

道しるべ：一度に前後左右が見えるカメラ — 全方位画像センサの紹介 —



山澤 一誠 yamazawa@is.aist-nara.ac.jp

奈良先端科学技術大学院大学
情報科学研究科

はじめに

人間は外部から取り入れる情報のうち8割以上を視覚に頼っているといわれる¹⁾。それほど視覚は重要な器官であり、この視覚と同様の機能を機械に持たせる方法として画像センサ(カメラ)がある。しかし、従来の画像センサにはレンズの画角が存在し、限られた領域しか見ることができなかつた。

皆さんは頭の後ろにも目があればいいなと思ったことはないだろうか？ たしかに、人間は視覚のみならず五感によって周囲の情報を取り入れることができ、必要ならば振り向くことにより周囲を見渡すことができる。しかし、もし頭の後ろにも目があれば常に前後に気を配ることができ、後方で何かが起こってもすぐ気が付き対処することができる。ゴルフ13も後ろに目があれば「私の後ろに立つな」とは言わないかもしれない。人間の頭の後ろに目をつけることは難しいかもしれないが、機械では可能である。本稿では周囲360度を見ることができ

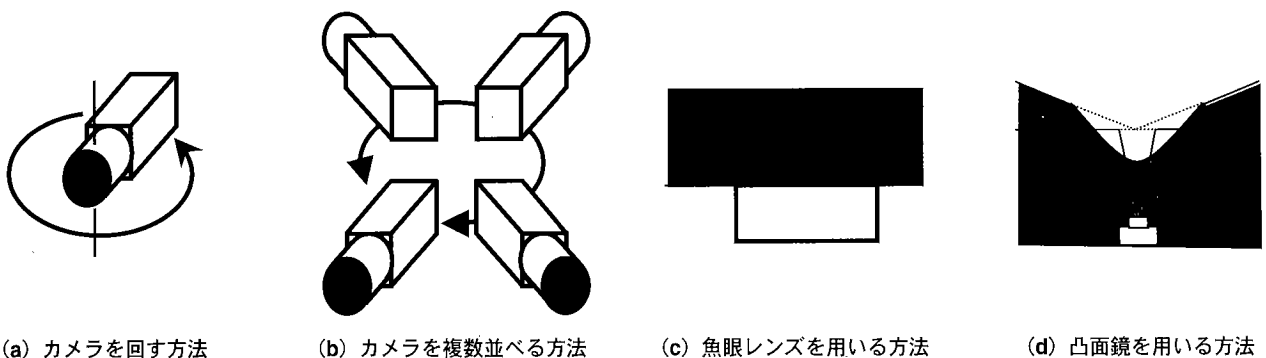
るカメラとして、近年研究が盛んになりつつある全方位画像センサとその応用について紹介する。

全方位画像センサ

さまざまな全方位画像センサの種類

■カメラを回す方法(図-1(a))^{2)~4)}

周囲360度を見る方法としてまず考えられるのは、カメラを回しながら周囲を撮影する方法である。この方法は解像度が高いパノラマ画像を得ることができる。また、カメラの視点を通る直線を軸としてカメラを回すことができれば透視投影の光学特性(後述)を持たせることができるため画像のつなぎ合わせがきれいに行える。しかし、そうでなければ画像のつなぎ合わせがうまくいかないことがある。また、カメラを回すため常に全方位を見ることはできず、動的シーンを撮影



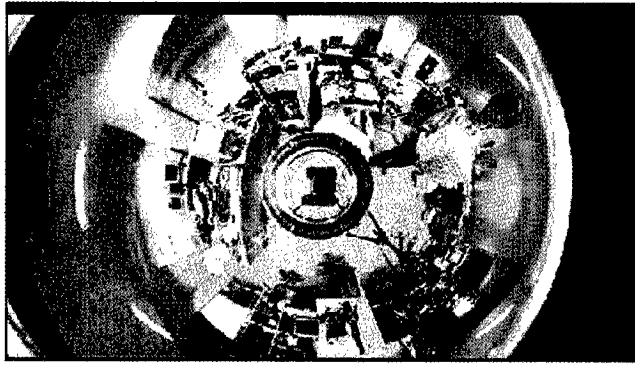
(a) カメラを回す方法

(b) カメラを複数並べる方法

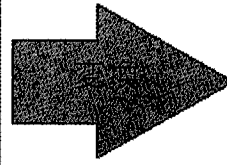
(c) 魚眼レンズを用いる方法

(d) 凸面鏡を用いる方法

図-1 全方位画像センサ



(a) 全方位画像 (透視投影)



(b) 平面透視投影画像

図-2 透視投影画像の変換

することができない。

2 カメラを複数並べる方法 (図-1 (b))⁵⁾

次に考えられる方法は複数のカメラを円周上に外側を向けて並べる方法である。この方法ならば解像度が高く、常に周囲360度を見ることができる。しかし、各カメラの視点(レンズ中心)位置が異なるため、近景のシーンを撮影する場合には画像のつなぎ合わせがうまくいかない。また、リアルタイムにパノラマ画像を生成するには複数画像を同時に入力し画像をつなぎ合わせる必要がある。

3 魚眼レンズを用いる方法 (図-1 (c))^{6), 7)}

画角が180度を超える魚眼レンズを取り付けたカメラを上向きに置けば周囲360度を見ることができる。しかしこの方法では、たいていの場合は必要とされない天井の画像が撮影画像のほとんどを占める。また、1つのカメラで周囲を一度に撮影するためカメラを回す方法などに比べて解像度が落ちる。さらに、画角が180度を超えるレンズは透視投影ではないという問題がある。

4 凸面鏡を用いる方法 (図-1 (d))^{8) ~ 13)}

凸面鏡に周囲360度を映しこみ、その鏡に映っている像を通常のカメラで撮影しようとする方法である。1つのカメラで周囲を一度に撮影するためカメラを回す方法などに比べて解像度が落ちるが、ミラーの形状を工夫することにより必要な方向の解像度を調整することができる。また、双曲面など特殊な形状の凸面鏡を用いることにより透視投影の光学特性を持たせることができる^{11) ~ 13)}。

全方位画像センサの透視投影特性について

全方位画像センサの特性として透視投影の光学特性を持つか否かが重要である。この節では全方位画像センサの透視投影の光学特性について述べたい。透視投影とはある1点に向かってくる光を捉えているということであり、その1点を一般のカメラでは視点(レンズ中心)や第1主点と呼んでいる。その1点に向かってくる光を平面で捉えた画像が平面透視投影画像であり、一般のカメラで撮影できる画像である。この画像上では環境中の直線が直線として写る。しかし、全方位画像センサは周囲360度の画像を撮影するので、それらすべての方向を1枚の平面透視投影画像で得ることは幾何学的に不可能である。ところが、従来の画像処理・認識技術は一般のカメラで撮影した平面透視投影画像に対して行うものが非常に多い。特に、3次元復元など画像の幾何学的特徴を利用する技術のほとんどは平面透視投影画像に対して行うことが前提になっている。

一方、全方位画像センサでもそれらの画像処理・認識技術を利用したいという要求は大きい。そこで、全方位画像センサでは平面透視投影ではないが透視投影の光学特性を持たせることにより従来の多くの手法を利用することができる。全方位画像センサで得られた画像の多くは図-2 (a) のように環境中の直線が直線として写らず歪んでいるが、透視投影の光学特性を持つ全方位画像センサで得られた画像は一部を図-2 (b) のように平面透視投影画像に変換することが可能である。図-2 (b) から環境中の直線が変換画像上で直線として写っていることが分かる。平面透視投影画像に変換できれば従来の画像処理・認識技術を適用することは可能であるし、逆に画像処理・認識技術の方を透視投影の光学特性を持つ全方位画像センサ用に改良することも可能である。たとえば、画像の幾何学的特徴を使うハフ

変換を全方位画像センサ用に改良できる^{14), 15)}。透視投影の光学特性を持たない全方位画像センサの場合は視点が1点に定まらず、モノの見え隠れの関係などが変化してしまうため、1点から見た平面透視投影画像に変換できない。

透視投影の光学特性を持つ全方位画像センサとして、レンズ中心を軸としてカメラを回転させる方法、双曲面の凸面鏡と一般のカメラを組み合わせる方法¹¹⁾、放物面の凸面鏡と平行投影カメラを組み合わせる方法^{12), 13)}、角錐ミラーと複数のカメラを組み合わせる方法^{16), 17)}などを用いることができる。

全方位画像センサの応用

移動ロボットへの応用 (図-3)¹⁸⁾

ロボットが移動する場合、ロボットの前方だけでなく側方や後方なども見たいという要求がある。人間が車を運転する場合、バックミラーなどがないと不便であることからもお分かりになるだろう。ロボットにサッカーを行わせるロボカップでは、全方位画像センサを搭載しているロボットが増えてきている。全方位画像センサならばカメラやロボットの方向を変えることなくボールを捜すことができるため通常のカメラを搭載したロボットに比べて有利になる。移動ロボットに全方位画像センサを搭載する場合、処理によっては光学特性が透視投影である必要はない。

遠隔臨場感 (テレプレゼンス) への応用 (図-4)¹⁹⁾

ロボットの遠隔操作や遠隔通信会議などで、遠隔地の情景をユーザに提示し、まるでその場にいるような感覚を与える技術を遠隔臨場感 (テレプレゼンス) という。ユーザにあたかも遠隔地にいるかのような感覚を与えるためには、ユーザが見回したときにその方向の映像を提示する必要がある。これを向きを変えられる一般のカメラで実現しようとする、たとえばユーザが右を向いてから遠隔地のカメラを右に動かして右の映像を提示する方法を用いることになる。この方法では必要な映像が提示されるまでの間に、遠隔地までの往復の通信時間による遅延と、カメラの向きを変える機械的動作の遅延が生じる。一方、これを全方位画像センサで実現した場合、ユーザが右を向いてから右の映像が提示されるまでの時間は計算機による画像変換にかかる時間となる。つまり、常に360度の映像があるためユーザが右を向いてから右の映像が提示されるまでの時間は通信時間や機械的動作遅延に依存しないことになる。この方法ならば

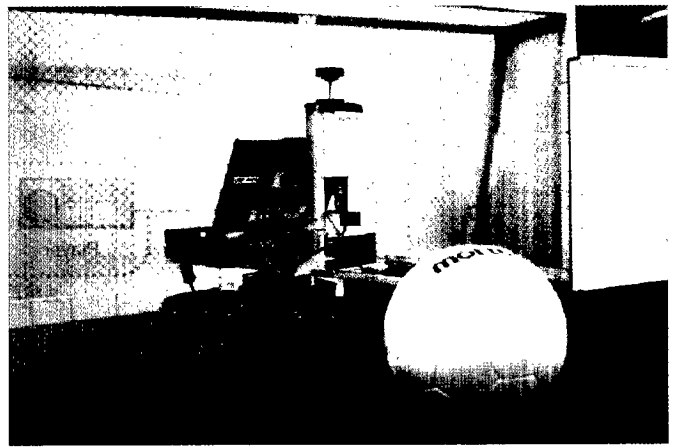


図-3 サッカーロボット

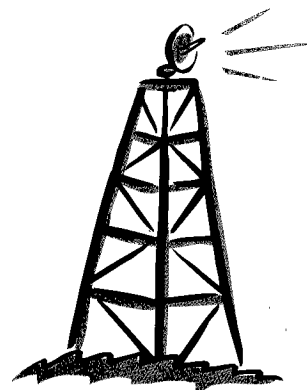
計算機による画像変換をリアルタイムで行う技術もあるためユーザにとってほとんど違和感なく周囲を見渡すことができる。この応用では最終的に人間に提示する画像を生成する必要があるため全方位画像センサは透視投影の光学特性を持つ必要がある。

その他の応用

全方位画像センサを利用した応用として、

- (1) 入力画像を計算機により処理し人間に画像を提示することを目的としないもの
- (2) 全方位画像センサから得られる画像をそのまま人間に提示する方法
- (3) 全方位画像センサから得られる画像を変換して人間に提示する方法

の3つに分けられる。(1)は上に挙げたような移動ロボットへの応用のほかに環境中の3次元計測、移動物体検出などが挙げられる。(2)は配管内検査や内視鏡などが挙げられる。(3)は上に挙げたテレプレゼンスのほかに



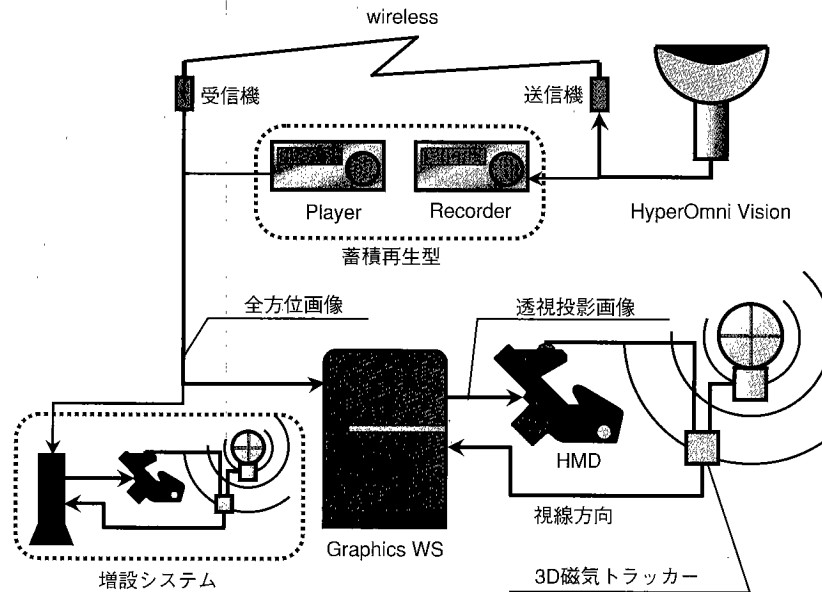


図-4 テレプレゼンスシステムの構成

監視システム，仮想現実感への応用などが挙げられる。また，これらの応用を組み合わせたり，一般のカメラと組み合わせた技術もある。これらのうち画像を変換して人間に提示する応用には透視投影の光学特性を持つ全方位画像センサが必要となる。

おわりに

全方位画像センサはここ数年で注目されるようになり応用範囲が広がってきた。その理由としてはやはり計算機的能力向上によるものが大きいと考える。全方位画像センサを扱ううえで重要となる計算機的能力としてはたとえば画像の入力，画像処理・変換，テクスチャマッピングなどによる画像を使ったCG生成などがある。全方位画像センサを利用するには従来，高価な計算機を必要としたが今日では安価なPCによって扱うことも可能となってきた。一方，高価な計算機ではさらに高度な処理によりさまざまなことが可能となってきた。可能になった高度な処理としてたとえば全方位動画から実時間で任意方向の両眼ステレオ画像を生成する手法²⁰⁾がある。今後，さらなる計算機能力の向上，カメラの高解像度化，そして本稿を読んでいた皆さんの新しいアイデアにより，いったいどのような応用ができるようになるのか非常に楽しみである。

参考文献

- 1) 日本財団事業成果ライブラリー/交通アメニティ推進機構:
<URL:http://lib1.nippon-foundation.or.jp/1996/1237/contents/065.htm>
- 2) Sarachik, K.B.: Characterizing an Indoor Environment with a Mobile Robot and Uncalibrated Stereo, Proc. Int. Conf. Robotics and Automation IEEE, pp.984-989 (1989).
- 3) Zheng, J.Y. and Tsuji, S.: Panoramic Representation of Scenes for Route Understanding, Proc. the 10th Int. Conf. on Pattern Recognition, pp.161-167 (1990).
- 4) Ishiguro, H., Yamamoto, M. and Tsuji, S.: Omni-directional Stereo for Making Global Map, Proc. 3rd Int. Conf. Computer Vision IEEE, pp.540-547 (1990).
- 5) ISIT HOME PAGE 2.0: <URL:http://www.k-isit.or.jp/~kimuro/>
- 6) Cao, Z.L., Oh, S.J. and Hall, E.L.: Dynamic Omnidirectional Vision for Mobile Robots, J. Robotic Systems, Vol.3, No.1, pp.5-17 (1986).
- 7) Oh, S.J. and Hall, E.L.: Guidance of a Mobile Robot Using an Omnidirectional Vision Navigation System, Proc. Mobile Robots II SPIE852, pp.288-300 (1987).
- 8) Hong, J., Tan, X., Pinette, B., Weiss, R. and Riseman, E.M.: Image-based Homing, Proc. Int. Conf. Robotics and Automation IEEE, pp.620-625 (1991).
- 9) 八木, 川戸: 円錐ミラーを用いた全方位視覚センサによる位置情報の獲得, 信学論 (D-II), Vol.J74-D-II, No.1, pp.19-26 (1991).
- 10) Yagi, Y., Nishizawa, Y. and Yachida, M.: Map-based Navigation for a Mobile Robot with Omnidirectional Image Sensor COPIS, Trans. On Robotics and Automation, Vol.11, No.5, pp.638-648 (1995).
- 11) 山澤, 八木, 谷内田: 移動ロボットのナビゲーションのための全方位視覚系 HyperOmni Vision の提案, 信学論 (D-II), Vol.J79-D-II, No.5, pp.698-707 (1996).
- 12) Peri, V.N. and Nayar, S.K.: Generation of Perspective and Panoramic Video from Omnidirectional Video, Proc. Image Understanding Workshop, pp.243-245 (1997).
- 13) Nayar, S.K.: Catadioptric Omnidirectional Camera, Proc. Computer Vision and Pattern Recognition, pp.482-488 (1997).
- 14) 木室, 長田: 球面六角形画像ピラミッドを用いた球面投影による全方位画像処理, 日本ロボット学会誌, Vol.14, No.6, pp.809-819 (1996).
- 15) 山澤, 八木, 谷内田: HyperOmni Vision と全方位 Hough 変換を用いた線分の三次元再構築, 日本ロボット学会誌, Vol.16, No.5, pp.76-85 (1998).
- 16) 吉澤: 全方位撮影装置および全方位画像合成装置, 公開特許広報 特開平8-125835, 日本国特許庁 (1996).
- 17) 山澤, 岩佐, 竹村, 横矢: ピラミッド型ミラーを用いた高分解能全方位ステレオ画像センサ, 信学会総合大会, D-12-146, p.353 (1997).
- 18) Robotic Foot Ball Team OMNI: <URL:http://robotics.me.es.osaka-u.ac.jp/MiyazakiLab/Research/soccer/top-jpn.html>
- 19) 山澤, 尾上, 横矢, 竹村: 全方位画像からの視線追従型実時間画像生成によるテレプレゼンス, 信学論 (D-II), Vol.J81-D-II, No.5, pp.880-887 (1998).
- 20) 山口, 山澤, 竹村, 横矢: 全方位動画をを用いた両眼ステレオ画像の実時間生成システム, 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2000), Vol.1, pp.1-45-1-50 (2000).

(平成12年7月26日受付)