

全周画実時間生成アルゴリズム

佐藤哲哉

大分県・工業技術院研究交流センター

Realtime Correcting Algorithm of Omnidirectional Images

Tetsuya SATO

Oita-Aist Joint Research Center

要旨

全周画は、監視装置、ロボットや自立走行車等に搭載する視覚装置、マルチメディア情報機器等として広範な活用が想定されその要求も高まってきている。このような画像を取得する全周画カメラには、実用上、従来のカメラがもつと同様な①全周画実時間表示②低画像歪③高解像度④小型⑤堅固といった要件をもつことが望まれている。小型で堅固な構造の2台のカメラと2つの反射ミラーを用いた全周画カメラについて、既に報告しその有用性を示した。本報告では、補正データテーブルを作成することによって、一度の画素再配置処理を行うだけで補正された4枚の透視変換画像からなる全周画実時間表示するアルゴリズムについて歪曲収差補正を中心として述べる。

1. はじめに

全周画は、異常の発見や作業現場の安全確保のための監視装置、ロボットや自立走行車等に搭載する視覚装置、マルチメディア情報機器等として広範な活用が想定され、その要求も高まってきている。このような画像を取得する全周画カメラには、実用上、従来のカメラがもつと同様な①全周画実時間表示②低画像歪③高解像度④小型⑤堅固といった要件をもつことが望まれている。小型で堅固な構造の2台のカメラと2つの反射ミラーを用いた全周画カメラについて、既に比較的遠方領域の画像を対象とする小型で堅固な構造の2台のカメラと2つの反射ミラーを用いた全周画カメラについて、報告しその有用性を示した。¹⁾²⁾ 本稿では、全周画実時間、低歪表示に向けた画像補正アルゴリズムについて述べる。

2. 全周画カメラの原理

基本原理は上下に配置された2台のカメラと互いに直角に配置された2つの三角柱型反射ミラーにより成る。(Fig 1) 各々のカメラには水平画角が90度以上の広角レンズが装着されている。レンズ中心aに対するその反射像はミラー面の境界を中心として、互いに反対方向の2方向の情報を持つ。同様に、レンズ中心bに対する三角柱型反射ミラーbの反射像は、互いに反対方向の2方向の情報を持つ。このことから、2つの三角柱型反射ミラーによる反射像は全周(4方向)の画像情報を含んでいる。これら4方向の画像を用いて補正処理を行い方向毎に連結し全周画を生成する。

3. 全周画カメラ画像の特徴

全周画カメラの2台のカメラから得られる原画像は下記要因の影響により大きな(画像)歪みが生じている。²⁾

- ・広角レンズ: 広角レンズによる画像歪みの要因は主にレンズの歪曲収差にある。

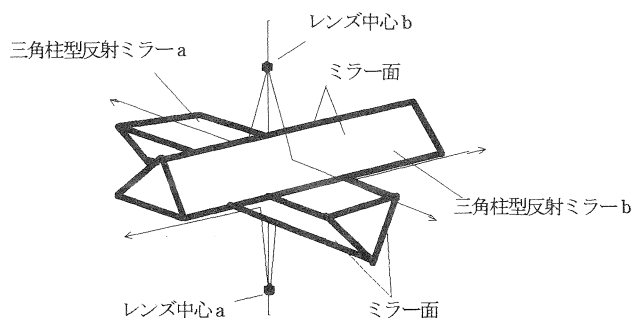


Fig 1. 原理図

- ・カメラ光軸の傾き: 全周画カメラの構造上カメラ光軸が傾く。その結果得られる画像は斜視画像となる。
- ・反射ミラーによる像の反転: 実環境をミラーを介して撮像する。撮像画像は像が反転する。
- ・撮像領域の重複: 広角レンズで撮像された4方向画像には相互に重複領域がある。

全周画の生成はこれら画像歪みをもつ画像情報を補正し、方向毎に連結された4方向の透視投影画像情報に変換しモニタ上に表示することである。このような全周画は人の目に違和感のない画像表現となる。

4. 画像補正アルゴリズム

補正処理は全周画カメラ画像の画素再配置処理として定式化される。歪曲収差による補正は原画像の全画素について補正式を用いて対応する補正点を求め、その位置に画素を再配置する。同様にカメラ光軸の傾きに起因する斜視画像の補正は実環境平面を等価的に傾き角に相当する角度だけ逆向きに回転し、その仮想平面上への写像点を求め、その位置に画素を再配置する。また、像の反転の補正は画像中心を原点とする上下左右の対称位置へ画素を再配置する。また、撮像領域の重複については、上記補正がなされた画像に対してキャリ

ブレーションにより4方向画像の境界を定める。

この内、歪曲収差の補正に関しては確立した手法はない。一般にカメラレンズは複数の単レンズの組みあわせから成る。製造上の誤差等の要因により同じカメラレンズ間でも焦点距離等を含むレンズパラメータは異なる。これらレンズパラメータはユーザ側で必要に応じて個別に計測しなければならない。歪曲収差の補正に関するパラメータについても同様である。ここでは、画像補正の中心的課題となるカメラレンズの歪曲収差の補正を中心として報告する。他の補正項目については幾何学的計算式、キャリブレーションにより容易に補正式の導出が可能である。

4.1 歪曲収差補正

全周囲カメラは、広角レンズ（水平画角：107度）を用いていることから歪曲収差の発生が顕著である。Fig 2に歪曲収差が発生している画像とその補正すべき画像との関係を示す。上部画像は規則的な格子パターンをもつ校正ボードを広角レンズで撮像した時の画像である。歪曲収差の影響により画像中心から周辺部に行くに従い撮像倍率が変化し画像全体として樽型となる。この時の ρ は画像中心から任意画素位置までの距離とする。一方、下部画像は同じ校正ボードを広角レンズと同一の焦点距離をもつ歪曲収差のない理想レンズで撮像したと仮定した時の画像である。この時の ρ' は画像中心から上部画像の ρ と同一の画素位置までの距離とする。

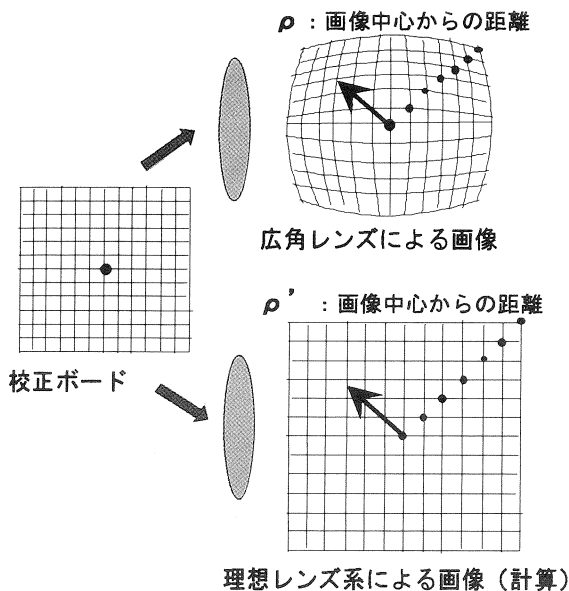


Fig 2. 歪曲収差の補正

ρ' の値はピンホールカメラを想定し計算により求めることができる。

歪曲収差を補正するためには ρ と ρ' との関係式を導くことにある。歪曲収差の発生が比較的小さい時、この関係は近似的に次式でモデル化される。⁴⁾

$$\rho' = \rho + k \cdot \rho^3 \quad (1)$$

ここで、 k は補正係数である。 k の値を求めるためにいくつかの提案がなされている。Tsaiは高精度カメラキャリブ

レーションの解析的な手法を提案している。⁵⁾ その中で歪曲収差モデルは次式としている。

$$\rho' = \rho + k_1 \cdot \rho^3 + k_2 \cdot \rho^5 \quad (2)$$

しかし、歪曲収差の発生が大きい場合にはこのモデル式では誤差が大きいことが示されている。魚眼レンズをも含めた広角レンズの補正手法はまだ確立していない。ここでは、S. Shah等の方法を用いる。⁶⁾ S. Shah等は歪曲収差の補正式をLagrangeの内挿法を用いて5次の多項式により表している。

$$\rho' = k_1 \rho + k_2 \cdot \rho^2 + k_3 \cdot \rho^3 + k_4 \cdot \rho^4 + k_5 \cdot \rho^5 \quad (3)$$

内挿法を用いていることから画像中心を含む6点の ρ に関する格子パターン上の位置の実測値と計算値とを予め求めておくことで、内挿式を展開した式(3)の係数 k_1, k_2, k_3, k_4, k_5 を決定することができる。よって式(3)により任意の実測値 ρ に対する補正值 ρ' を計算することができる。S. Shah等はこの係数を歪曲収差の補正係数の概略値としている。この概略値を基にキャリブレーションパターンの直線が観測画像上でも直線となるという先験的な知識により補正係数を更に最適化している。

また、複数の単レンズの組み合わせによるカメラレンズはアッセンブリ段階で製造誤差により全てのレンズ光軸が厳密には一致していないことがある。所謂decenteringによる収差もある。しかし、ここでは、この影響はないものとして考える。式(3)は広角レンズによる樽型歪みをもつ画像を人の目に違和感のない補正された透視投影画像に変換する主なるものである。

式(3)は観測画像(原画像)から補正画像への変換式である。樽型の歪みをもつ画像を補正する時その補正画像領域は原画像の画像領域より大きくなる。式(3)に従い原画像の画素を補正画像上へ1:1の関係で画素を再配置すると、補正画像上に画素が配置されない空画素が生じる。結果として補正画像では多くの空き画素が生じることになる。これら空き画素には周辺画素の輝度値の平均値を配置する等の画素間演算処理が必要となる。S. Shah等はこの空画素が生じないための方法としてinverse mapping手法を提案している。式(3)が原画像から補正画像への変換を表したのに対して、補正画像から原画像への変換を可能にする式(4)を導出している。

$$\rho = a \rho' + b \cdot \rho'^2 + c \cdot \rho'^3 + d \cdot \rho'^4 + e \cdot \rho'^5 \quad (4)$$

ここで、 a, b, c, d, e は補正係数である。これは式(3)が簡便なLagrangeの内挿法を用いていることから ρ と ρ' との関係を逆にすることで式(3)と同様に式(4)を導出できることによる。式(4)は補正画像上の画素と原画像上の画素との関係を補正画像上の画素を基本として1:1の関係で関連付けている。しかし、画像領域の大きいものから画像領域の小さいものへの関連付けであるため、結果として1:manyの関係となる。式(4)により空き画素の問題は解消され、一意に補正画像への変換が可能となる。

本稿では式(4)の歪曲収差補正式を用いる。本手法を用いた全周囲カメラに関する補正係数を以下に示す。

- a : +1. 031391
- b : -3. 411060 × 10⁻⁵
- c : -3. 029893 × 10⁻⁶
- d : +4. 138402 × 10⁻⁹
- e : -1. 638638 × 10⁻¹²

5. 補正データテーブルの作成

歪曲収差、レンズ光軸の傾き、像の反転、重複撮像領域に対して補正する手順は定式化された。全周囲カメラの原画像に対する補正処理はこれら個別の補正手順を一括して定式化する。この際にこれら個別の補正手順は画素の再配置位置を特定する処理であり、画素の輝度値に関する画素間演算を含まない。このため、Fig 3に示すように個別の補正手順を順次適用し、原画像の画素位置 (x₀, y₀) と最終的な補正位置 (x₄, y₄) との関係を求めることができる。

まず、式(4)により補正画像上の画素位置 (x₁, y₁) に対する原画像上の画素位置 (x₀, y₀) を求める。(x₁, y₁) は原画像に対して歪曲収差が補正された画素位置である。但し (x₁, y₁) はレンズ光軸の傾きによる歪みの影響を受けている。光軸の傾き補正式を適用しその歪みを (x₂, y₂) に補正する。この段階で画像歪みに関する補正が達成される。

次に、本来、原画像はミラー反射画像であることから反射幾何の関係により上下左右の対称再配置位置 (x₃, y₃) への反転補正を行う。この補正画像上の画素位置 (x₃, y₃) と原画像上の画素位置 (x₀, y₀) とは一意に関係付けられている。最後に、キャリブレーションにより決定された重複撮像領域を含まない画像境界内にこの (x₃, y₃) があるか否かを判定し、ある場合には (x₀, y₀) の最終的な補正画素位置を (x₃, y₃) とする。ない場合には (x₀, y₀) は対象外の原画像の画素とする。

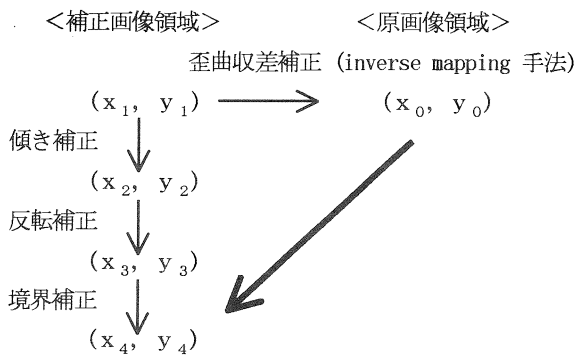


Fig 3. 補正データテーブルの作成

5. まとめ

補正データテーブルを作成することによって、一度の画素再配置処理を行うだけで補正(歪曲収差, 光軸の傾き, 反転, 境界)された4枚の透視変換画像からなる Fig 4 (a) の

ような全周囲 (パノラマ) 画像を高速表示することができる。その補正処理にかかる計算コストは小さく、処理時間はPCの計算速度に依存する。近年のPCの計算速度は大きく向上しており十分な性能を有している。ペンティアム300MHzのPCで10フレーム/秒の処理・表示速度であった。

全周囲カメラ画像の補正処理は専用のハードウェアを必要とせず画素位置の対応付けというソフト処理のみで高速に実現することができる。このことは装置コストの低減化のためにその意義は大きい。

尚、Fig 4 (a) の画像の縦横比は1 : 1.3程度である。その全体像を一度にモニタ表示することは縮小すれば可能であるが、モニタ表示領域の縦横比が3 : 4であることからすると不向きである。Fig 4 (b) に4方向の画像を縦列に配置した全周囲画像である。境界部の連結性についての感覚的な違和感が残るが全周囲画像をモニタ上で一度に表示する方法としては妥当と考える。

今後は監視等への適用・評価を行っていく。

<参考文献>

- 1) 佐藤, 信学98全大, D-11-149.
- 2) 佐藤, 信学98ソサイアティ大, D-11-93.
- 3) 佐藤, 大分県産業科学技術センター平成9年度研究報告
- 4) 辻内, 応用画像解析, 共立出版
- 5) R. Y. Tsai, "IEEE J, Robotics Automat. 3, pp. 323-344 1987"
- 6) S. Shah, et al, "PR, Vol29, No11, pp. 1775-1788, 1996"

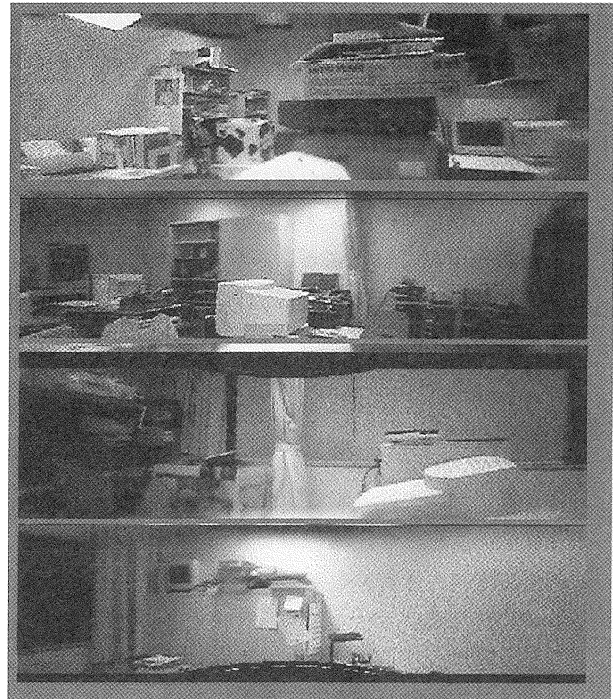


Fig 4 (b). 補正された全周囲画像 (4段)

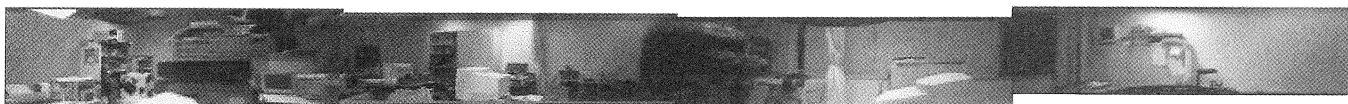


Fig 4 (a). 補正された全周囲画像