

投影中心移動を用いた画像合成に基づく2軸回転鏡型広視野カメラ

中尾 敏 康[†] 柏 谷 篤[†]

本論文では、インターネット放送サービスやTV会議への適用を想定した広視野カメラを提案する。本カメラは、反射鏡をカメラの前面で回転させる機構と、反射鏡を回転させながら取得した複数の部分画像を合成する合成手法を組み合わせたことを特徴とする。2軸回転鏡機構は、独立に回転する水平回転台とカムの組合せで水平/垂直の2方向への反射鏡の回転を実現する。画像合成手法は、投影中心を反射鏡の回転中心に移動することで視差の影響を低減する。高解像度かつ高精細な水平360度の視野を持つ広視野画像を短時間で取得可能なだけでなく、機構全体の小型化も可能となっている。従来の広視野画像取得手法の、画像取得に時間を要する、広視野画像の解像度が低いという課題を解決するものである。本論文では、構造を詳細に説明するとともに、合成手法とその有効性をシミュレーション結果を通じて説明する。また、試作機を実際のインターネット放送に適用した事例を通じて、提案の有効性を示す。

A 360-degree Panoramic Camera Using 2-axis Mirror Rotation Mechanism and a Image Mosaicing Method with Projection Center Shift

TOSHIYASU NAKAO[†] and ATSUSHI KASHITANI[†]

In this paper, we describe a new panoramic camera that incorporates a 2-axes mirror rotation mechanism and image mosaicing software to get high-resolution panoramic images in a short time. The mirror is located in front of the camera via the mirror rotation mechanism to move the camera's view. Partial images taken with the mirror rotation are merged into a high-resolution panoramic image by mosaicing software. The 2-axes mirror rotation mechanism consists of a mirror pedestal and a cam. The image mosaicing software projects each partial image onto a projection surface around the rotation center of the mirror. In that process, the projection center is shifted from the original principal point of the lens or the viewpoint to the mirror rotation center, and the projection positions for each pixel of partial images are calculated by using the limiting point. With these features, our panoramic camera has four advantages: 1) accurate, continuous, high-resolution, large and endless (360 degrees wide) panoramic images; 2) short panoramic image acquisition time with fast mirror rotation; 3) small body size; and 4) endless (360 degrees wide) fast mirror rotation. We also describe its prototype and its application to the Internet broadcasting of a tennis game.

1. はじめに

ハードウェアおよびソフトウェアの劇的な進歩にともない、計算機における画像利用環境も大きな進歩をとげている。一部の専門家だけではなく、一般オフィスや家庭においてもスキャナやデジタルスチルカメラが利用され、インターネット等のネットワークを経由して画像を閲覧/転送することも日常的に行われている。これら利用者/サービスの拡大は同時に、より高い機能を持つ画像入力機器への需要をも高めており、様々な研究が進められている¹⁾。

このような高性能画像入力機器の1つとして広視野

カメラがある。広視野カメラを用いると、たとえば、屋内や屋外の監視においては、従来は監視者が注視する近辺の映像しか得られなかったのに対し、周囲の状況も含めて一目で確認できるため視認性が著しく向上し、カメラ機器設置台数も削減可能なことから全体のコストダウンにもつながると考えられる。

一方、インターネットとカメラを組み合わせ、観光地等に設置された雲台付きカメラを、ユーザがインターネット経由で制御することで見たい場所の最新の映像を自由に入手できるインターネット放送サービスが実用化されている²⁾。しかしながら、他者がカメラを操作している間には他のユーザはカメラを操作できない等、現状では各ユーザがいつでも、かつ、好きな場所を観察可能なサービスには至っていない。また、TV会議等においても同様に、他者が決定した映像を

[†] NEC インターネットシステム研究所
Internet Systems Research Laboratories, NEC Corp.

受信する場合がほとんどであり、ユーザが興味のある点を自由に観察することは困難である。これらの問題点は、広視野カメラを用いて取得した広視野画像から各ユーザが必要とする部分を切り出して送付することで容易に解決できる。このような、広視野画像から注視点を切り出して提示する動作は、カメラ自身を回転させるよりも高速に実行可能なため、瞬間的な視点移動等の非常に高速なパン・チルト動作を必要とするサービスをも提供可能となる。この場合、元となる広視野画像そのものを用いて不審物や状況変化の感知も同時に行うことができる。

今回、上記のサービスを実現する広視野カメラを、鏡をカメラの前面で水平/垂直の2方向に回転させる機構と、高精細な広視野画像を生成する画像合成手法とを組み合わせることで実現したので報告する。

2. 従来の広視野画像入力装置

計算機において利用される広視野画像取得手法は、通常のカメラで撮った部分画像を合成して広視野画像を生成する画像合成型と、広角レンズまたは反射鏡を用いて直接広視野画像を取得する光学型に、大きく分類できる。

画像合成型は、さらに、

(a) カメラ回転型 (図 1(a)^{3),4)}

(b) 複数カメラ型 (図 1(b)^{5)~7)}

に分類できる。前者はレンズの主点を中心にカメラが回転するように調整された三脚を用いて得た部分画像を合成する形態、後者は複数のカメラを用いて得た部分画像を合成する形態であり、いずれも通常のカメラで取得した複数の画像を合成するため得られた広視野画像は高い解像度を持つ。しかしながら、前者は、部分画像取得作業が煩雑であり、たとえ自動化したとしてもカメラの重量・サイズが大きく、また、信号・電源ケーブルの特性上カメラを継続的かつ高速に回転させられないため広視野画像を連続して取得するのが困難であるという問題がある。後者は、カメラを固定的に配置するため一度正しい設定が得られれば画像取得そのものには時間を必要とせずリアルタイム性が高い反面、多数のカメラを配置するため装置サイズが大きくなり、また、カメラが固定されているため解像度や撮像範囲を変更するのが困難であるという問題がある。さらには、用いるカメラの数が増加した場合には各カメラの映像を計算機に入力する機構も大がかりなものとなる。

光学型は広角レンズ/反射鏡を用いて広視野画像を直接取得し、幾何変換により画像を再構成するもので

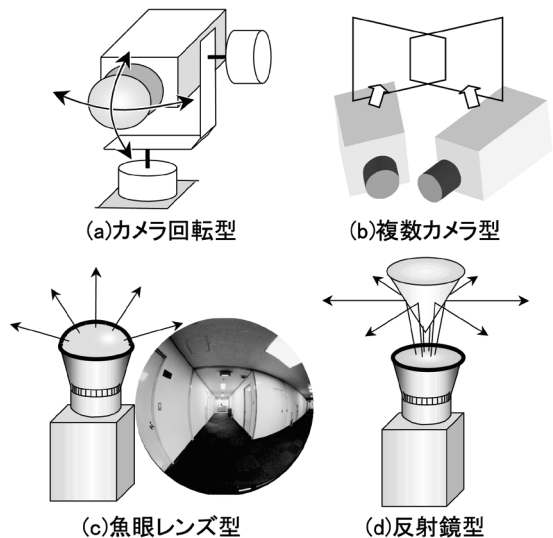


図 1 従来の広視野カメラ

Fig. 1 Conventional panoramic camera: Conventional panoramic camera is roughly categorized into (a) camera rotation type, (b) multi camera type, (c) fish-eye lens type, and (d) hyperbolic mirror type.

あり、

(c) 魚眼レンズ型 (図 1(c)⁸⁾)

(d) 反射鏡型 (図 1(d)^{9),10)}

が開発されている。これらの手法は、一度の撮像で広視野画像を取得できるためレンズ/反射鏡は固定であり、かつ、リアルタイム性が高いが、得られた広視野画像の解像度が低いという問題がある。特に魚眼レンズを用いる手法では画像端部の歪みが大きく、幾何変換を適用しても非常に粗い画像しか得られない。

各手法の特徴を表 1 にまとめる。

3. 回転鏡機構を用いた広視野画像入力装置

1章で述べた監視システムや複数ユーザ間のカメラ共有サービスでは、広視野カメラに、

- 高い解像度
- 広視野画像の高速取得

という特性が求められる。監視システムでは装置サイズが小さいことも重要な要素である。我々は、これらの特性をもたらす手法として、カメラ前面で反射鏡を回転させる機器構成と画像合成を組み合わせた広視野カメラを提案する (図 2)。画像と実際の上下左右の対応が変化することや幾何的な歪みを除けば、反射鏡をカメラの光軸周りに回転させることはカメラのパン操作に、また、反射鏡をカメラ光軸に垂直な軸周りに回転させることはカメラのチルト操作に相当するため (図 3)、カメラ回転型の広視野カメラの一種と考えら

表 1 従来の広視野画像入力機器の特徴

Table 1 Features of the conventional panoramic cameras.

	特徴
(a) カメラ回転型	広視野画像の解像度が高い。 部分画像取得が煩雑、装置サイズが大きい、信号・電源線があり継続的/高速に回転できない。
(b) 複数カメラ型	広視野画像の解像度が高い、リアルタイム性が高い。 装置サイズが大きい、カメラ数増加にともない機構が複雑化、コストが高い。
(c) 魚眼レンズ型	撮像容易、リアルタイム性が高い。 広視野画像の解像度が低い、端部の歪みが大きい。
(d) 反射鏡型	撮像容易、リアルタイム性が高い。 広視野画像の解像度が低い。

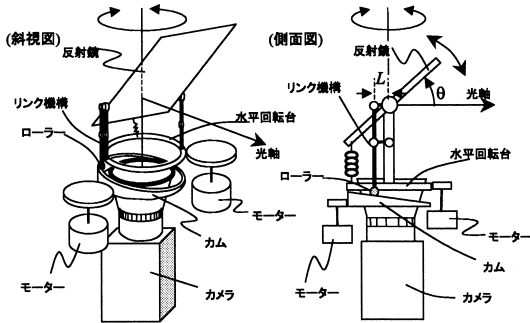


図 2 広視野カメラの構造

Fig. 2 Architecture of the proposed panoramic camera: The mirror is positioned in front of the camera via a 2-axis mirror rotation mechanism to move the camera's view.

れるが、

- (1) 高解像度の部分画像を合成するため広視野画像の解像度が高い、
- (2) 軽量/小型の反射鏡を回転するためカメラを回転する機構よりも小型化/高速化が可能、
- (3) 回転部は電気接続を持たない鏡のみであり、継続的に広視野画像を取得可能、

という特徴を持つことから、継続的に高解像度の広視野画像が必要な用途に適していると考えられる。

同様の機構を対象とした研究として、水上らはカメラ前面に水平回転する鏡を設置し、得られた部分画像から画像の回転/反転処理と平行移動を仮定したパターンマッチングを用いて広視野画像を生成する装置を試作しているが⁽¹¹⁾、反射鏡の回転中心と光学系の投影中心が異なることにより発生する視差の影響を考慮していなかった。一方、網島らは、この運動視差を画像中の物体の位置を得る手がかりとして、同じく水平回転する鏡を前面に設置したカメラを用いて距離計測を行うシステムを提案しているが⁽¹²⁾、視差を考慮した広視野画像生成方法については言及していない。

これらの研究を含む従来の広視野カメラと比較して、本提案による広視野カメラは、

- (1) 電気接続を持たないという特徴を保ったまま鏡

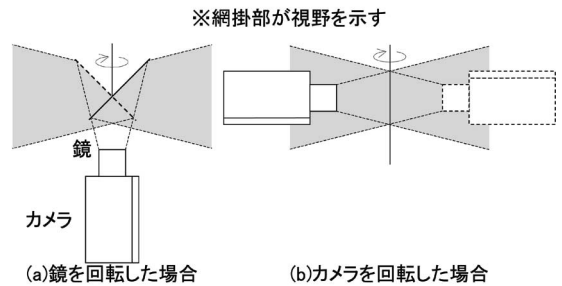


図 3 ミラー回転の意味

Fig. 3 Meanings of the mirror rotation in front of the camera: To rotate the mirror in front of the camera is equivalent to rotating the camera around the mirror's rotation center away from a viewpoint or a principal point of the lens.

- を水平/垂直に自由に回転可能な 2 軸回転機構、
 - (2) 各部分画像中に含まれる運動視差を投影中心の移動により低減して高精細な広視野画像を合成する画像合成手法、
- を用いることを特徴とする。

4. 2 軸回転鏡機構

我々が開発した広視野カメラにおける 2 軸回転鏡機構は、水平回転台とカム、カムの高さを反射鏡の垂直角度に変換するリンク機構から構成されている (図 2)。水平回転台とカムは回転軸を共有しており、両者はモータにより独立して回転可能である。反射鏡はリンク機構を介して水平回転台に固定されているため、水平回転台の角度がそのまま反射鏡の水平角度になる。カムは中心角に比例して高さが変化するように設計されており、水平回転台とカムの相対角度が変化するとリンク機構を介して反射鏡の垂直角度が変化する (図 4)。この回転機構は、反射鏡の水平角度および垂直角度を水平回転台とカムの水平回転角度のみから決定できるため、平行に設置された 2 台のモータを用いて制御可能である。従来のように垂直回転用のモータを回転台上に乗せる必要がなく、回転部への電気接

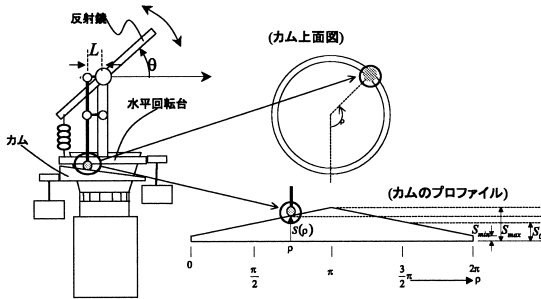


図4 カムのプロフィールとミラー垂直角度

Fig. 4 Cam's profile and mirror vertical angle: The mirror pedestal mounts a link mechanism to translate the cam's height into the mirror's vertical angle, the vertical mirror angle is decided from the relative angle of the mirror pedestal and the cam.

続が必要となる。回転部はカメラと比較して小型かつ軽量であることから、容易に連続した反射鏡の回転を実現可能である。

カムの最低高を S_{min} , 最大高を S_{max} , 基準高を S_0 , カムの中心角を ρ とすると, ρ に対するカム高 $S(\rho)$ は,

$$S(\rho) = \begin{cases} \frac{\rho}{\pi}(S_{max} - S_{min}) + S_{min} & (0 \leq \rho \leq \pi) \\ -\frac{\rho}{\pi}(S_{max} - S_{min}) + 2S_{max} - S_{min} & (\pi < \rho < 2\pi) \end{cases} \quad (1)$$

と書ける。このとき、リンク長を L , 接点のカム高が S_0 のときの反射鏡垂直角度を θ_0 とすると、反射鏡の垂直角度 θ は、

$$\theta = -\sin^{-1} \left(\frac{S(\rho) - S_0}{L} \right) + \theta_0 \quad (2)$$

となり、水平回転台とカムの相対角度 ρ を求めることで反射鏡の垂直角度 θ を求めることができる。式 (1) , (2) を逆に解けば、反射鏡の垂直角度 θ からカムの中心角 ρ , すなわち、水平回転台とカムの相対角度が求められ、反射鏡の水平角度を参照することでカムの回転角度を定めることができる。

本機構においてカムと水平回転台を同じ速度で回転させた場合は、相対角度 ρ が変化せず、反射鏡は垂直角度を一定に保ったまま水平に回転する。水平回転台を停止させた状態でカムのみを回転させた場合は、垂直角度のみが変化する。また、カムを停止させた状態で水平回転台のみを回転した場合は、水平角度と垂直角度が同時に変化し、反射鏡は波打つように回転する。このように2軸回転鏡機構は単に電気接続を不要とするだけでなく、反射鏡の様々な動きをモータの

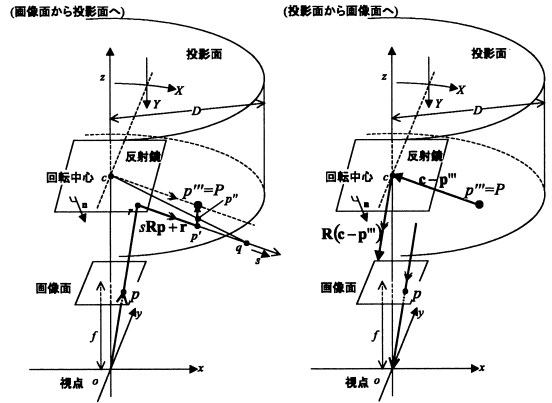


図5 投影モデル

Fig. 5 Projection model: A projection model based on a pinhole camera model for our panoramic camera.

回転速度を制御するだけで簡単に実現できる。

5. 投影中心移動を用いた画像合成手法

5.1 投影モデル

次に、反射鏡を回転させながらカメラにより取得された部分画像を3次元空間上に設定された投影面上に投影することで1枚の広視野画像を合成する画像合成処理について説明する。以下では、各3次元空間上の列ベクトルを太字で表現する。また、画像面上の点 p の位置ベクトルを示す列ベクトルを \mathbf{p} と記述する。太い大文字は行列を示すものとする。また、添字はベクトルまたは行列の成分であることを示すものとする。たとえば、ベクトル \mathbf{n} の x 成分を n_x , または単に n_x と表記する。

図2で示した構造に対し図5左側の投影モデルを考える。カメラの光学系はピンホールモデルにより表現されるものとし、視点 o を原点に、視点 o を通り光軸と平行に3次元空間の z 軸を設定する。焦点距離 f の位置に画像面があると考え、画像の x 軸, y 軸と同じ向きに3次元空間の x 軸, y 軸を設定する。3次元空間は右手系である。反射鏡に対応する平面は回転中心 c を中心に回転し、その単位法線ベクトルを \mathbf{n} とする。ここでは z 軸を中心軸とする半径 D の円筒状の投影面に各部分画像を投影するものとして説明するが、円筒面に限らず球面等を利用することも可能である。この投影面上の円周に沿って X 軸を、投影モデルにおける $-z$ 軸方向に Y 軸をそれぞれ設定した座標系に変換することで投影面を平面に展開したものが広視野画像となる。

このモデルにおいてカメラが撮影する画像は、3次元空間上の点 q が反射鏡上の点 r において反射し視

点 o に至る途中で画像面上の点 p に投影されたものと考えられる。また逆に、画像面上の点 p に投影されている点は、視点 o と点 p を通り反射鏡上の点 r において反射した直線（以下、反射直線と呼ぶ）上に存在すると考えられる。

反射鏡上の点を l とすると、反射鏡は回転中心 c と単位法線ベクトル n を用いて、

$$n \cdot (l - c) = 0 \quad (3)$$

と記述でき、反射鏡上にある反射点 r は、

$$n \cdot (r - c) = 0 \quad (4)$$

を満たす。視点 o から画像面上の点 p を通る直線上に反射点 r が存在することから、反射点 r の位置ベクトルは、

$$r = \frac{n \cdot c}{n \cdot p} p \quad (5)$$

となる。視点 o から画像面上の点 p を通る直線の方向ベクトル p に対して反射鏡における反射を示す行列、

$$R = \begin{pmatrix} 1 - 2n_x^2 & -2n_x n_y & -2n_x n_z \\ -2n_y n_x & 1 - 2n_y^2 & -2n_y n_z \\ -2n_z n_x & -2n_z n_y & 1 - 2n_z^2 \end{pmatrix} \quad (6)$$

を適用した Rp は、反射点 r において反射した直線の方法ベクトルを表している。この方向ベクトルと媒介変数 s (ただし $s > 0$) を用いて、反射直線上の点 q は、

$$q = sRp + r = sRp + \frac{n \cdot c}{n \cdot p} p \quad (7)$$

と書ける。この直線と投影面との交点 p' を考えると、 p' を定める s は点 q の x 成分と y 成分から、

$$(sRp + r)_x^2 + (sRp + r)_y^2 = D^2 \quad (8)$$

を s について解くことで求められる。

5.2 視差の影響

この式 (8) より求めた s により定まる投影点 p' は、視点 o を投影中心として点 p を円筒面上に直接投影したものである。本装置における反射鏡の回転は、3章において述べたように、画像と実際の上下左右の対応が変化することや幾何的な歪みを除けば、カメラを反射鏡に関して対称の位置にて反射鏡の回転軸周りに回転したのと同じ効果をもたらすため (図 3), 鏡の回転にともなう視点 o の移動により視差が発生する。すなわち、図 6 (a) のように、3次元空間上の点 (図 6 (a) の点 q) が反射鏡の位置 (= 角度) によって異なった投影面上の点 (図 6 (a) の点 p') に投影されるため、図 6 (b) の丸枠を付加した領域のように部分画像間の接合部に形状や位置の不連続が発生するのである。この鏡の回転にともなう視点移動によって生じる視差は、反射鏡の回転中心と投影の中心が一致していないこと

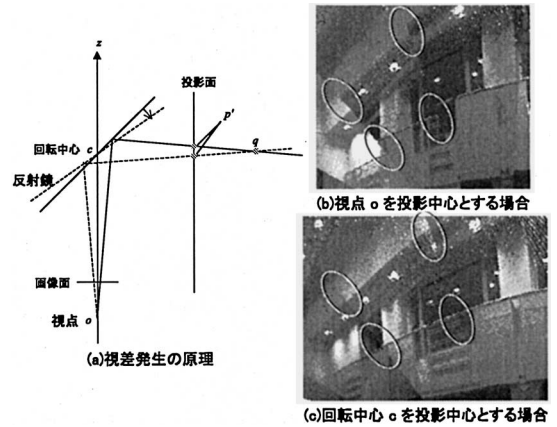


図 6 視差と合成手法による画質の変化

Fig. 6 Moving parallax and an image quality comparison between the image projection methods.

に起因するものである。

5.3 投影中心を回転中心に移動した画像合成

この視差の問題を解消するために、ここでは画像中の各点に対応する3次元空間上の点を、視点 o ではなく、回転中心 c を投影中心として投影面に投影することを考える。

反射直線上の媒介変数 s により定まる点 q の位置ベクトルは式 (7) のとおりである。このとき、回転中心 c から点 q に向かうベクトルは、

$$q - c = sRp + r - c = sRp + \frac{n \cdot c}{n \cdot p} p - c \quad (9)$$

であり、このベクトルを延長して得られる直線は媒介変数 t (ただし $t > 0$) を用いて、

$$t(q - c) + c = t \left(sRp + \frac{n \cdot c}{n \cdot p} p - c \right) + c \quad (10)$$

と書ける。このとき、式 (8) と同様に円筒面との交点として媒介変数 t を定めると、式 (10) は、

$$\frac{-\alpha + \gamma}{\beta} \times \left(sRp + \frac{n \cdot c}{n \cdot p} p - c \right) + c \quad (11)$$

ただし、

$$d_x = \left(sRp + \frac{n \cdot c}{n \cdot p} p - c \right)_x$$

$$d_y = \left(sRp + \frac{n \cdot c}{n \cdot p} p - c \right)_y$$

$$\alpha = (c_x d_x + c_y d_y)$$

$$\beta = (d_x^2 + d_y^2)$$

$$\gamma = \sqrt{\alpha^2 - \beta(c_x^2 + c_y^2 - D^2)}$$

と書ける。この式は点 q を定める媒介変数 s を含むため、回転中心 c を投影の中心としても、点 q の反射点からの距離に応じて円筒面上点 p'' の位置が変化

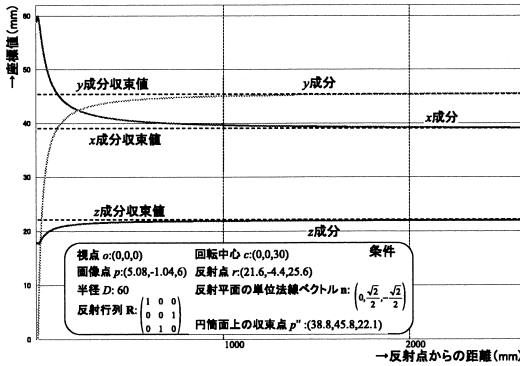


図 7 投影点座標収束の例

Fig. 7 Convergence example of the components of the projected point.

することを示している。しかしながら、空間上の点 q が遠方、すなわち、式 (11) における媒介変数 s の値が大きくなっていく場合を考えると、

$$\frac{d_x}{s} = \left(\mathbf{R}\mathbf{p} + \frac{1}{s} \frac{\mathbf{n} \cdot \mathbf{c}}{\mathbf{n} \cdot \mathbf{p}} \mathbf{p} - \frac{1}{s} \mathbf{c} \right)_x \xrightarrow{s \rightarrow \infty} (\mathbf{R}\mathbf{p})_x, \tag{12}$$

$$\frac{d_y}{s} = \left(\mathbf{R}\mathbf{p} + \frac{1}{s} \frac{\mathbf{n} \cdot \mathbf{c}}{\mathbf{n} \cdot \mathbf{p}} \mathbf{p} - \frac{1}{s} \mathbf{c} \right)_y \xrightarrow{s \rightarrow \infty} (\mathbf{R}\mathbf{p})_y$$

となり、

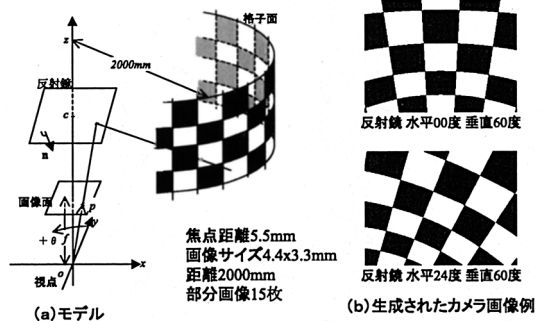
$$\begin{aligned} \delta &= \{c_x(\mathbf{R}\mathbf{p})_x + c_y(\mathbf{R}\mathbf{p})_y\} \\ \epsilon &= ((\mathbf{R}\mathbf{p})_x^2 + (\mathbf{R}\mathbf{p})_y^2) \\ \zeta &= \sqrt{\delta^2 - \epsilon(c_x^2 + c_y^2 - D^2)} \end{aligned}$$

を用いて、

$$\begin{aligned} &\frac{-\alpha + \gamma}{\beta} \times \left(s\mathbf{R}\mathbf{p} + \frac{\mathbf{n} \cdot \mathbf{c}}{\mathbf{n} \cdot \mathbf{p}} \mathbf{p} - \mathbf{c} \right) + \mathbf{c} \\ &\xrightarrow{s \rightarrow \infty} \frac{-\delta + \zeta}{\epsilon} \times (\mathbf{R}\mathbf{p}) + \mathbf{c} \end{aligned} \tag{13}$$

となることから、点 q が遠方になるに従って回転中心 c と点 q を結ぶ直線と反射直線が平行に近づき、円筒面上の点 p'' は最終的に回転中心 c を通り反射直線と平行な直線と投影面との交点に収束する。図 7 は、ある画像上の点に対応する投影面上の点 p'' の x, y, z 各成分と媒介変数 s により定まる点 q の反射点からの距離との関係を示したものであり、反射点 r からある距離 (図 7 ではおよそ 2,000 mm) 以上離れている反射直線上の点は、投影面上の収束点に投影されると考えられる。

この性質を利用し、本画像合成手法では、画像面上の点 p を、式 (8) から求められる反射直線と投影面の交点 p' ではなく、回転中心 c を投影中心として、反射直線と平行でかつ回転中心 c を通る直線と円筒面と



(a) モデル

(b) 生成されたカメラ画像例



(c) 結果



単純合成

図 8 シミュレーション

Fig. 8 Simulation of a projection method.

の交点 p''' に投影することで視差を低減する。

この投影手法では、回転中心近傍にある物体、さらには視点 o の回転により生じる面の消失や発生には対処できないが、屋外やある程度の広がりのある屋内であれば、形状の歪みを解消し部分画像間の連続性を保つことは可能と考えられる。

本合成手法の有効性を確認するためのシミュレーションについて説明する。これは、投影モデルにおける z 軸を中心として、一辺が 200 mm の市松模様が描かれた半径 2,000 mm の円筒面を想定して (図 8 (a)), 反射鏡の角度を変えたときに得られるカメラ画像を人工的に作成し (図 8 (b)), 得られた画像群を、視点を投影中心とする単純な合成手法と、投影中心を回転中心 c に移動して合成する我々が開発した合成手法の 2 種により合成し、結果を比較したものである。シミュレーションでは各カメラ画像に擬似的に異なる色をつけ、順番に広視野画像に上書きして投影することでカメラ画像間の境界が明確に判別できるようにした。その結果、図 8 (c) に示すように、単純な合成手法では視差の影響により市松模様が再現できないのに対し、我々が開発した合成手法による合成画像は正しく市松模様を再現できることが確認できた。実際の画像においても、図 6 (b) と (c) において丸枠を付加した領域のように、投影中心を移動することで、画像間で形状や位置の連続性が保たれることが確認できた。

なお、上記のように、画像面から投影面へ方向へ

各画素を投影して画像を作成した場合は、座標値の整数化過程で生じる誤差により、広視野画像上に画素値が決定されずに空白のままになってしまう画素が生じる場合がある。これらは、図 6 (b) および (c) の上辺部、図 8 (c) の全体に見られるようなモアレ状の模様となり、広視野画像の画質を低下させる。これを回避するためには、広視野画像上の画素値を、広視野画像上の画素 P に対応する画像面上の位置 p を逆変換により定め、 p の周囲の部分画像画素値から内挿により求める処理が必要となる。投影面上の点 p''' に対応する画像面上の点 p は、点 p''' から回転中心 c へのベクトル $c - p'''$ を反射行列 R により反射したベクトル $R(c - p''')$ と平行で、かつ、視点 o を通る直線が画像面 $z = f$ と交わる点として求められる (図 5 右側参照)。これは、

$$\begin{aligned} p_x &= \frac{f}{\{R(c - p''')\}_z} \{R(c - p''')\}_x \\ p_y &= \frac{f}{\{R(c - p''')\}_z} \{R(c - p''')\}_y \\ p_z &= f \end{aligned} \quad (14)$$

と定式化できる。

また、本投影手法を用いることで部分画像間の接合

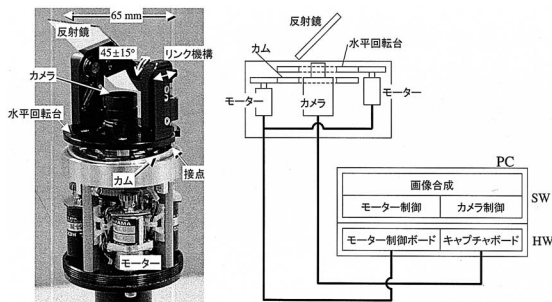


図 9 試作機

Fig. 9 Prototype and its system architecture.

部において形状や位置の連続性は保たれるが、各部分画像を単純に上書きで投影するだけでは、図 6 (b) や (c) の部分画像間に生じているような明度不整合は解消できない。試作機ではこの明度不整合を防ぐことを主目的とした高画質化処理を適用しており、次章にて試作機の構成とともに説明する。

6. 試作機と適用例

本提案の有効性を試すために作成した試作機について説明する (図 9)。

試作機は直径 65 mm, 高さ 130 mm である。反射鏡は水平方向は 360 度, エンドレスに回転可能である。垂直方向は 45 度を基準に ± 15 度の範囲で回転可能となるように設計した。カメラは直径 17 mm の小型 CCD カメラを、レンズは焦点距離 7.5 mm の固定焦点タイプを用いている。レンズ先端から反射鏡までの距離は 20 mm である。画像合成ソフトウェアは、2 軸回転機構に取り付けられた反射鏡の回転を制御しながらキャプチャボードにより部分画像を取得し、得られた部分画像に画像合成処理を適用し広視野画像を生成する。反射鏡を水平方向に回転した場合、 320×240 画素の部分画像群から、画角水平 360 度 \times 垂直 35 度、画素数 2470 画素 \times 240 画素のフルカラー画像を生成可能である。

図 10 に本試作機により入力した広視野画像の例を示す。図 10 (a) の画像は鏡を水平方向に 22.5 度ごとに回転して取得した部分画像 16 枚を合成した広視野画像から中央部を切り出した画像である。図 10 (b) はさらに反射鏡の垂直回転を組み合わせて広視野画像を取得した場合の例であり、水平回転のみで取得した広視野画像 (図 10 (a)) に対して、垂直角度を変化させることでより広い範囲を収めた広視野画像が取得可能であることを示している。図 10 では、各部分画像を

(a) 水平のみ



(b) 垂直角度を変更して2回取得した場合



図 10 取得画像例

Fig. 10 Example panoramic image of the prototype.

広視野画像に撮影順に投影する際に、部分画像端部に広視野画像上の画素と混合処理を行っている。部分画像端からの距離に応じて混合する割合を変化させることで人間の目にとって境界部分が不自然にならないように考慮したものであるが、レンズの周辺減光による影響を完全には回避できず、さらには反射鏡を回転させる構造のため部分画像間の境界が広視野画像上で様々な方向に回転して発生することから、部分画像間の接合部に明らかな明度の不整合が生じている。

この部分画像接合部における明度不整合を回避するため、試作機では画像間の境界混合処理に加えて、レンズ周辺減光の補正処理、短冊形の合成処理を適用して高画質化を図っている。周辺減光補正は \cos^4 乗則に基づいており、補正パラメータは白紙を撮影した結果から最小二乗法で決定した。短冊形合成処理は、広視野画像上の各画素の画素値を決定する際、あらかじめ各部分画像の中心の投影位置周辺の矩形領域だけに処理範囲を限定する処理である(図 11(a))。これは、CCD センサ(画像面)の中央部で反射鏡の角度に応じて変化する矩形領域だけを切り出して投影することに相当し(図 11(b))、周辺減光の影響が大きい部分画

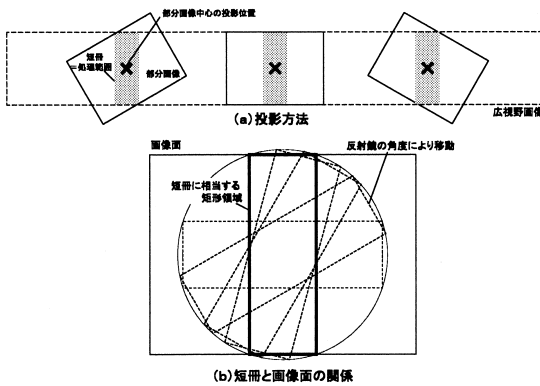


図 11 短冊形合成手法

Fig. 11 Striped image mosaicing method.

像端部を合成対象から外して、かつ、広視野画像上に生じる部分画像接合部の方向を揃えることが可能となる。短冊形合成処理を用いた場合、反射鏡の水平 1 回転によりこの画像面上の矩形領域が覆う領域の和は、図 11(b) で点線で示すような画像面中央の円領域となり、逆にいえば、画像面上のこの円領域内の画素だけが投影面上に投影されることになる。短冊の大きさによってはこの円領域は部分画像外にはみ出すことがあり、この場合、広視野画像上に画素値の決定されない空白部分を生じる結果となる。短冊の大きさ、および、部分画像の撮像枚数はこの空白部分がなくなるように決定する必要がある。

図 12 に高画質化処理を適用して得られた広視野画像の例を示す。これらは反射鏡を連続回転させながら、水平方向に 10 度移動するごとに取得した部分画像 36 枚を短冊形処理で合成した広視野画像である。1 周あたりの撮像枚数は短冊の大きさと部分画像間の重複領域から決定した。すなわち、短冊 1 枚あたりの高さを部分画像の高さの 1 割減に相当する 216 画素としてまず定め、短冊間の重複領域が 30 画素以上確保できるように短冊の幅 103 画素と撮像枚数 36 枚を決定した。1 枚の広視野画像の生成に要する画像合成処理単独の処理時間は 450 MHz の CPU を持つ PC を用いた場合で約 1.7 秒であるが、連続して広視野画像を生成しつづける場合、反射鏡の制御、部分画像の撮像、広視野画像の保存および転送処理、画面表示処理が加わるため、1 周 5 秒程度で反射鏡を回転させるのが限界であった。なお、反射鏡を停止させず回転させながら、かつ、ぶれのない部分画像を取得するためには、カメラの電子シャッター速度を 1/500 秒にする必要があった。反射鏡の回転速度をより高速にした場合には、さらに高速の電子シャッターが必要になると考えられる。

図 12(b) は、テニスの国際大会で本試作機をコートサイドに設置し、インターネット放送用のカメラとして利用した際に取得した広視野画像である。これは、



図 12 高画質化処理を適用した場合の取得画像例

Fig. 12 Example panoramic image of the prototype with image quality improvement method.

通常のテレビ放送のような狭視野画像ではなく、通常とは異なる視点で全体を見渡せる画像をインターネットを通じて提供することを目的として実施したものである。試作機のように反射鏡を1周5秒で回す速度では、動き回るボールおよびプレイヤを撮影できないことが懸念されたが、プレイヤ以外にはほとんど動くものがなかったこと、および、プレイヤおよびボールが激しく動いている時間が短かったことから、試作機で取得した広視野画像を通じて試合および競技場全体の状況を容易に把握することができた。これは、本来動きが激しく本提案による広視野カメラには適していないと考えられるスポーツ中継等にも本手法による広視野カメラが有効に利用できる場合があることを示唆していると考えられる。

7. ま と め

店舗内や屋外における監視用途や、複数ユーザがいづれでも好きな場所を観察可能なサービスを対象に、反射鏡をカメラ前面で回転させる形態の広視野カメラを提案し、試作により高精細な広視野画像が入力可能なことを示した。高解像度の広視野画像が継続的に必要な状況では、提案手法は有効であると考えられる。

試作機では水平視野360度の画像を5秒程度で継続的に取得可能であるが、TV会議等の共有問題を解消するためにはさらに高速化を図る必要がある。高速化するためには、画像処理速度、および、鏡の回転速度を向上させる必要がある。試作機ではPC上のソフトウェアですべての画像処理を行ったが、より高速な処理が求められる場合はDSPや画像処理プロセッサを用いる必要があると考えられる。広視野画像の高精度化、鏡駆動系の小型化や高速化を、広域監視システムや注視点画像提供サービス等のアプリケーションを開発しながら解決していきたい。

謝辞 本研究を進めるにあたり、有益なご指摘・議論をいただきましたNECインターネットシステム研究所の各位に感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 中尾ほか：デジタルモザイク処理を用いた画像入力機器のUI評価に基づく改良，情処HI研究会77-7(1998)。
- 2) 大野ほか：インターネット放送局“景観放送”，NEC技報，Vol.50，No.1，pp.49-58(1997)。
- 3) Chen, S.E., et al.: QuickTimeVR—An Image-Based Approach to Virtual Environment Navigation, *Proc. SIGGRAPH'95*, pp.29-38(1995)。

- 4) 和田ほか：Appearance Sphere—パン・チルト・ズームカメラのための背景モデル，画像の認識・理解シンポジウム(MIRU'96)，6-16-1(1996)。
- 5) Uehira, K.: High-speed, high-resolution image reading technique using multi-area sensors, *Proc. SPIE*, Vol.1448, pp.182-190(1991)。
- 6) 紺谷ほか：画像合成による超広角撮像方式，テレビジョン学会誌，Vol.48，No.10，pp.1189-1195(1995)。
- 7) 佐藤ほか：2台のカメラを用いた全周囲画像の取得，電子情報通信学会総合大会D-11-149(1998)。
- 8) Xiong, Y., et al.: Creating Image-Based VR Using a Self-Calibrating Fisheye Lens, *CVPR'97*, pp.237-243(1997)。
- 9) Nayar, S.K.: Omnidirectional Video Camera, *Proc. DARPA Image Understanding Workshop (IUW'97)*, Vol.1448, pp.235-241(1997)。
- 10) 山澤ほか：移動ロボットのナビゲーションのための全方位視覚センサ HyperOmni Visionの提案，電子情報通信学会論文誌D-II，Vol.J79-D-II，No.5，pp.698-707(1996)。
- 11) 水上ほか：簡易全周パノラマ画像作成装置の検討，第40回自動制御連合講演会4023(1997)。
- 12) 網島ほか：回転ミラー方式による物体の距離計測，電子情報通信学会論文誌D-II，Vol.J81-D-II，No.3，pp.501-508(1998)。

(平成13年3月2日受付)

(平成13年9月3日採録)

(担当編集委員 谷口 倫一郎)



中尾 敏康(正会員)

1968年生。1993年大阪大学大学院基礎工学研究科物理系情報工学専攻修士課程修了。同年NEC入社，現在インターネットシステム研究所ユビキタスシステムテクノロジーグループに所属。携帯端末とそのユーザインタフェース，画像処理の研究に従事。



柏谷 篤

1964年生。1989年大阪大学大学院理学研究科物理専攻修士課程修了。同年NEC入社，現在インターネットシステム研究所ユビキタスシステムテクノロジーグループに所属。画像入出力機器，携帯端末の研究に従事。電子情報通信学会会員。