

研究プロジェクト紹介

「多視点画像処理の研究」

名古屋大学大学院 工学研究科 電子情報学専攻 助教授

藤井 俊彰

本講演では、多視点画像をもとにした「3次元画像通信」の観点から、

1. 3次元空間情報の光線空間表現
2. 光線空間データの取得
3. 光線空間データの圧縮、符号化
4. 自由視点テレビ
5. COE プロジェクトへの発展

について述べる。

光線空間表現とは、空間中を伝播する光線の情報を用いて3次元空間情報を記述・処理する手法である。光線情報を、ある基準面を通過する位置と方向の4つのパラメータで表現し、このパラメータ空間に輝度値を対応させた4次元関数を定義する。カメラによる撮影とは、一点を通過する光線群を記録することに他ならず、これは4次元光線空間中の2次元部分空間をサンプリングして取得していることに相当する。多視点画像とは、この2次元部分空間の集まりであり、視点数を増やして行くことで4次元光線空間全体を網羅的に取得することができる。また新しい視点の画像の生成は、この4次元空間から視点に応じた2次元の部分空間を取り出すことにより実現される。このような画像取得・生成の手法を「光線空間法」と呼んでいる。

この光線空間法に基づいた3次元画像通信の枠組みにおいて、データの取得、圧縮・符号化について概観する。まず取得については、理想的には非常に密に配置されたカメラ群が必要である。しかしながら、現実的にはカメラやレンズの物理的大きさの制約があるため、密なデータ取得は困難である。そこで、粗いカメラ間隔で配置されたカメラ情報から密な光線情報を作り出す「光線空間補間」が必要となる。本講演ではこれまで検討してきた「適応フィルタを用いた光線空間補間法」について簡単に触れる。

また、データ圧縮・符号化は光線空間法における大きな課題である。本講演では、(1)3次元形状推定、(2)視差補償予測、(3)任意形状DCT、(4)ベクトル量子化(VQ)、(5)サブバンド符号化によるデータ圧縮について紹介し、それぞれの得失について述べる。これらは光線空間データ圧縮法の一例であり、今後この分野でのさらなる研究が必要である。

最後に、これらの研究を基礎とした最近のトピックとして、視聴者が自由に視点を変えることができる「自由視点テレビ (FTV; Free-viewpoint TeleVision)」の研究について紹介する。これは、多視点カメラの情報をもとに適応フィルタ法により密な光線空間データを生成し、ユーザが指定した任意の視点からの画像をリアルタイムに生成・提示するシステムである。これまで開発したシステムでは、16台のカメラの入力をもとに、ギガビットイーサネットで接続された16台のPCからなるPCクラスタを用いて、解像度 160×120 pixel, フレームレート 10 frames/sec の映像を生成することに成功している。

本 COE プロジェクトにおいては、これらの成果をさらに発展させ、屋内・屋外環境を対象とした大規模な自由視点テレビの実験を行い、その有効性を実証していきたいと考えている。

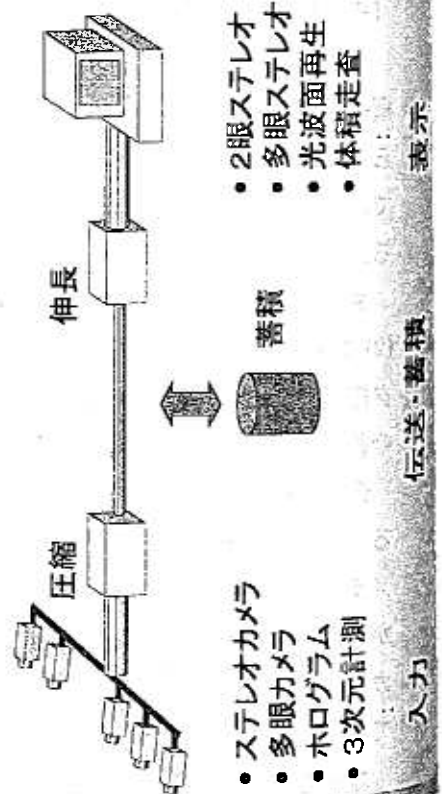
多視点画像処理の研究

名古屋大学 大学院
工学研究科 電子情報学専攻

藤井 俊彰

本研究の背景

3次元画像通信の構想

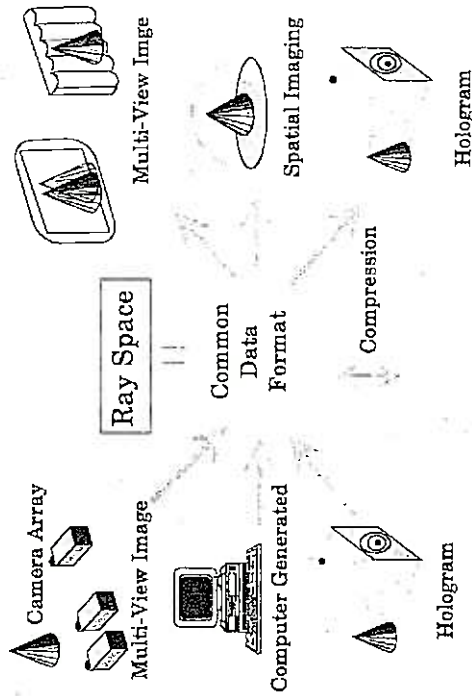


発表の概要

1. 3次元空間情報の光線空間表現
2. 光線空間データの取得
3. 光線空間データの圧縮, 符号化
4. 自由視点テレビ
5. COEプロジェクトへの発展

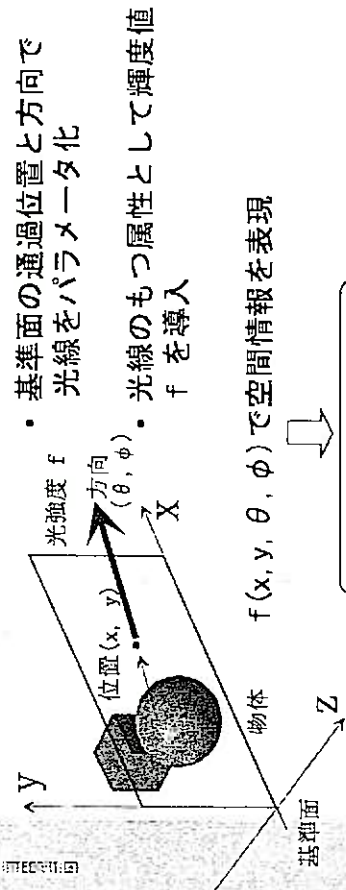
1. 3次元空間情報の光線空間表現

- (1) 3次元統合画像通信の構想
 - (2) 光線空間法の原理
 - (3) 任意視点画像生成
 - (4) 可変焦点画像生成
2. 光線空間データの取得
3. 光線空間データの圧縮, 符号化
4. 自由視点テレビ
5. COEプロジェクトへの発展

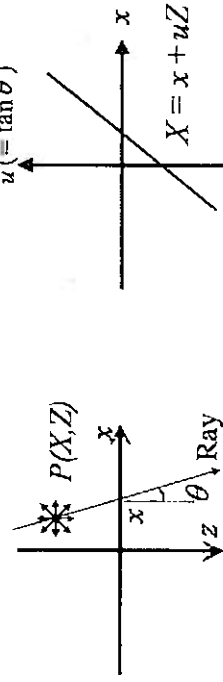


3次元空間情報の光線空間表現

- [1] T. Fujii, T. Kimoto, M. Tamimoto, "Ray Space Coding for 3D Visual Communication", Picture Coding Symposium '96, pp. 447-451, 1996.3.
- [2] 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, 1996.9.



縦方向視差 (ϕ) を無視, $y = \text{const.}$ の断面 $u (= \tan \theta)$

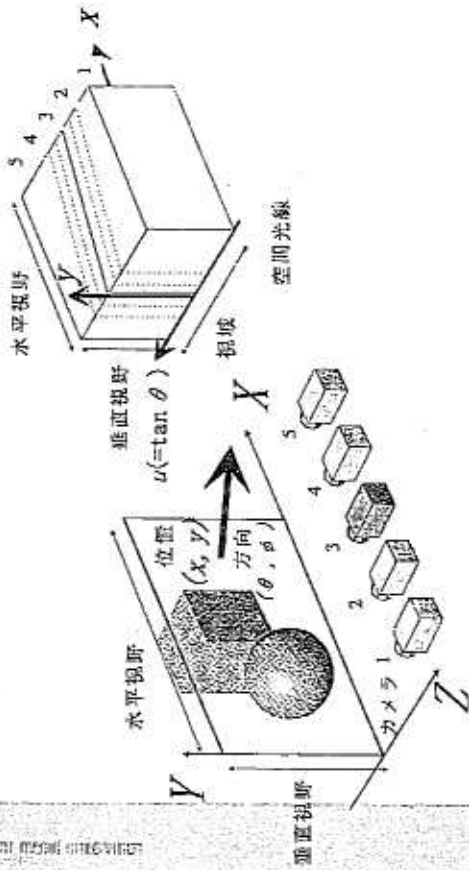


実空間
光線空間

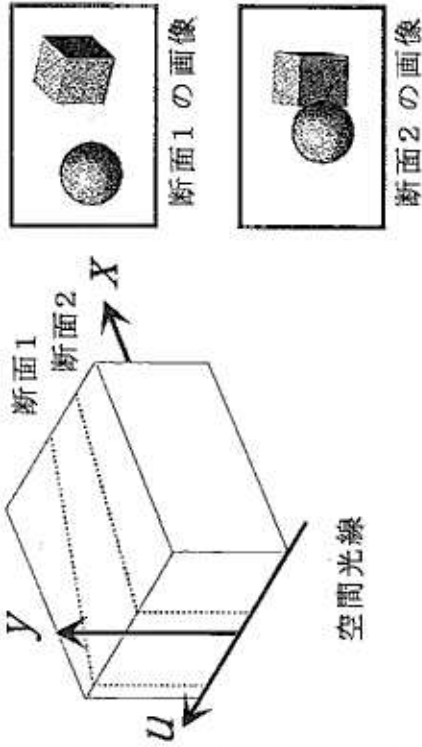
実空間内の一点を通る光線群は
光線空間で直線上に並ぶ

実空間と光線パラメータ空間の関係

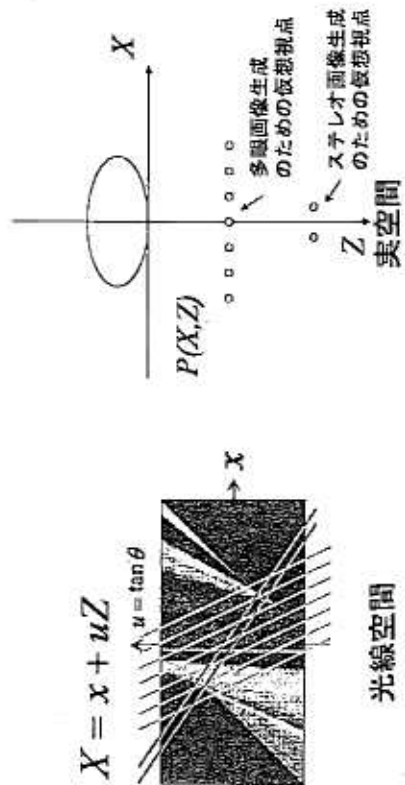
撮影による光線空間データの取得



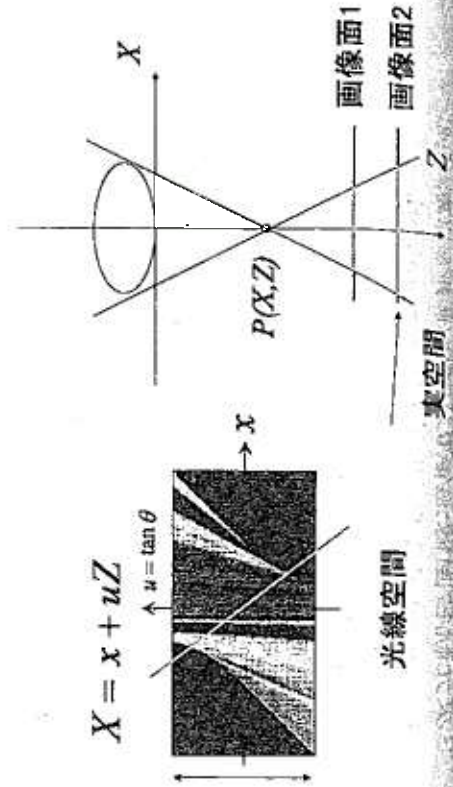
光線空間の切り出しによる任意視点画像の合成



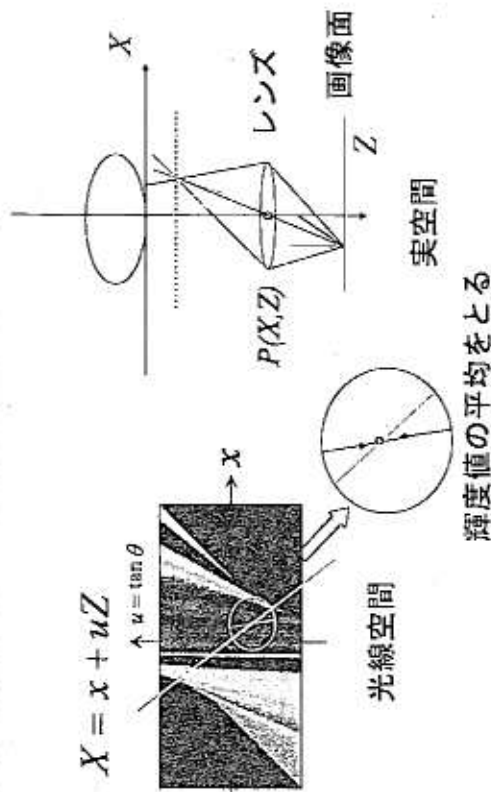
ステレオ・多眼画像生成



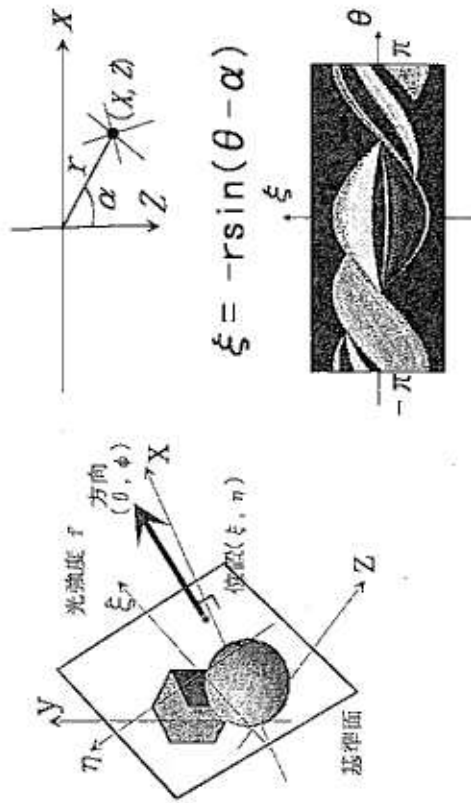
カメラ操作の実現(1):ズーム



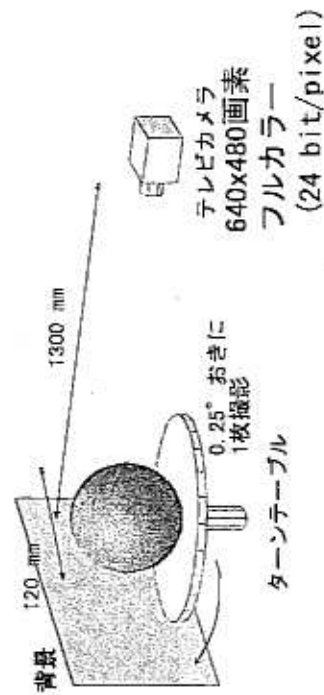
カメラ操作の実現(2): 可変焦点画像の生成



球面座標系による表現



実験



データ量: $640 \times 480 \times 3 \times (360 \times 4) = 1.3 \text{ (GB)}$

撮影した画像の例

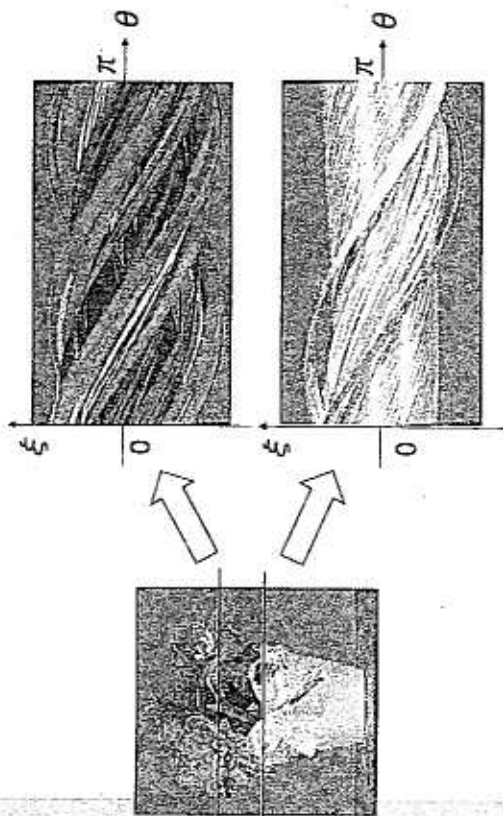


0° 90° 180°

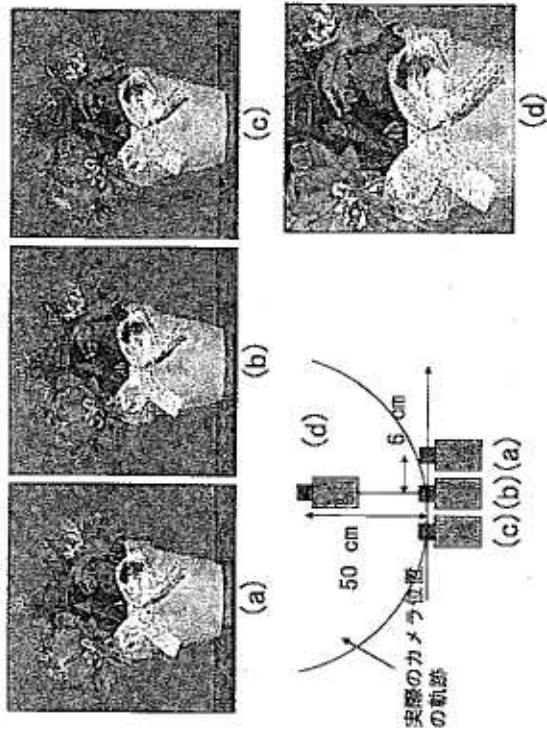
この間に360枚 この間に360枚

物体の大きさ 12cm x 12cm
撮影距離 130cm

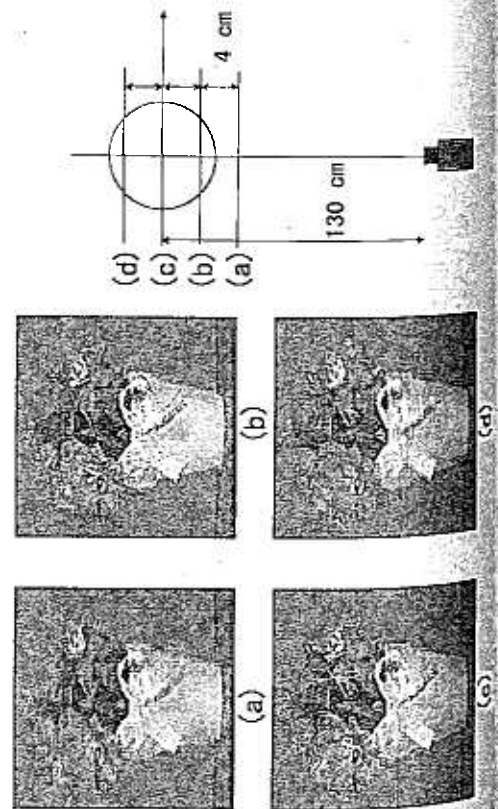
光線空間データの例



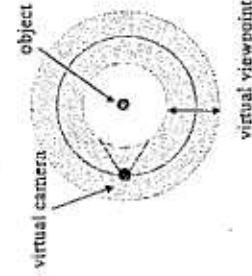
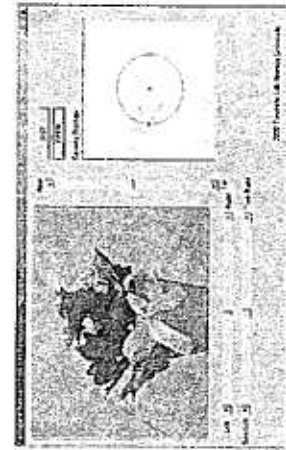
任意視点画像の生成



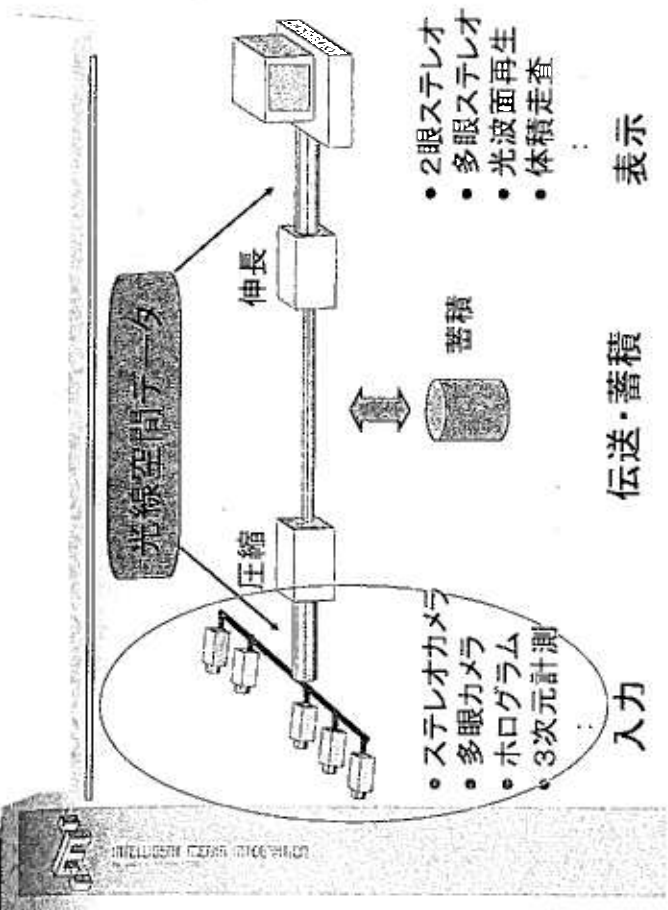
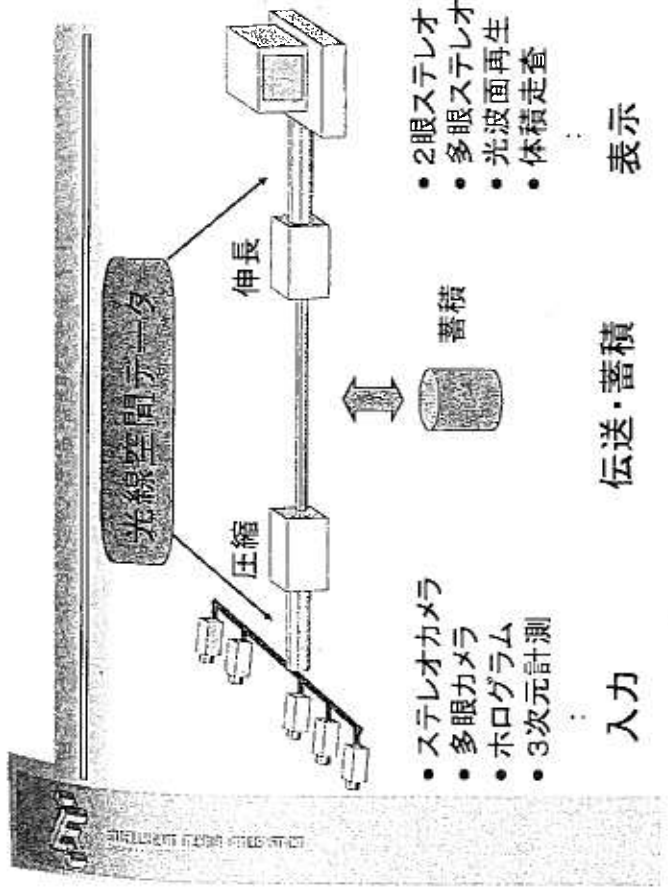
可変焦点画像の生成



Ray-Space Viewer



データ:
1度あたり4枚の画像, 1440枚撮影
カメラモーション:
並進(回転), 前後, パンが可能

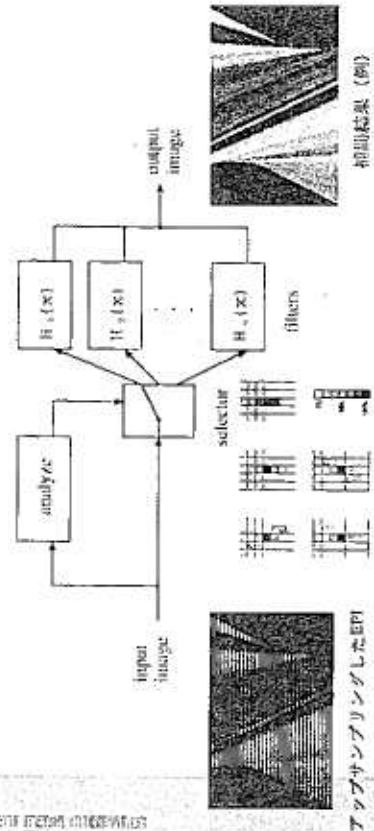


発表の概要

1. 3次元空間情報の光線空間表現
2. 光線空間データの取得
 - (1) 適応フィルタによる光線空間補間
 - (2) 3次元センサを用いた光線空間データ取得システム
3. 光線空間データの圧縮, 符号化
4. 自由視点テレビ
5. COEプロジェクトへの発展

適応フィルタを用いた光線空間補間法

[Ref] T. Kobayashi, T. Fujii, T. Kimoto, M. Tamano, "Interpolation of Ray-Space Data by Adaptive Filtering", SPIE Electronic Imaging 2000, 2000.



適応フィルタを用いた補間法のブロック図

補間結果の比較



(a) up-sampled



(c) linear(33.47dB)



(b) nearest neighbor(28.28dB)



(d) proposed(35.40dB)

補間画像例



適応フィルタ補間 (29.91dB)



ブロックマッチング (25.12dB)

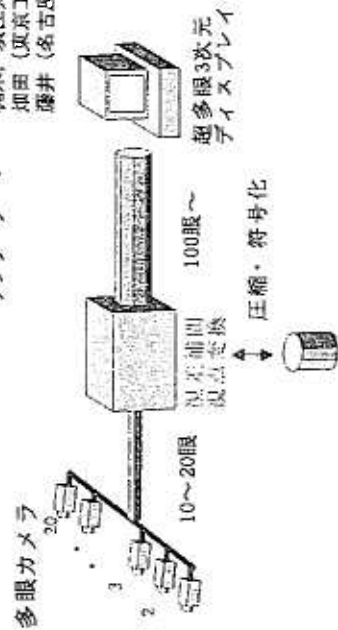
通信・放送機構 (TAO)

「高度三次元動画画像遠隔表示プロジェクト」

(1997年10月～2002年9月)

プロジェクトリーダー：
サブリーダー：

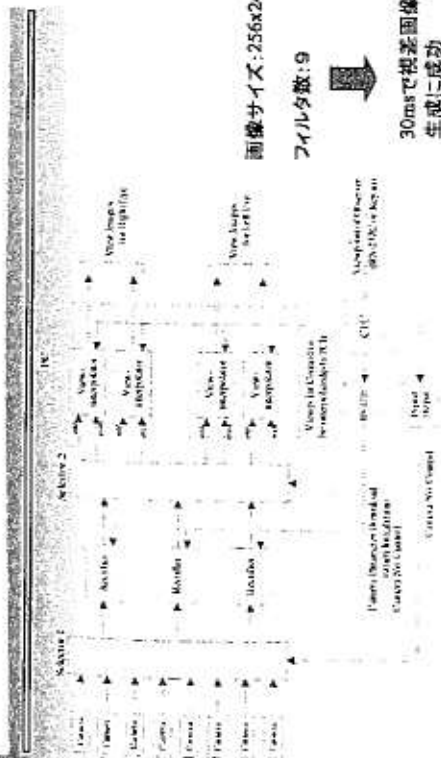
本田 (千葉大)
橋本、須佐見 (TAO)
知田 (東京工芸大)
藤井 (名古屋大)



目標：10～20視点の多視点画像をもとに、リアルタイムに100眼程度の超多眼画像を作り出す装置の開発

入力：8眼カメラ

視差補間の原理



画像サイズ: 256x240

フィルタ数: 9

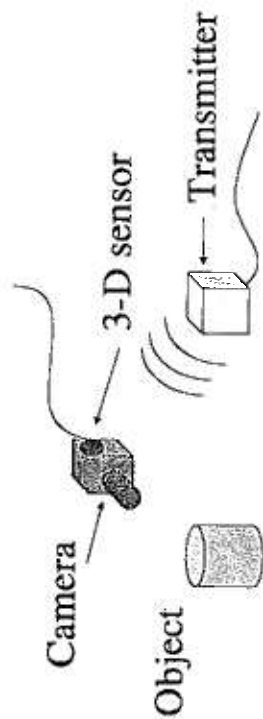
30msで格差画像生成に成功

視差補間装置のブロック図

[Ref] T. Hamauchi, T. Fujii, T. Honda, "Real-time view interpolation system for super multi-view 3D display: Processing implementation and evaluation", SPIE Electronic Imaging 2002 (Jan. 2002).

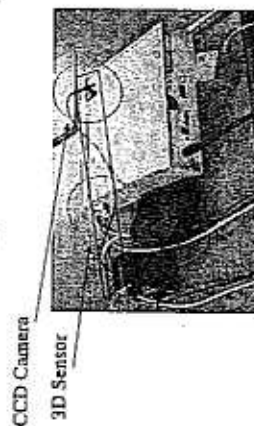
カメラと3次元センサーを用いた 光線空間取得装置

[Ref] T. Fujii, T. Kamoto, M. Tsujimoto, "A New Flexible Acquisition System of Ray-Space data for Arbitrary Objects", IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 10, No. 3, pp.218-224, 2000.3.

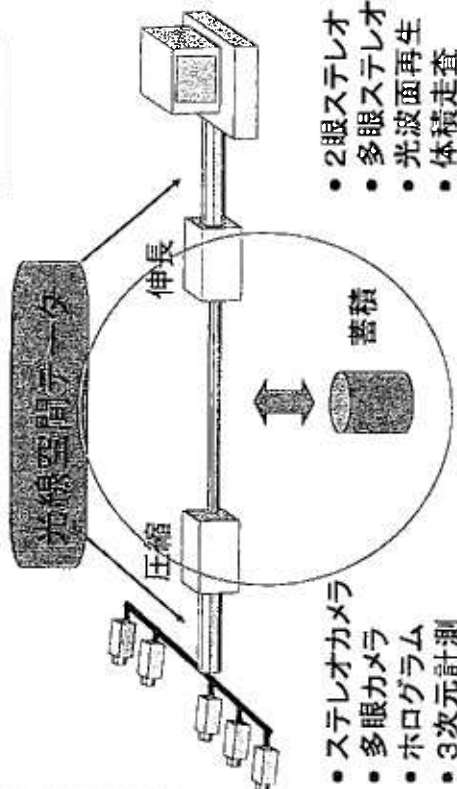


試作装置

1. カラーCCDカメラ: 東芝 IK-SM40
 2. 3D センサ: POLHEMUS Inc., FASTERAK
- Specification:
 Position Coverage : < 760 mm
 Static Accuracy : 0.8mm RMS, 0.15° RMS



外観



- ステレオカメラ
- 多眼カメラ
- ホログラム
- 3次元計測

入力

伝送・蓄積

表示

発表の概要

1. 3次元空間情報の光線空間表現
2. 光線空間データの取得
3. 光線空間データの圧縮, 符号化
 - (1) 3次元形状推定による圧縮
 - (2) 視差補償予測による圧縮
 - (3) 任意形状DCTを用いた圧縮
 - (4) ベクトル量子化(VQ)を用いた圧縮
 - (5) サブバンド分割による階層的符号化
4. 自由視点テレビ
5. COEプロジェクトへの発展

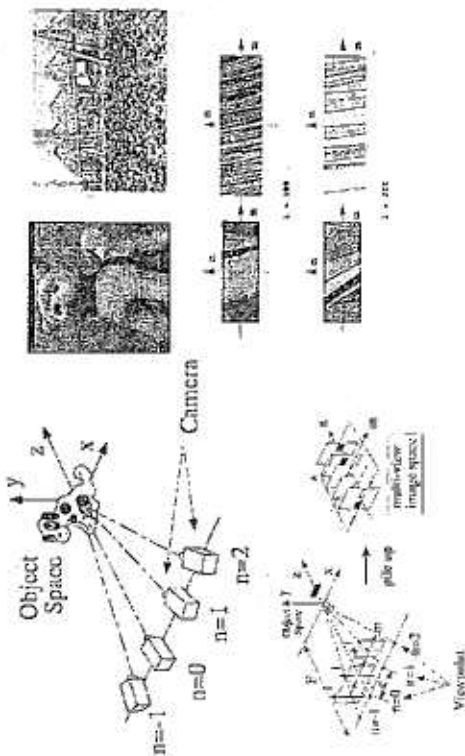
INTELLIGENT FRONTIER PROJECT



INTELLIGENT FRONTIER PROJECT

(1) 3次元形状推定による多眼画像の圧縮と補間

[Rolf Toebli, Fujii, Hiroshi Hara, Das Compression and Interpolation of Multi-View Image Set
 IEICE Transactions on Information and Systems, Vol. 877-D, No. 9, pp. 987-995, 1994.]



INTELLIGENT FRONTIER PROJECT

直線に沿った
輝度値の分散
 $\text{Var}(X, Y, Z)$



分散空間の断面図

直線に沿った
輝度値の平均
 $\text{Avg}(X, Y, Z)$

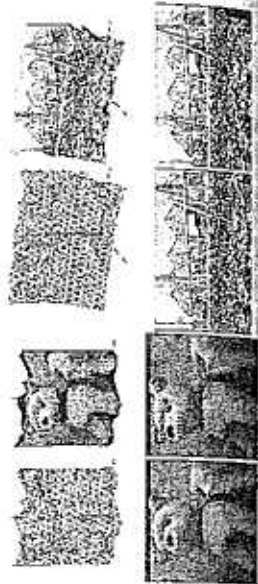


平均の色空間の断面図



分散空間を用いて形状を推定

平均の色を張り付ける



形状推定結果と再構成画像の例

Toy dog experiment

$r = 70\text{cm}$
(distance between camera and object)

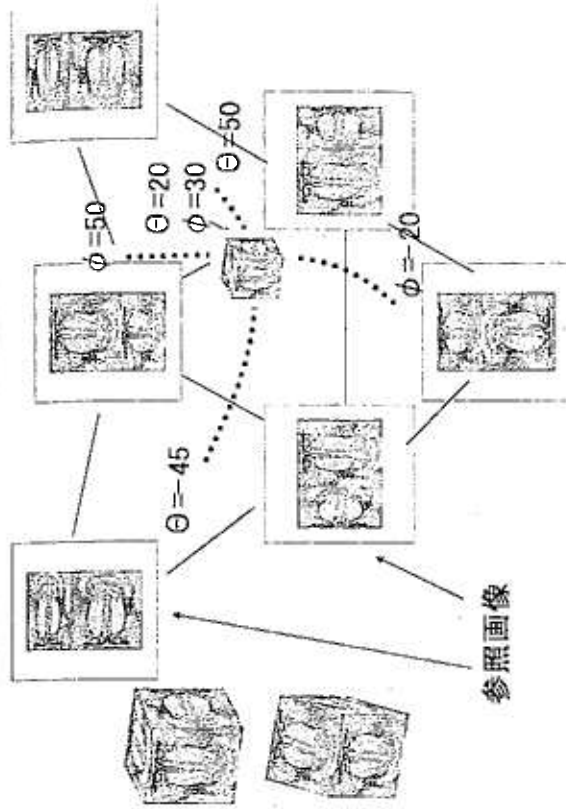
$c = 2\text{cm}$
(distance between camera)

The number of image: 19

Image size: 256x256 pixel

Full color (RGB 24bit)

(2) 視差補償に基づく4次元光線空間の圧縮



データ圧縮実験

4次元光線空間データ:

(ξ, η) 方向: 256x256

(θ, ϕ) 方向: $L=5$ の測地ドーム分割 (20, 480方向)

= 20, 480枚の正投影全周画像に相当 (256x256 pixel)

↓ 1/100倍

圧縮データ:

(1) 12枚の参照画像 : 256x256, 8bit x 12

(2) 視差ベクトル : 8bit/block

(3) 拡大パラメータ : 5bit/block

ブロックサイズ = 16x8 ~ 16x1

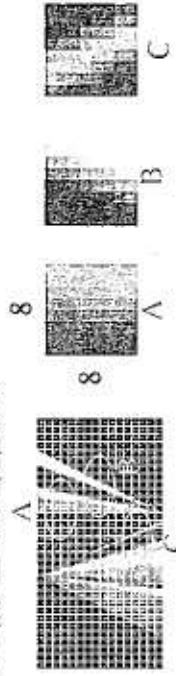
圧縮率 0.016, 平均 SNR = 28 dB

(3) 任意形状DCTを用いた圧縮



ブロックベースDCT
による符号化結果

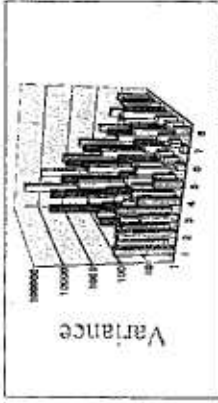
なぜブロック歪みが顕著か?



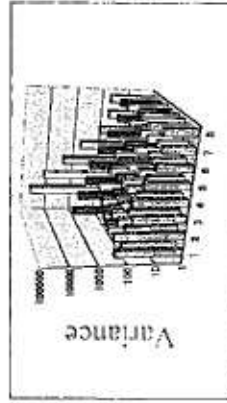
さまざまなパターンに対して「同一の」量子化マトリックスを使用していることからくる弊害

DCT係数の分布

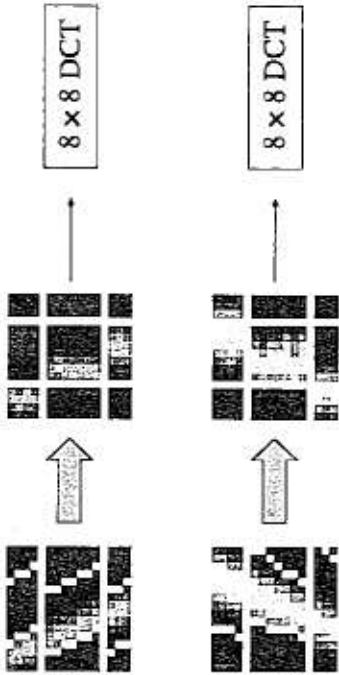
提案法



ブロックベースDCT



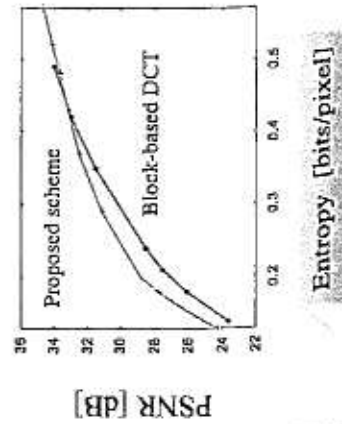
解決法: 幾何変換を施す



符号化実験結果

Ray-Space data:

- computer generated
- size : 256 × 128, 8 [bits/pixel]

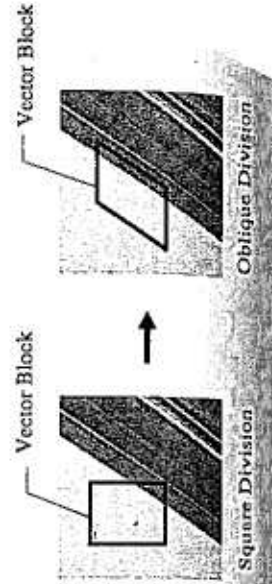


(4) ベクトル量子化(VQ)を用いた圧縮

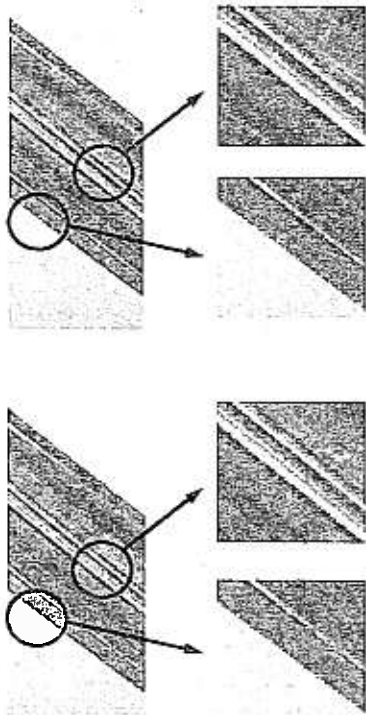
提案手法

正方ブロックをせん断した斜形ブロック分割を行う

全体として各ブロック間の距離が偏り、符号化効率が上昇



実験結果—出力画像例

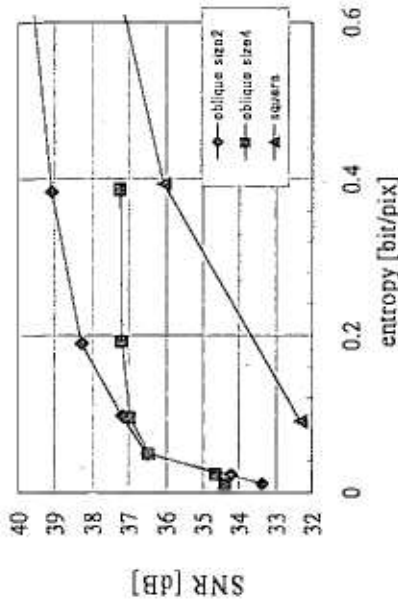


(a) square division

(b) oblique division

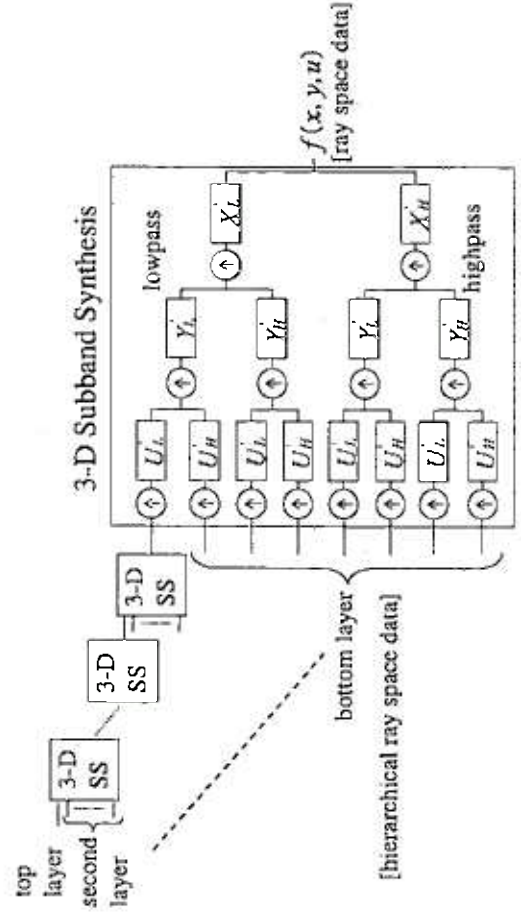
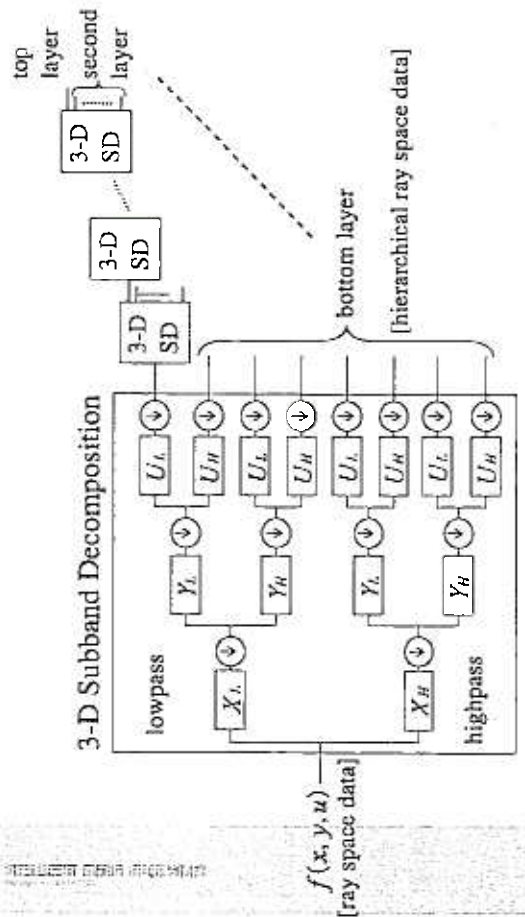
提案法ではブロック歪みが減少

符号化特性—正方vs縦長斜形

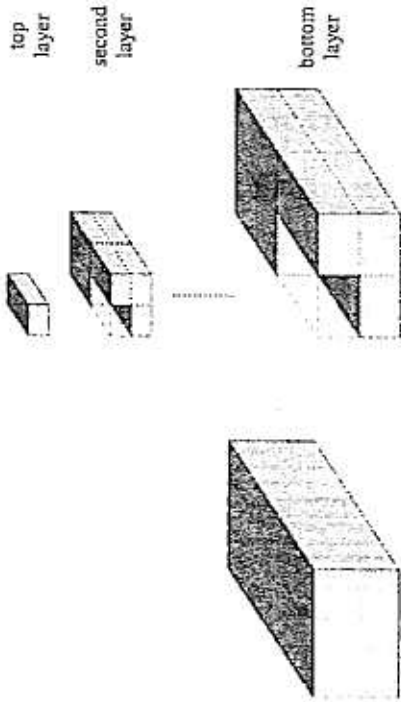


提案法では縦長に分割した方が符号化効率が高い

(5) サブバンド分解を用いた階層的符号化

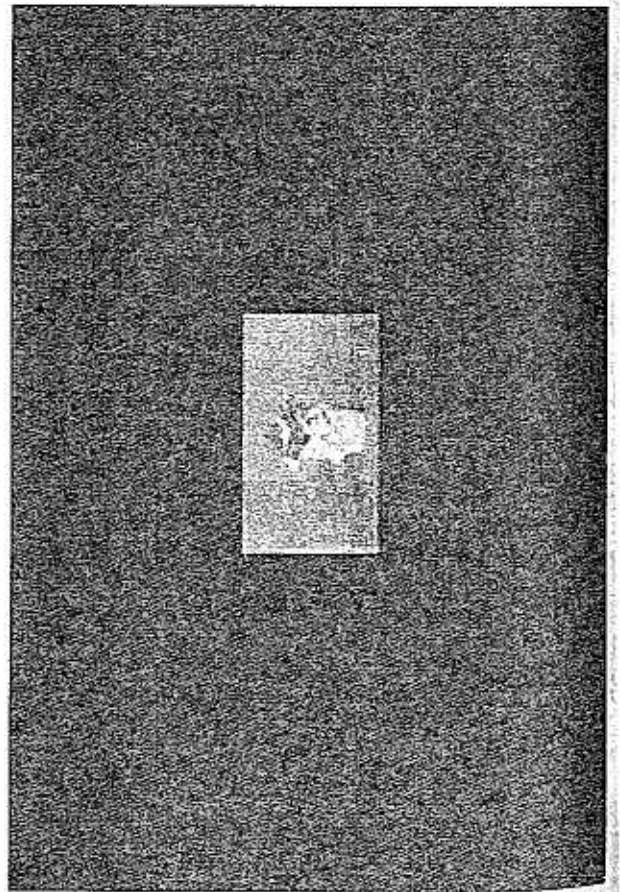


階層光線空間の提案

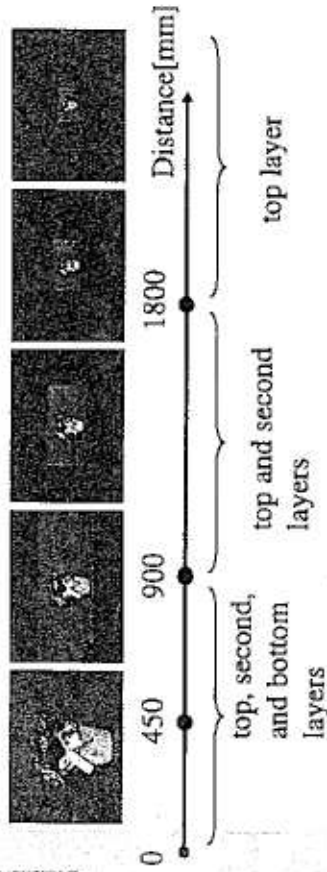


(a) Ray space

(b) Hierarchical ray space



階層光線空間からの画像生成

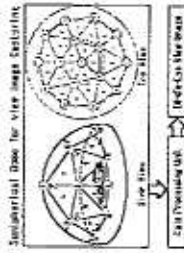


発表の概要

1. 3次元空間情報の光線空間表現
2. 光線空間データの取得
3. 光線空間データの圧縮, 符号化
4. 自由視点テレビ
 - (1) リアルタイム鳥瞰図生成システム
 - (2) MPEGへの提案
5. COEプロジェクトへの発展

多視点画像撮像装置

16眼撮影システムを構築



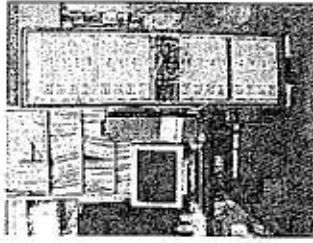
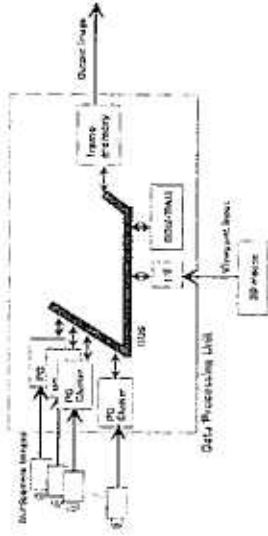
被写体: 1/24サイズのジオラマ・模型車を使用



用いたCCDカメラ

PCクラスタを利用したリアルタイム映像処理装置

- PC16台からなるクラスタシステム
- 各PC間をギガビットイーサネットで接続
- 各PCIに画像キャプチャボードを装備



Server Side

1. 各カメラからの映像データをリアルタイムで取得し、20FPSで処理する。

2. 各カメラからの映像データをリアルタイムで取得し、20FPSで処理する。

3. 各カメラからの映像データをリアルタイムで取得し、20FPSで処理する。

4. 各カメラからの映像データをリアルタイムで取得し、20FPSで処理する。

5. 各カメラからの映像データをリアルタイムで取得し、20FPSで処理する。

6. 各カメラからの映像データをリアルタイムで取得し、20FPSで処理する。

7. 各カメラからの映像データをリアルタイムで取得し、20FPSで処理する。

8. 各カメラからの映像データをリアルタイムで取得し、20FPSで処理する。

9. 各カメラからの映像データをリアルタイムで取得し、20FPSで処理する。

10. 各カメラからの映像データをリアルタイムで取得し、20FPSで処理する。

11. 各カメラからの映像データをリアルタイムで取得し、20FPSで処理する。

12. 各カメラからの映像データをリアルタイムで取得し、20FPSで処理する。

13. 各カメラからの映像データをリアルタイムで取得し、20FPSで処理する。

14. 各カメラからの映像データをリアルタイムで取得し、20FPSで処理する。

15. 各カメラからの映像データをリアルタイムで取得し、20FPSで処理する。

16. 各カメラからの映像データをリアルタイムで取得し、20FPSで処理する。

17. 各カメラからの映像データをリアルタイムで取得し、20FPSで処理する。

18. 各カメラからの映像データをリアルタイムで取得し、20FPSで処理する。

19. 各カメラからの映像データをリアルタイムで取得し、20FPSで処理する。

20. 各カメラからの映像データをリアルタイムで取得し、20FPSで処理する。

Client Side x 16

1. 各カメラからの映像データをリアルタイムで取得し、20FPSで処理する。

2. 各カメラからの映像データをリアルタイムで取得し、20FPSで処理する。

3. 各カメラからの映像データをリアルタイムで取得し、20FPSで処理する。

4. 各カメラからの映像データをリアルタイムで取得し、20FPSで処理する。

5. 各カメラからの映像データをリアルタイムで取得し、20FPSで処理する。

6. 各カメラからの映像データをリアルタイムで取得し、20FPSで処理する。

7. 各カメラからの映像データをリアルタイムで取得し、20FPSで処理する。

8. 各カメラからの映像データをリアルタイムで取得し、20FPSで処理する。

9. 各カメラからの映像データをリアルタイムで取得し、20FPSで処理する。

10. 各カメラからの映像データをリアルタイムで取得し、20FPSで処理する。

11. 各カメラからの映像データをリアルタイムで取得し、20FPSで処理する。

12. 各カメラからの映像データをリアルタイムで取得し、20FPSで処理する。

13. 各カメラからの映像データをリアルタイムで取得し、20FPSで処理する。

14. 各カメラからの映像データをリアルタイムで取得し、20FPSで処理する。

15. 各カメラからの映像データをリアルタイムで取得し、20FPSで処理する。

16. 各カメラからの映像データをリアルタイムで取得し、20FPSで処理する。

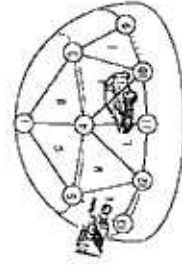
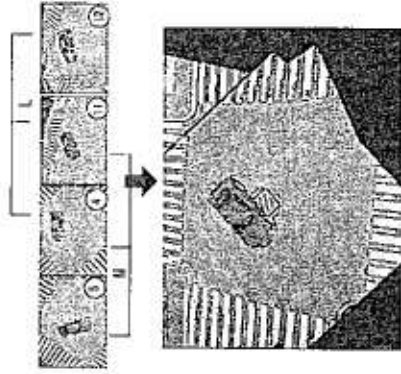
17. 各カメラからの映像データをリアルタイムで取得し、20FPSで処理する。

18. 各カメラからの映像データをリアルタイムで取得し、20FPSで処理する。

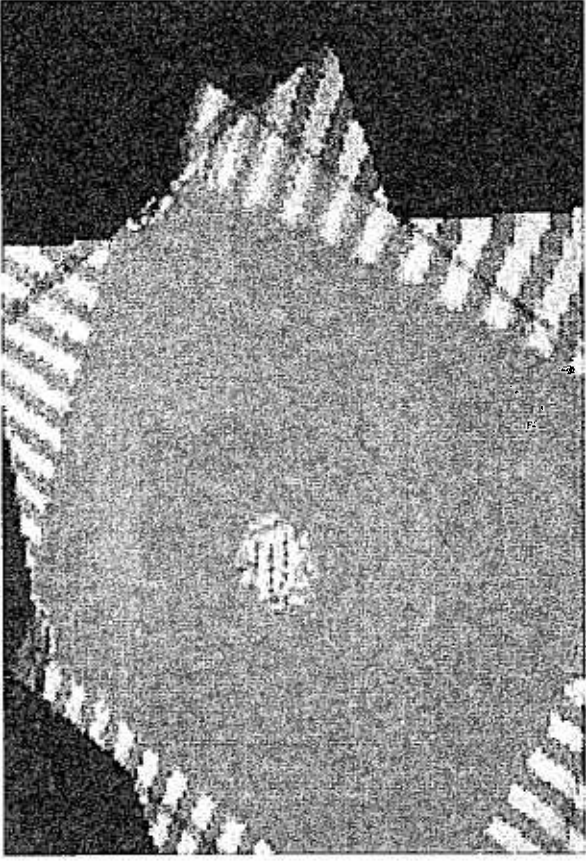
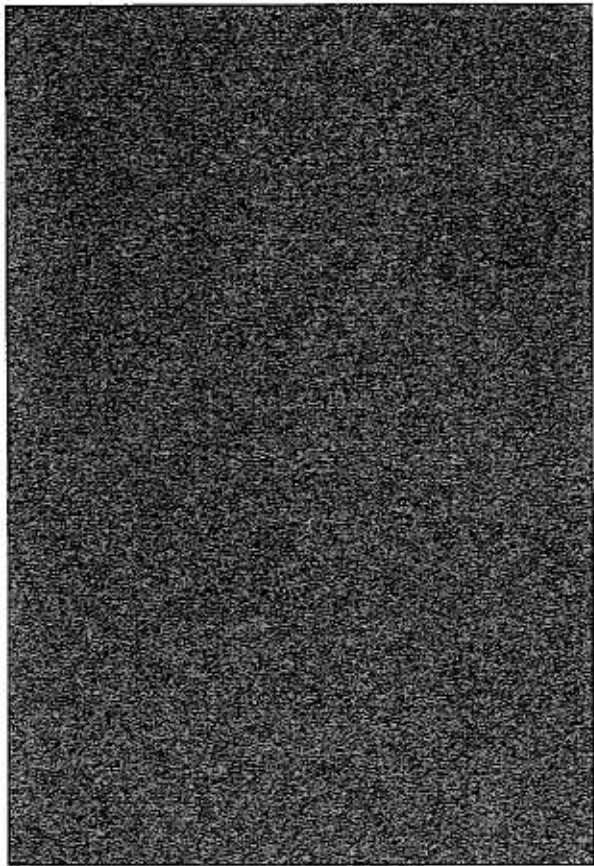
19. 各カメラからの映像データをリアルタイムで取得し、20FPSで処理する。

20. 各カメラからの映像データをリアルタイムで取得し、20FPSで処理する。

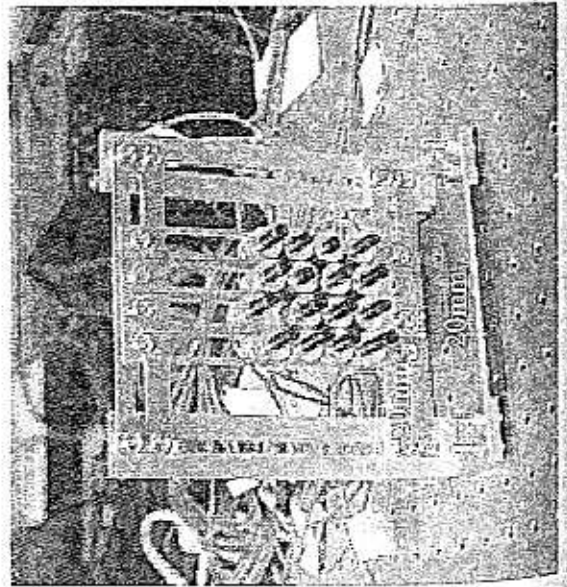
鳥瞰図生成の例



[Ref] M. Sakahob, T. Katsura, K. Toyota, T. Fujiki, T. Kimoto, M. Tachibana, "Bird's-Eye View System for ITS", IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2001, pp. 119-123, 2001.5.
Our-standing Papers in Interactive Section Award

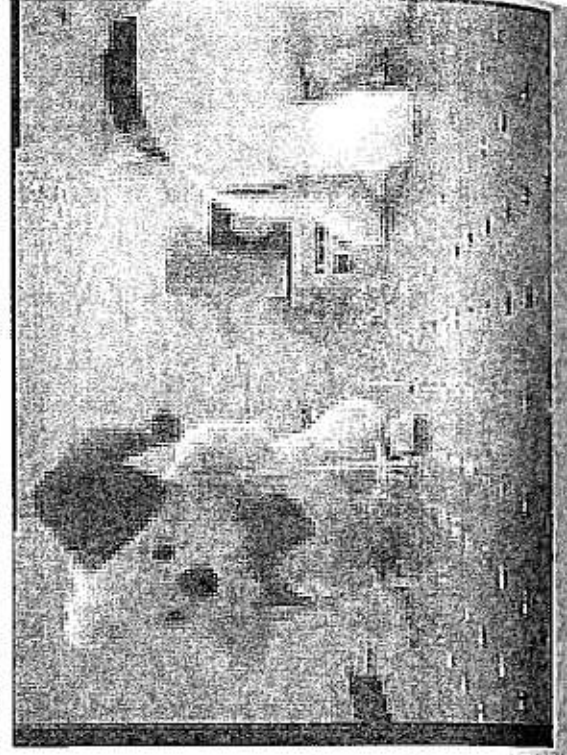


160 x 120 pixels, 10 frames/sec

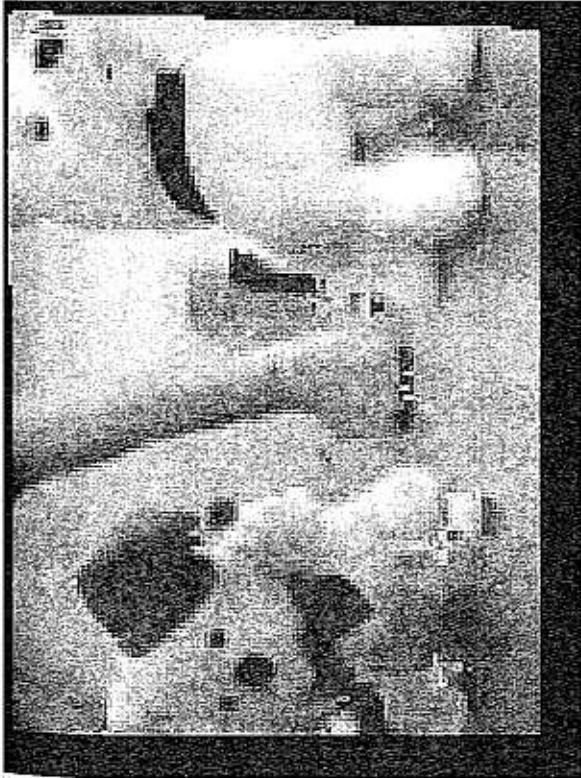


Camera platform (4x4 camera array)

カメラ2次元配列の例：原画像



カメラ2次元配列の例:自由視点画像



MPEGへの提案

MPEG: Moving Picture Experts Group
(3DAV Ad-hoc Group)

- **FTV - Free Viewpoint Television**,
ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 M8595, July 2002.
- **Comparative Evaluation of Ray-Space Representation**
ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 M8892, October 2002.
- **Quality Measure for Ray-Space Interpolation**
ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 M9238, December 2002.
- **Multi-View Video Acquisition System for FTV Experiment**
ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 M9472, March 2003.

Authors: Toshiaki Fujii and Masayuki Tanimoto

テストシーケンスの配布



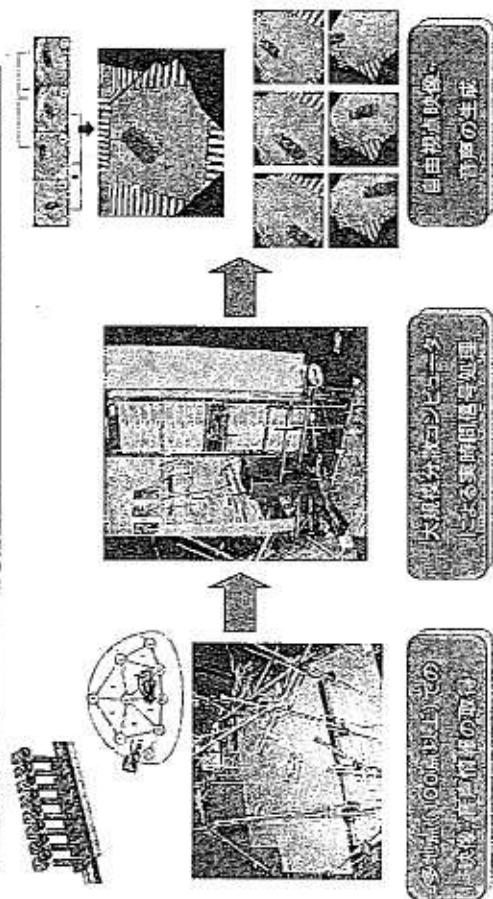
The test sequences are available at

<http://www.tanimoto.nuee.nagoya-u.ac.jp/index-e.html>

発表の概要

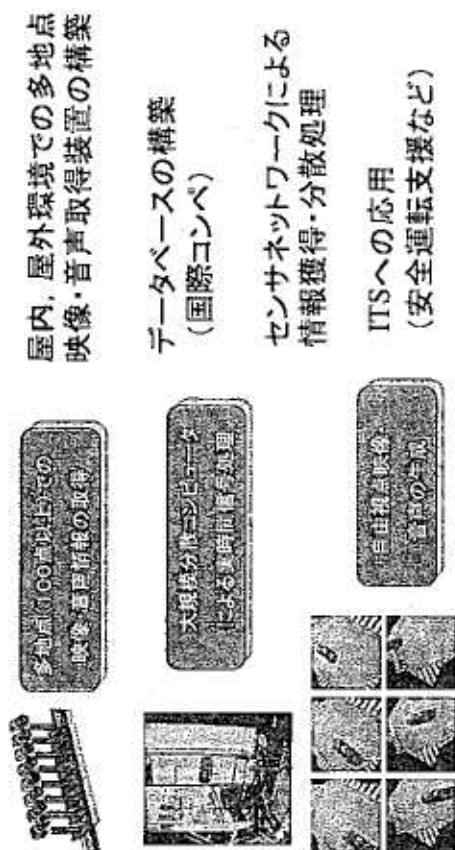
1. 3次元空間情報の光線空間表現
2. 光線空間データの取得
3. 光線空間データの圧縮, 符号化
4. 自由視点テレビ
5. COEプロジェクトへの発展

自由視点テレビシステムの発展



多地点映像・音声情報を統合した新しいメディアの構築

今後の目標



まとめ

1. 3次元空間情報の光線空間表現
2. 光線空間データの取得
3. 光線空間データの圧縮, 符号化
4. 自由視点テレビ
5. COEプロジェクトへの発展

3次元画像通信から自由視点テレビ, そして
COEプロジェクトへ



INTELLIGENT MEDIA PROJECT



INTELLIGENT MEDIA PROJECT

多視点画像処理の研究

名古屋大学 大学院
工学研究科 電子情報学専攻

藤井 俊彰

End