

全方位カメラのためのパノラマ画像展開

佐藤辰雄*, 後藤和弘**

*大分県・産業技術総合研究所研究交流センター, **情報産業部

Extension Method for Omni-directional Camera

Tatsuo SATO*, Kazuhiro GOTO**

*OITA-AIST Joint Research Center, **Industrial Technology Div.

要旨

通常のカメラは一度には一方向しか観察できない。全方位カメラは、魚眼レンズ、円錐、多角錐、球面、双曲面ミラーのような光学系を用いて 360° 全方位が見えるようにしたカメラである。得られる全方位画像は、循環的に水平面内全方位の画像であるため、カメラが水平面上で旋回したときも、その画像は回転方向に位置だけ変化するものの視野範囲は変わらない。この性質からロボットの周囲環境認識や周囲の監視等への応用が可能である。一方全方位画像は前述のようなミラーを用いて平面に投影されるため、その画像は周囲の対象シーンが同心円状に撮影され、そのままでは一般的な画像処理を適用することが困難である。そこで、このような応用のためにパノラマ展開法を開発し、応用例として周囲環境の認識実験を行って認識率が改善できることを実験的に確認した。本手法によりパノラマ展開時の解像度にも影響されることなく見た目の自然なパノラマ画像が得られるようになり、様々な応用が期待される。

1. はじめに

全方位カメラは、魚眼レンズ、円錐、多角錐、球面、双曲面等のミラーのような光学系を用いて 360° 全方位が見えるようにしたカメラである。得られる画像は同心円状の画像となる。また、これを円筒面状に投影し直した画像をパノラマ画像と呼ぶ。パノラマ画像は、循環的全方位の画像であるため、カメラが水平面上で旋回したときも、その画像は回転方向に位置だけ変化するものの視野範囲は変わらない。この性質から、パノラマ画像から位置不変な特徴抽出を行うことにより、カメラの向きによらない周囲環境認識や周囲環境の監視などへの応用が期待できる。

Log-Polar 変換は極座標上のサンプリング点を直交座標上に再配置する変換で、形式的にはパノラマ展開とよく似ている。これを利用すれば全方位画像から Log-Polar 変換に基づきパノラマ画像によく似た画像を構成することができる。これを Log-Polar-Panorama 画像(以下 LPP 画像)と呼ぶことにする。

Log-Polar 画像は角度のような形状の特徴を保存していることが知られている。LPP 画像においても、形状のゆがみが少ない、カメラからある程度遠くにある物体は距離が多少変わっても画像上での大きさがあまり変わらないなど、通常のパノラマ画像とは少し異なった性質を有している。このような性質から、LPP 画像を用いるこ

とにより全方位カメラによる環境認識や位置推定などがロボストに行える。

一方通常のパノラマ展開を行った画像や、LPP 画像は展開時の解像度により、パノラマ画像中のシーンの縦横比が変化する。そのため解像度によっては見た目にも不自然な画像となり、画像認識などに応用する場合認識率を低下させる一因となる。

本研究ではこの欠点を改善するため、新たに縦横等間隔のパノラマ展開法を提案し、その応用例として周囲環境の認識実験を行って、認識率が改善できることを実験的に確認した¹⁾。

画像を用いて位置などのパラメータを推定する手法として、パラメトリック固有空間法²⁾がよく知られており、これを用いた物体のポーズ推定³⁾などの研究例もある。

本研究では周囲環境の認識実験として、このパラメトリック固有空間法を用いて空間座標を推定することにより、室内における位置検出を試みた。

2. 全方位画像と従来のパノラマ画像展開

全方位カメラで撮影した画像(全方位画像)は双曲面ミラーを用いて周囲のシーンを平面上に投影するため、周囲のシーンがその方位によって円周上に配置された同心円状の画像として得られる。その一例を Fig.1 に示す。

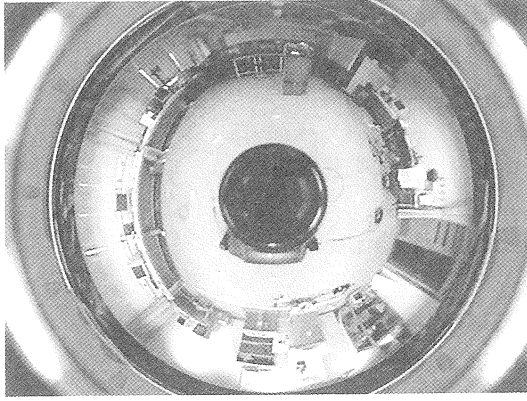


Fig. 1 An example of omni-directional camera image

2.1 従来のパノラマ展開

従来のパターン認識や画像処理手法の多くは、画素が方眼状に並んでいることを前提としており、そのままでは Fig.1 のような全方位画像には適用しづらい。そのため、このような画像を画素が方眼状になるように表現形式を変換して用いることが多い。この変換がパノラマ展開である。

これまでの研究ではこの展開は極座標と直交座標の間の単純な座標変換として実現されてきた。具体的には、パノラマ画像中の座標を直交座標表現で $(x_{ij}, y_{ij})'$ 、全方位画像中の座標を極座標表現で $(r_i, \theta_j)'$ として、以下のように表される。

$$\begin{cases} x_{i,j} = r_i \cos \theta_j \\ y_{i,j} = r_i \sin \theta_j \end{cases} \quad (1)$$

展開した画像は、全方位画像の極座標上で半径方向、円周方向のそれぞれについて等間隔にリサンプリングしたときの画像変換になっており、その画像例を下図に示す。



(a) A small image with horizontal resolution of 360 pixels



(b) A large image with horizontal resolution of 720 pixels

Fig. 2 Examples of panorama image, extended with conventional method

この画像は等間隔リサンプリングによるため、カメラから物体までの距離によって縦横の比率が異なっており、見た目上違和感のある画像であり、またパターン認識などを適用した場合も認識率の面で高い結果が得られにくい、などの欠点がある。

2.2 対数間隔サンプリングパノラマ展開

Log-Polar 変換は人の眼の中心穿の幾何学的性質を実現する目的で研究されてきた極座標・直交座標変換で、極座標上のサンプリング点を円周方向に等間隔、半径方向には対数間隔で直交座標上に再配置することができ、両画像上で角度を保存する性質を持っている。これをパノラマ展開に適用すれば、パノラマ画像中での縦横比がカメラと物体間の距離の対数に依存することになり、変動の比較的小さいパノラマ変換を実現できる。具体的には、パノラマ画像中の座標を直交座標表現で $(x_{ij}, y_{ij})'$ 、全方位画像中の座標を極座標表現で $(\rho_i, \theta_j)'$ として、以下のように表される。

$$\begin{cases} x_{i,j} = r_i \cos \theta_j = \exp(\rho_i) \cos \theta_j \\ y_{i,j} = r_i \sin \theta_j = \exp(\rho_i) \sin \theta_j \end{cases} \quad (2)$$

これは(1)式の半径にパノラマ画像の縦軸の対数をとったものとなっている。画像例を Fig.3 に示す。



(a) A small image with horizontal resolution of 360 pixels



(b) A large image with horizontal resolution of 720 pixels

Fig. 3 Examples of panorama image, extended with Log-Polar-Mapping method

この場合にも従来法ほどではないものの、カメラから物体までの距離によって縦横の比率が異なっており、見た目上多少の違和感があり、またパターン認識などを適用した場合も認識率の面でそれほど高い結果が得られにくい、などの欠点が残る。

2.3 準正方格子間隔サンプリングパノラマ展開

前節の方法の検討から、半径方向のリサンプリングにおいて、カメラ物体間の距離が変動しても物体の見え方の縦横比をなるべく変化させないためには、円周方向のリサンプリング間隔と、半径方向のリサンプリング間隔を一定にすれば、縦横比が変動しないパノラマ展開が可能であることがわかる。このような展開法は(1)式に半径方向のリサンプリング間隔を円周方向のリサンプリング間隔と同じになるような拘束式を付加すればよい。具体的には以下のようなようになる。

$$\begin{cases} x_{i,j} = r_i \cos \theta_j \\ y_{i,j} = r_i \sin \theta_j \\ \Delta r_i = |r_i - r_{i+1}| \simeq r_i |\theta_j - \theta_{j+1}| \end{cases} \quad (3)$$

この方法により展開したパノラマ画像は、物体の見え方の縦横比が場所によらず保存されており、見た目にも自然な画像であり、円周方向の解像度（リサンプリングの間隔）を変化させても縦横比は変化しない。その画像例を Fig.4 に示す。



(a) A small image with horizontal resolution of 360 pixels



(b) A large image with horizontal resolution of 720 pixels

Fig. 4 Calibration standard object

2.4 パノラマ展開法の比較

前節までの説明したパノラマ展開法を Fig.5 に簡単に図示して比較する。

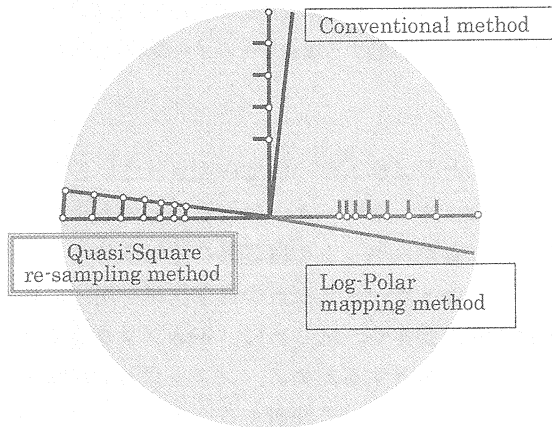


Fig. 5 Comparing Panorama-extension methods

3. パターン認識への応用

ここまで検討してきたパノラマ展開法が本当に認識などで有効であるかどうか検証するため、実際にパターン認識に適用し、性能比較する。

パターン認識の方法は、高次局所自己相関特徴と K-L 展開に基づく固有空間法とし、周囲環境の認識を行って、認識率によって性能を比較する。

3.1 K-L 展開

d 次元の特徴ベクトルを $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_d)'$ とすると共分散行列 Σ は \mathbf{x} の平均ベクトルを $\bar{\mathbf{x}} = \mathbf{E}_i[x_i]$ として、

$$\Sigma = \mathbf{E}_i[(x_i - \bar{x})(x_i - \bar{x})'] \quad (4)$$

と表される。

この共分散行列 Σ について固有値問題、

$$\Sigma \mathbf{A} = \mathbf{A} \Lambda \quad (5)$$

を解けば、最適な部分空間は、大きい方から $k (\leq d)$ 個の固有値に対応する固有ベクトル \mathbf{A} を用いた線形写像

$$\mathbf{y} = \mathbf{A}'\mathbf{x} \quad (6)$$

により得られる。

学習時、特徴ベクトルをパラメトリックに変動させれば、対応する固有空間上でパラメータを幾何学的に計算できる。これを固有空間法と呼ぶ。

3.2 周囲環境認識の実験

この固有空間法により周囲環境の認識を行った場合の、それぞれのパノラマ展開手法における認識率を Table 1 に示す。

Table 1 Recognition rate of each method

Panorama Extension Method	Recognition Rate (%)
Conventional method	46.2
Log-Polar mapping method	50.9
Quasi-Square re-sampling method	60.2

表より、[従来法] < [対数間隔パノラマ展開法] < [準正方形間隔パノラマ展開法] の順に認識率が改善されていることがわかる。

4. まとめ

全方位カメラを、車輪で床面を動き回れる移動ロボットに搭載し、周囲環境の認識や監視を行うための技術開発を行っているが、画像認識を行う場合には、円形的全方位画像では困難なため、パノラマビューの画像に変換して用いる。このとき通常行われている単純な変換を行うと距離に応じて物体やシーンの形状が変化してしまうため、その変形をなくすような、対数間隔サンプリング法、準正方形間隔サンプリング法などのパノラマ展開技術を開発した。

開発した手法を用い周囲環境の認識に適用して認識率を比較したところ、準正方形間隔サンプリング法が最適であった。

今後はこの技術を使って環境認識や監視などの技術開発を行い、実用化を図りたい。

参考文献

- 1) 佐藤ほか：Log-Polar 変換を用いた Panorama 展開と位置推定への応用”，第20回日本ロボット学会学術講演会予稿集，(2002.10).
- 2) 村瀬洋，シュリー ナイヤー：“2次元照合による3次元物体認識|パラメトリック固有空間法”，信学論(D-II)，Vol.J77-D-II，No. 11，pp.2179-2187 (1994-11).
- 3) 長谷川修，栗田多喜夫，坂上勝彦：“高次局所自己相関特徴とKL展開による3次元物体のビューベース画像認識”，電子情報通信学会総合大会講演予稿集，情報・システム2，D-12-110，1997，p.317 (1997).