

第1章 投影のモデル

第2章 手法

2.1 全周画像からコンテンツ画像への変換

本節では、全周画像からコンテンツ画像への変換について説明する。

全周画像は全周カメラ等で撮影された、カメラの周囲 360° が投影された画像である。また、コンテンツ画像はプロジェクタ群からの投影に利用されるもので、スクリーンを構成する平面毎に作成される。

本節では、図 2.1 のように、原点を中心にスクリーンを囲む円筒を配置し、その面上に全周画像が割り当てられているものとする。また、観客の視点を表すカメラを原点に配置する。また、高さ方向の並進移動 c_x とチルト回転角 θ_y の自由度を持つ (図 2.2)。スクリーンについて、図では 4 枚の平面でこれを表しているが、同じ高さの平面群で構成されていれば、本節で述べる変換式を適用できる。

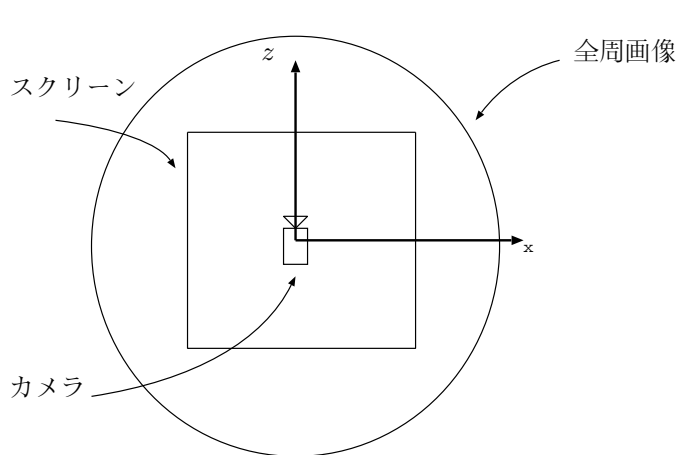


図 2.1: 全周画像の配置 1

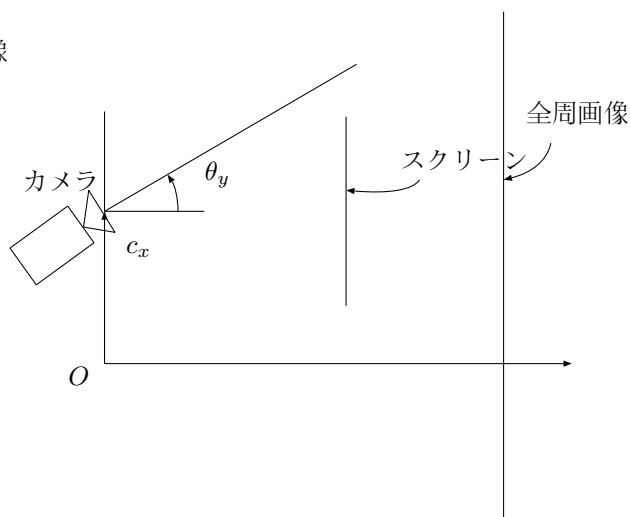


図 2.2: 全周画像の配置 2

全周画像からコンテンツ画像への変換の過程は、全周画像からカメラの投影像への変換と、投影像からコンテンツ画像への変換の 2 つの段階に大別される。これらの変換は、画像間の座標系の対応によって定義できる。本節では、全周画像の座標を $\mathbf{x} = (\theta, y)^\top$ 、カメラの投影像の座標を $\mathbf{x}' = (x', y')^\top$ 、コンテンツ画像の座標を $\mathbf{x}'' = (x'', y'')^\top$ でそれぞれ表す。

2.1.1 カメラ投影面の決定

全周画像からカメラの投影像への座標変換を述べる前に、カメラの投影面の決め方について述べておく必要がある。

投影面は焦点距離 f' と幅 w' と高さ h' によって定まる。まず、焦点距離の決め方について説明する。

焦点距離

カメラの焦点距離を f 、 θ_x のチルト回転を表す 3 次元同次座標行列を \mathbf{R}_{θ_x} 、 $\mathbf{t} = (0, c_y, 0, 1)^\top$ とすると、投影面の中心座標 \mathbf{p} は次式で表される。

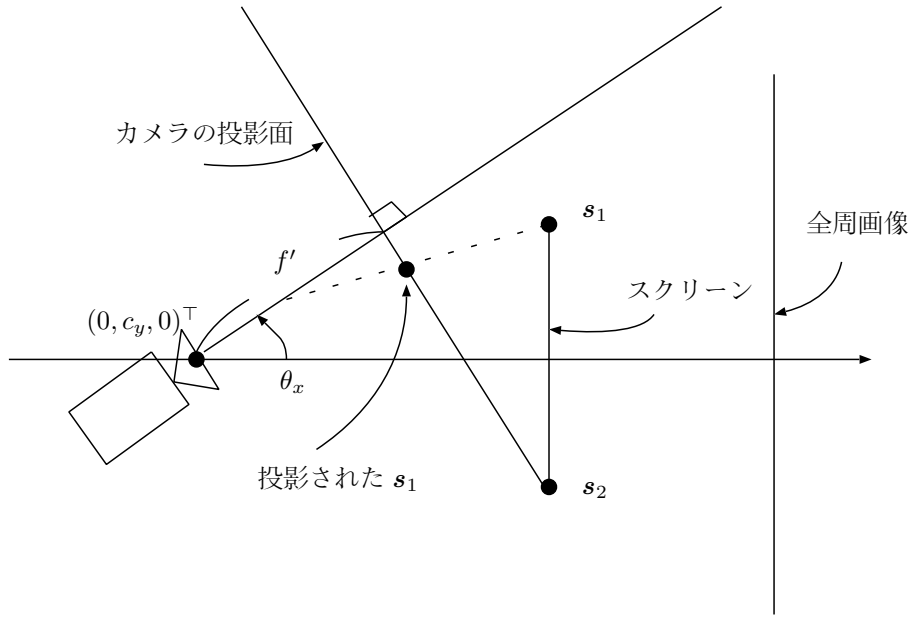


図 2.3: スクリーン像と投影面

$$\mathbf{p} = \mathbf{R}_{\theta_x}(0, 0, f, 1)^\top + \mathbf{t} \quad (2.1)$$

スクリーンの頂点 \mathbf{s}_i が投影面上にあれば, $(\mathbf{p}, \mathbf{p} - \mathbf{x}) = 0$ を満たす. 本資料では, 焦点距離 f' を, いずれの頂点に対しても投影面が手前にくるようにとる. 形式的には, これは次式で表される.

$$f' = \min\{f \mid \forall \mathbf{s}_i, (\mathbf{p}, \mathbf{p} - \mathbf{s}_i) = 0\} \quad (2.2)$$

幅と高さ

スクリーンの頂点 \mathbf{s}_i を投影面上に投影したものを $\mathbf{s}'_i = (x'_i, y'_i, 1)^\top$ とする. また, $\mathbf{P} = \mathbf{A}\mathbf{P}_f \begin{pmatrix} \mathbf{R}_{\theta_x}^{-1} & -\mathbf{t} \\ \mathbf{0} & 1 \end{pmatrix}$ であり, $\mathbf{P}_f = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$, $\mathbf{A} = \begin{pmatrix} fw'/h' & 0 & p_1 \\ 0 & f & p_2 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$ とすると, \mathbf{s}'_i は次式で表される.

$$\mathbf{s}'_i = \mathbf{P}\mathbf{s}_i \quad (2.3)$$

投影面の大きさは, これらの座標が投影面上に丁度収まるように決定される. ただし, w' と h' の比は, コンテンツ画像のアスペクト比と一致するようにとる.

2.1.2 全周画像からカメラの投影像への変換

θ の計算

図 2.4 より, x' に対応する θ は次式で求められる.

$$\theta = \left(\tan^{-1} \frac{\mathbf{P}^{-1}x'}{f'} + \theta_{\text{offset}} \right) \quad (2.4)$$

$$(2.5)$$

ここで, θ_{offset} は θ のオフセット値である. また, この値を適切に設定することで, カメラの向きはそのままに, スクリーンの他の平面に対するコンテンツ画像を得ることができる.

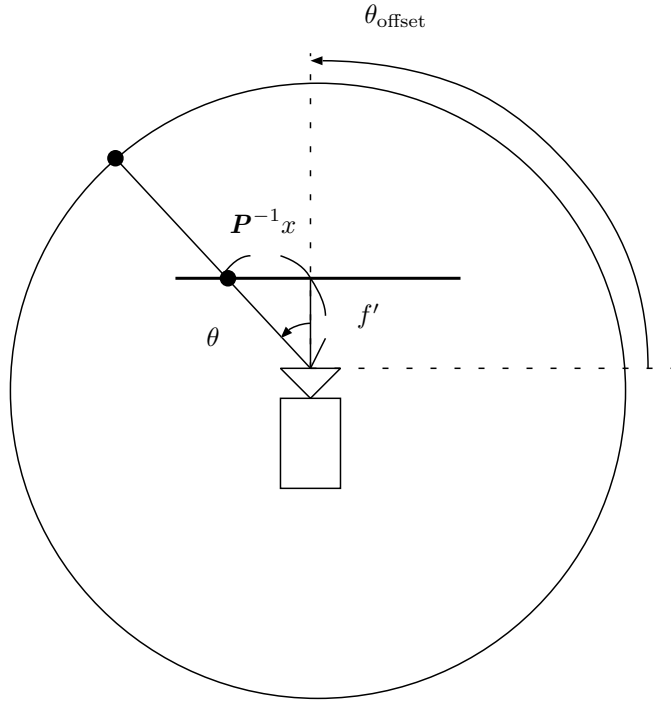


図 2.4: θ の計算

y の計算

図 2.5 より, y' に対応する y は次式で求められる. ただし, 全周画像の半径を r とする.

$$y = Pr' \sin(\theta_\Delta + \theta_x) + c_y \quad (2.6)$$

$$r' = \frac{r}{\cos(\theta_\Delta + \theta_x)} \quad (2.7)$$

$$\theta_\Delta = \tan^{-1} \frac{P^{-1}y' - c_y}{f'} \quad (2.8)$$

2.1.3 カメラの投影像からコンテンツ画像への変換

s'_i から対応するコンテンツ画像の頂点座標 $((0, 0, 1)^\top, (w'', 0, 1)^\top, (0, h'', 1)^\top, (w'', h'', 1)^\top)$ への射影変換行列を \mathbf{H} とすれば, カメラの投影面上の座標 \mathbf{x}'' に対応するコンテンツ画像上の座標 \mathbf{x}' は次式で表される.

$$\mathbf{x}' = \mathbf{H}^{-1} \mathbf{x}'' \quad (2.9)$$

また, \mathbf{H} は原理的には,

$$\begin{pmatrix} 0 & -s_1^\top & y''_1 s_1^\top \\ s_1^\top & 0 & -x''_1 s_1^\top \\ 0 & -s_2^\top & y''_2 s_2^\top \\ s_2^\top & 0 & -x''_2 s_2^\top \\ 0 & -s_3^\top & y''_3 s_3^\top \\ s_3^\top & 0 & -x''_3 s_3^\top \\ 0 & -s_4^\top & y''_4 s_4^\top \\ s_4^\top & 0 & -x''_4 s_4^\top \end{pmatrix} \begin{pmatrix} H_{11} \\ H_{12} \\ H_{13} \\ H_{21} \\ H_{22} \\ H_{23} \\ H_{31} \\ H_{32} \end{pmatrix} = \mathbf{0} \quad (2.10)$$

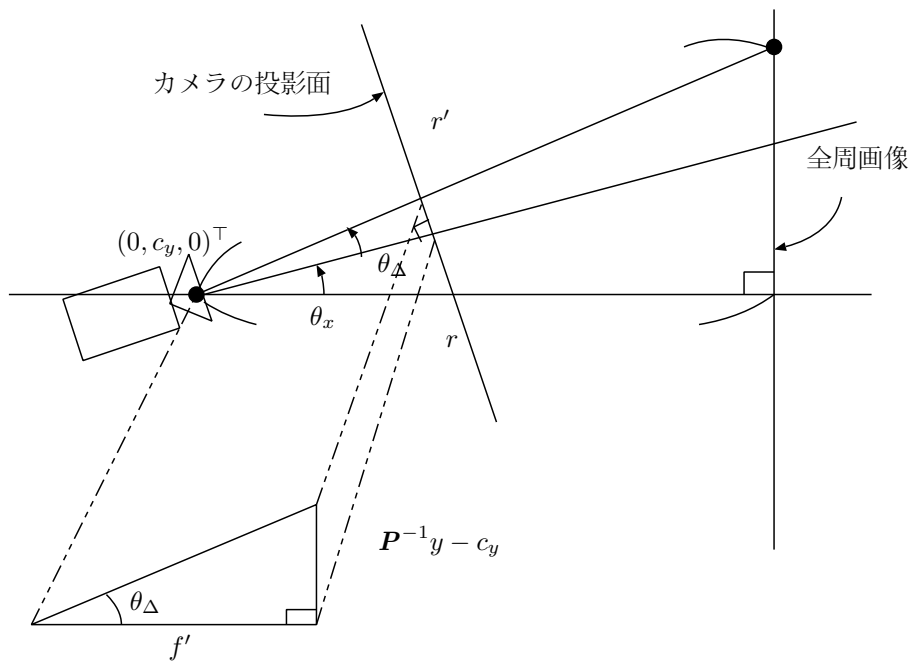


図 2.5: y の計算

を解くことで求めることができる (H_{33} を 1 と置いた場合)。