、カメラ画像列の場合と大差ないと考えられる。

一方で円形配置の場合は、ラインセンサを円形移動しながら撮影したものが垂直断面画像になり、ラインセンサの角度を変えることが画像を順に並べることに相当する。これを光線空間で考えると、 ξ を固定して θ を一周させた時の光線で作った画像が垂直断面画像であり、 ξ の値を変えることが画像を順に並べることになる (Figure 8)。カメラ画像列と比べると画像内冗長性は大差ないと考えられる。しかしながら、画像全体が回転するようなことが無いためフレーム間冗長性はあり、この点で圧縮率がよくなることが期待できる。

3.2 動きベクトルの予測方法を変更した圧縮

H.264/AVC ではエンコード済の隣接ブロックから動きベクトルを予測している。この方法は非常に有効ではあるが、該当ブロックの動きベクトルと隣接ブロックのそれとが大きく異なる領域では予測が外れてしまい、多くのビットを発生させてしまう。そこで、直線配置での水平断面画像の

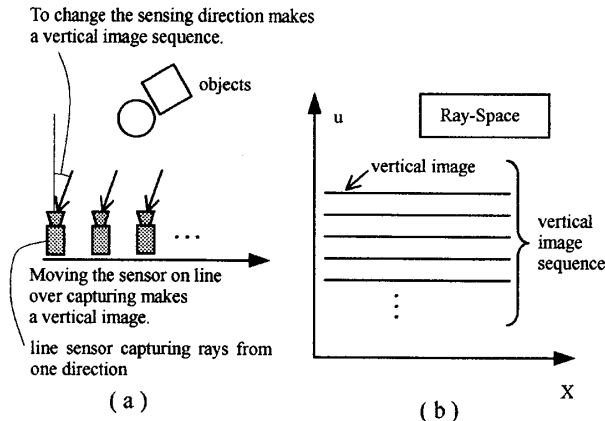


Figure 7: vertical image sequence in line camera arrangement. (a) capturing expression, and (b) Ray-Space expression

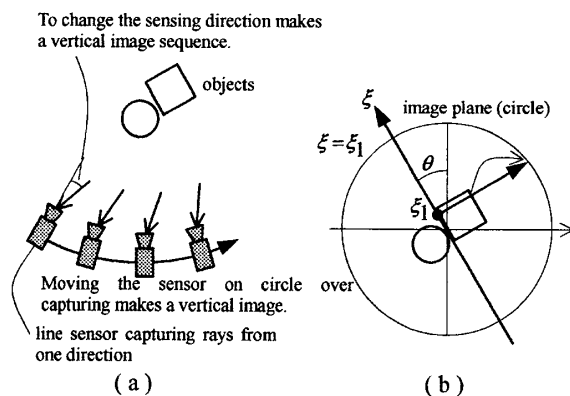


Figure 8: vertical image sequence in circle camera arrangement. (a) capturing expression, and (b) Ray-Space expression

直線構造に着目し、カメラ画像列において、以下の2条件を満たす動きベクトルを前フレームから予測する方法を比較検討する。

- ・ 前フレームの動きが連続して起こると仮定する
- ・ 動きが重複する領域では、直線構造での直線の傾きが大きい点を優先する。これは、3次元空間中では手前にある点を選択することを意味する

この方法では隣接ブロックの動きベクトルを用いないため、問題とした領域でも的確に予測ができると期待できる (Figure 9)。その一方で、この方法は直線構造を利用しているため、直線配置以外ではうまく予測できないと想定される。

4. 実験と考察

3章で述べた手法の有効性を確認するため実験を行った。用いたシーケンスは以下の通りである。

- ・ 直線配置のシーケンスとして toys (Figure 4) を用いた。toys は 795mm 間を 1mm 毎にカメラを平行移動して撮影した画像で、対象物までは 20~110cm 程度、焦点距離 4mm、受光面は 3.65x2.74mm、画素数は 640x480 である。
- ・ 円形配置のシーケンスとして flower (Figure 5) を用いた。flower は、20cm 程度離れたターンテーブル上の花を、0.25° 刻みでターンテーブルを回転させな

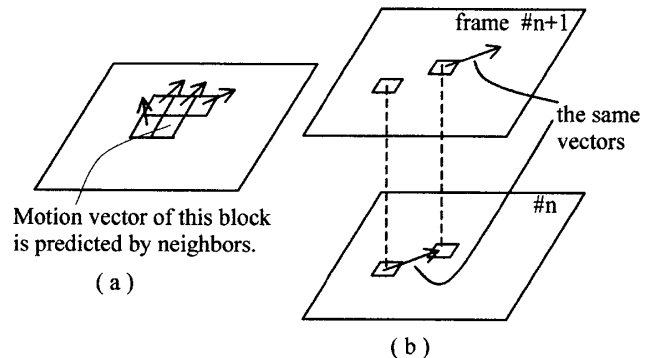


Figure 9: prediction of motion vector. (a) H.264/AVC, and (b) proposed method

がら撮影されている。焦点距離などのその他の撮影条件は toys と同じだが、撮影された花が小さすぎたため、撮影後に画像中央を切り出している。そのため画像サイズは 400x288 である。

4.1 水平断面画像列と垂直断面画像列での圧縮

toys と flower を、それぞれカメラ画像列と水平断面画像列、垂直断面画像列で圧縮した。カメラ間隔の影響も測るために、toys は 1mm 間隔の他に 2mm, 4mm 間隔の場合を、flower は 0.25° 間隔の他に 1°, 3° 間隔の場合を実験した。圧縮ソフトには JM7.3[13]を用いた。実験結果を、それぞれ Figure 10 と Figure 11 に示す。

toys では、カメラ間隔に関係なくカメラ画像列がよい結果であった。垂直断面画像列とカメラ画像列とは同じ程度と当初は考えていたが、カメラ間隔が広くなるにつれて垂直断面画像列が悪くなった。これは、Figure 12 のように画像内に高周波が多くなってしまうのが原因と考えられる。

flower では、30~40dB の実用域において、カメラ間隔が 1° 程度以下ならば垂直断面画像列が、それより広いときにはカメラ画像列が圧縮に効果的とわかった。当初の予想とおり垂直断面画像列が有効と確認できたと同時に、toys と同様にカメラ間隔の影響が大きいこともわかった。

4.2 動きベクトルの予測方法を変更した圧縮

toys と flower のカメラ画像列でそれぞれ 4mm と 3° のカメラ間隔で圧縮した。圧縮には、以下の2点を改造した JM7.3 を用いた。

- ・ 動き補償フレーム間予測を 3.2 節のものにした
- ・ 縦方向の動きベクトル検出の探索範囲を ±2 画素までに制限した。これは、JM7.3 のままでは理論上ありえない縦方向の動きを誤検出してしまい、予測値が大きく誤ってしまっていたために処置した。撮影時のカメラの配置誤差を考慮して 0 ではなく ±2 画素とした

実験結果を Figure 13 に示す。当初は toys で高い圧縮効率が得られると考えていたが、toys と flower の両方で、H.264/AVC とほぼ同じであった。原因として、以下のことが考えられる。

- ・ 該当ブロックと隣接ブロックとの動きベクトルが、常にほとんど同じ
- ・ JM7.3 では動きベクトルをブロック単位で管理している。この管理が本手法には誤差が大きい

flower では、画面中央の花や葉の部分は空間的に前後している領域が多い。そのため、これらの領域では動きベク

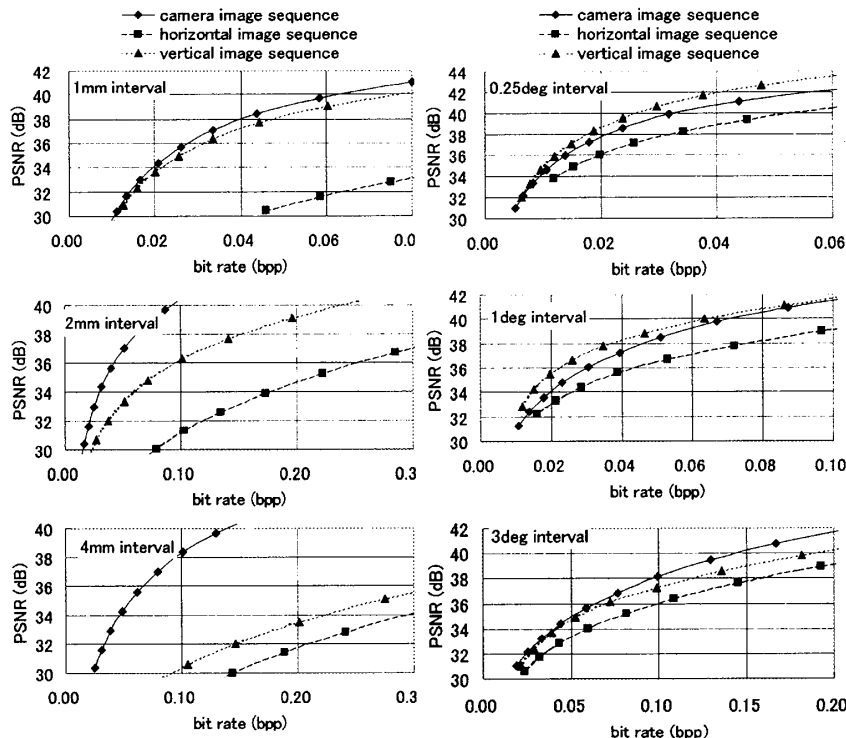


Figure 10: experimental results in line camera arrangement in 4.1 section

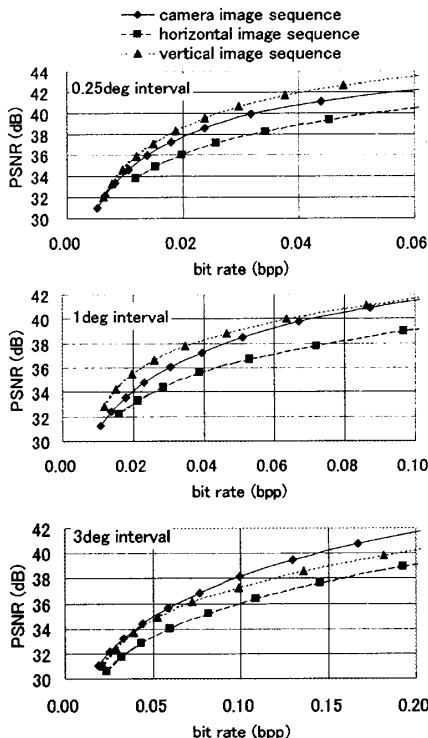


Figure 11: experimental results in circle camera arrangement in 4.1 section



Figure 12: example of vertical image

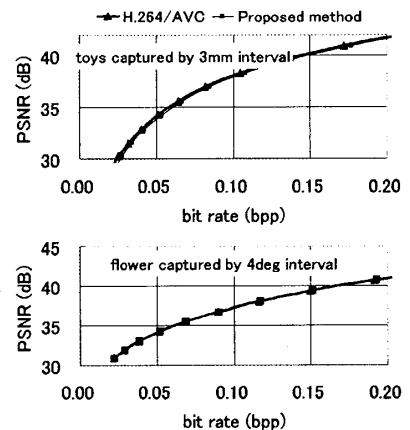


Figure 13: experimental result in 4.2 section

トルは連続していないと考えられるため、後者の可能性が高いと考えている。

5. まとめ

マルチカメラ静止画像の見方は色々ある。人の眼やカメラに似た見方、3次元解析に向けた見方、圧縮に向けた見方などであり、立場にあった見方をすればよいと考える。本論文では圧縮という立場でマルチカメラ静止画像を見て、2つの手法を比較検討した。第1の手法は、各カメラの撮影画像をそのままフレームとして扱うのではなく、各カメラの同一水平ラインまたは同一垂直ラインを集めた画像をフレームとして扱う方法で、第2の手法は、H.264/AVCの動きベクトルの予測において、隣接ブロックではなく隣接カメラを用いる手法である。両手法で実験を行った結果、カメラ間隔を1°程度以下で撮影した円形配置のマルチカメラ静止画像では、垂直断面画像列での圧縮が効果的であることがわかった。また、動きベクトルの予測方法を変えても圧縮率が予想していたように向上しなかった。

今回の実験では動きベクトルの予測方法を変えても圧縮率が変わらなかったが、理論的には向上するべきものと考えている。今後は、圧縮率が向上しない原因を突き止めて、この原因を解決して圧縮率を向上する予定である。

参考文献

- [1] 藤井, 金子, 原島, “光線群による3次元空間情報の表現とその応用”, テレビジョン学会誌, vol. 50, no. 9, pp.1312-1318, 1996
- [2] Marc Levoy and Pat Hanrahan, “Light Field Rendering”, ACM SIGGRAPH96, pp. 31-42, 1996
- [3] Steven J. Gortler, Radek Grzeszczuk, Richard Szeliski and Michael F. Cohen, “The lumigraph”, ACM SIGGRAPH96, pp. 43-54, 1996
- [4] Kenji Yamamoto, Toshiaki Fujii and Masayuki Tanimoto, “Projective Transformation to Align Multi-Camera Images for Efficient FTV Compression”, IWAIT2005, pp. 1-6, 2005
- [5] 山中康司, 藤井俊彰, 谷本正幸, “円形カメラ配置における間引き・補間を用いた光線空間情報圧縮”, PCSJ2004, pp. 93-94, 2004
- [6] ヤーセル, ドローゼ, 藤井俊彰, 谷本正幸, “視差平均化と後置適応フィルタを用いた光線空間補間”, IMPS2004, pp. 35-36, 2004
- [7] Dimitrios Tzovaras, Nikos Grammalidis and Michael G. Strintzis, “Disparity field and depth map coding for multiview 3D image generation”, Signal Processing: Image Communication, vol. 11, no. 3, pp. 43-54, 1996
- [8] Shinya Oka, Toshiaki Fujii and Masayuki Tanimoto, “Dynamic Ray-Space Coding Using Inter-view Prediction”, IWAIT2005, pp. 19-24, 2005
- [9] 木全英明, 北原正樹, 志水信哉, 上倉一人, 八島由幸, “自由視点映像通信のための多視点符号化の一検討”, FIT2004, pp. 225-226, 2004
- [10] 秋山修, 斉藤英雄, “視点間の射影幾何的關係を利用した多視点動画のデータ圧縮”, 映像学誌, vol. 59, no. 1, pp.136-145, 2005
- [11] Prashant Ramanathan and Bernd Girod, “Random Access for Compressed Light Fields Using Multiple Representations”, MMSP-04, Session OF2, 2004
- [12] 岡, プリム, 藤井, 谷本, “自由視点テレビのための動的光線空間の情報圧縮”, 3次元画像コンファレンス2004, pp.139-142, 2004
- [13] <http://iphome.hhi.de/suehring/tml/>