

3次元画像表示のための多眼ステレオカメラの最適配置について

5G-4

佐藤 清秀 北原 格 大田 友一

筑波大学 電子・情報工学系

1 はじめに

我々の提案する3次元画像表示方式は、多数のカメラを平面の格子点上に配置したカメラマトリクスによってシーンを撮影し、多眼ステレオ法SEA (Stereo by Eye Array) を用いて復元された3次元情報を基に、観測者の視点位置に対応した仮想カメラによる観測画像を生成し表示することで実現される [1][2]。本手法によれば、実際の情景を対象として、任意の視点位置からの自然な観測画像の提示が可能である。しかし、十分に広範囲の視域と視野を確保するためには、多数のカメラを用意しなくてはならない。本報告では、十分な視域を確保するためのカメラの配置法や、必要最小限のカメラ数について検討する。

2 光軸を平行配置した手法の原理と問題点

従来の手法 [1] では、 $M \times N$ 台のカメラを、光軸がシーン座標系の Z 軸と、画像座標系の x, y 軸が X, Y 軸とそれぞれ平行になるように、等間隔な格子平面上の視点位置 $V^{m,n} = V(mb, nb, 0)$ に配置した。ここで、カメラ間隔を b 、各カメラの焦点距離を f 、各カメラによる観測画像を $I^{m,n}$ と表記する。この様な配置の基では、シーン中の点 $P(X, Y, Z)$ の二つの画像への投影像の座標 $I^{m,n}(x_1, y_1)$, $I^{m+k,n+l}(x_2, y_2)$ の間に、次式の関係が成立する。

$$x_2 = x_1 - k \cdot d, \quad y_2 = y_1 - l \cdot d \quad (1)$$

ここで、物体の奥行き Z によって $b \cdot f / Z$ に一意に定まる値 d を注目点の「視差」と定義する。3次元復元過程では、各画像の各点 $I^{m,n}(x, y)$ に注目し、周辺の 3×3 の画像 $I^{m+k,n+l}$ ($k, l = -1, 0, 1$) 上でさまざまな d に対して定まる対応点間の相違度を基に、その点の視差 $D^{m,n}(x, y)$ を推定する。画像生成過程では、仮想視点 $V^{m',n'}$ (m', n' は非整数) においても式 (1) の関係が成立することを利用して、観測画像 $I^{m',n'}(x', y')$ の輝度値を、次式が成立する $I^{m,n}(x, y)$ の輝度値によって決定する。

$$\begin{aligned} x' &= x - (m' - m) \cdot D^{m,n}(x, y), \\ y' &= y - (n' - n) \cdot D^{m,n}(x, y) \end{aligned} \quad (2)$$

光軸を平行にしたカメラ配置を用いることで、各画像上での対応点間にこのような簡単な関係が成立する。しかし、カメラ台数を減らすためにカメラ間隔を広く取ると、各カメラに共通に写る領域が減少するために、画角の狭い画像しか生成できないという問題がある。

3 光軸を輻輳させたカメラマトリクス

図1に示したように、カメラマトリクスの全カメラの光軸方向を対象物体に輻輳させることで、全てのカメラ

が広い視野で対象物体を観測できるが、式 (1) の関係は失われてしまう。本節では、この様なカメラ配置下で定義される多眼ステレオの「視差」と、それを基に行われる対応探索手法について説明し、さらに内挿画像の生成手法を提案する。以降では、全てのカメラのカメラパラメータ (視点の位置、方向、焦点距離、撮像素子の大きさ、画像中心) は既知であるとする。

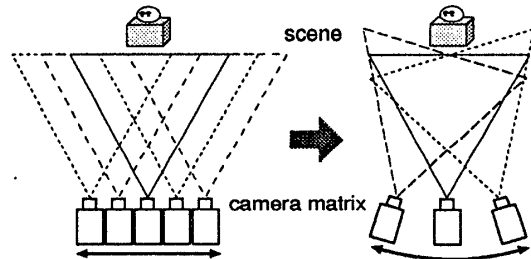


図1: カメラマトリクスの平行配置と輻輳配置

3.1 視差の定義と対応探索

画像 $I^{m,n}$ に注目した時の視差を定義する。まず始めに探索範囲として、カメラ座標系 $C^{m,n}$ における奥行き dep^{min} と最大値 dep^{max} を定める。ここで、ある注目点 $I^{m,n}(x_1, y_1)$ の奥行きが dep^{min} , dep^{max} の時の、それぞれ一意に定まる各周辺画像上の対応点を $I^{m+k,n+l}(x_2^{min}, y_2^{min})$, $I^{m+k,n+l}(x_2^{max}, y_2^{max})$ とおく。

画像 $I^{m,n}$ と $I^{m+k,n+l}$ をエピポーラ線が x 軸と平行になるように正規化した画像を $\tilde{I}^{m,n}$, $\tilde{I}^{m+k,n+l}$ とすると、上記の2点の座標は $\tilde{I}^{m+k,n+l}(\tilde{x}_2^{min}, \tilde{y}_2^{min})$, $\tilde{I}^{m+k,n+l}(\tilde{x}_2^{max}, \tilde{y}_2^{max})$ と表記できる。ここで、 $\tilde{y}_2^{min} = \tilde{y}_2^{max} = \tilde{y}_2$ である。また、注目点の奥行きが dep^{min} から dep^{max} に変化した時、その投影像は \tilde{x}_2^{min} から \tilde{x}_2^{max} まで $y = \tilde{y}_2$ 直線上を移動する。そこで、参照画像上の全点を全ての周辺画像に対して同様に投影し、その最大変位を視差の最大値 $dmax$ と定義する。そして、注目点の奥行きが dep^{max} の時の視差を0、 dep^{min} の時の視差を $dmax$ と定義する。

この時、注目点 $I^{m,n}(x_1, y_1)$ のカメラ座標系 $C^{m,n}$ における奥行きが dep ならば、その点の視差 d は、

$$d = \frac{(dep^{max} - dep) \times dep^{min} \times dmax}{(dep^{max} - dep^{min}) \times dep} \quad (3)$$

となり、各周辺画像上での対応点 $\tilde{I}^{m+k,n+l}(\tilde{x}_2, \tilde{y}_2)$ は、

$$\begin{aligned} \tilde{x}_2 &= \tilde{x}_2^{max} + (\tilde{x}_2^{min} - \tilde{x}_2^{max}) \times \frac{d}{dmax} \\ \tilde{y}_2 &= \tilde{y}_2^{max} = \tilde{y}_2^{min} \end{aligned} \quad (4)$$

に一意に定まる。ある d の仮定に対して全ての周辺画像上の対応点が定まるので、以降の処理は従来と同様に行える。すなわち、隠れ検出の可能な多眼ステレオ法SEA

A [1][2] により、密で物体輪郭の明確な視差情報が獲得できる。

3.2 内挿画像の生成

本節では、前節により復元された各画像の視差画像 $D^{m,n}$ を基に、任意の仮想視点 $V^{m',n'}$ における観測画像を生成する手法について述べる。

基本的な手法は光軸が平行な場合と同じである。まず第一段階として、仮想視点に最も近い視点位置の入力画像 $I^{m,n}$ とその視差画像 $D^{m,n}$ を基に、仮想視点における観測画像 $I'(x',y')$ の視差を推定する。もし、

$$\tilde{D}^{m,n}(\tilde{x}^{max} + (\tilde{x}^{min} - \tilde{x}^{max}) \times \frac{d}{d_{max}}, \tilde{y}) = d \quad (5)$$

が成立すれば、 d は $I'(x',y')$ の視差である。式 (5) が成立しない時は、 d は $I'(x',y')$ の視差でないか、または、視差であるが隠されていると判断できる。ここで、 $\tilde{I}^{m,n}$ 、 $\tilde{D}^{m,n}$ は、入力画像を仮想視点のカメラパラメータにより正規化したものである。また、 $\tilde{I}^{m,n}(\tilde{x}^{max}, \tilde{y})$ 、 $\tilde{I}^{m,n}(\tilde{x}^{min}, \tilde{y})$ はそれぞれ、入力画像のカメラ座標系 $C^{m,n}$ における奥行きが dep^{max} 、 dep^{min} の時に $I'(x',y')$ に投影される、 $\tilde{I}^{m,n}$ 上の点である。

条件式 (5) を満たす d を、注目点の視差とする。式 (5) を満たす d が複数存在する場合は、視差の大きな物体ほどカメラからの距離が近いという理由から、そのうちの最大の d を選択する。一方、式 (5) を満たす d が一つも存在しない場合は、画像 $I^{m,n}$ 上から対応点を得ることができない。この状況は、対応点が $I^{m,n}$ 上で他の物体に隠されており、観測されていない場合に相当する。ここまでで得られる情報を基に、対応点の観測値をそのまま注目点の観測値として画像を生成する。以上の処理を第一段階とする。

さらに第二段階として、二番目に視点位置に近い入力画像を用いて同様の処理を行う。ただし、第一段階で既に値が与えられている点に関しては、対応点が同一点の時のみ、それらの値の視点間の距離に応じた重み付きの平均値を注目点の輝度値とする。その判断は、それぞれの対応点の視差を仮想視点のカメラ座標系の奥行き情報に変換し比較することで行う。同様の処理を仮想視点近傍の幾つかの入力画像に対して繰り返すことで、抜けの無い画像が生成できる。

4 実験結果

対象物体にカメラ光軸を輻輳させた 7×7 のカメラマトリクスにより撮影した画像の一部 (中心の 3×3) を図 2 に示す。この時、 $b = 10$ [cm] で、カメラマトリクス平面から約 2 [m] の位置に対象物体を置き、常に画像中心付近に対象物体が写るように、視点 $V^{m,n}$ に対して X 軸周りに $-3.0m$ 度、 Y 軸周りに $3.0m$ 度の輻輳を与えた。図 3 に画像 $I^{0,0}$ に対する視差推定結果を示す。(a),(b) は隠れ検出の有無による結果の違いで、大きい視差を明るい輝度値で示している。また図 4 に、いくつかの仮想視点に対する生成画像を示す。提案する手法はこのように、

光軸の輻輳するカメラマトリクスにおいても、密で物体輪郭の明確な視差画像の獲得と、品質の高い内挿画像の生成が可能である。その結果、従来法と比べ少数のカメラで広い視域と広い視野が再現できることが確認された。

次に、輻輳角を $5.0, 7.5, 15.0$ 度と変化させ、同様な情景に対して画像生成実験を行ったところ、 7.5 度までの輻輳角では、十分な品質の生成画像を得ることができた。この結果から、例えば縦に 15 度、横に 45 度の視域角を再現するためには、 7×3 の視差画像が必要といえる。視差画像はカメラマトリクスの周辺部では得られないので、このとき必要なカメラは $9 \times 5 = 45$ 台となる。今後は、周辺部分の画像で視差推定を精度良く行う手法や、等間隔以外のカメラ配置方法を検討する。また、いずれのカメラでも観測されていない点を、観測者に不自然さを感じさせないように補完する工夫も必要とされる。

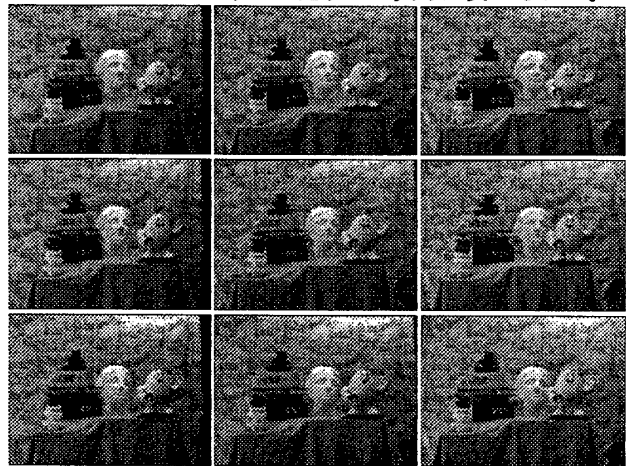
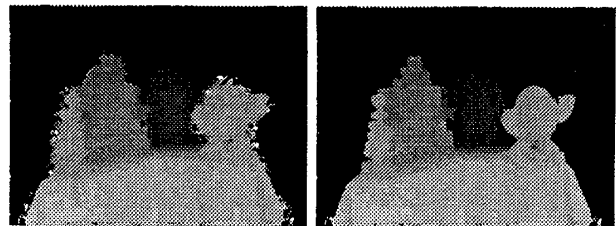
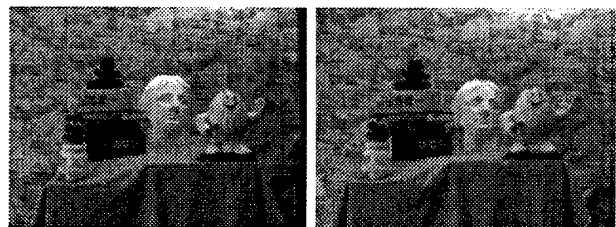


図 2: 撮影画像



(a) 隠れ検出無し (b) 隠れ検出有り

図 3: 視差画像



$I^{-0.5,-0.5}$ 図 4: 内挿画像 $I^{0.6,0.6}$

参考文献

- [1] 佐藤, 北原, 大田, “多眼ステレオ法を用いた運動視差の再現可能な 3 次元画像表示”, 3 次元画像コンファレンス' 95, pp.178-183, 1995
- [2] 佐藤, “ステレオ法による奥行き情報の獲得とそれに基づく 3 次元画像表示に関する研究”, 筑波大学博士論文, 1996