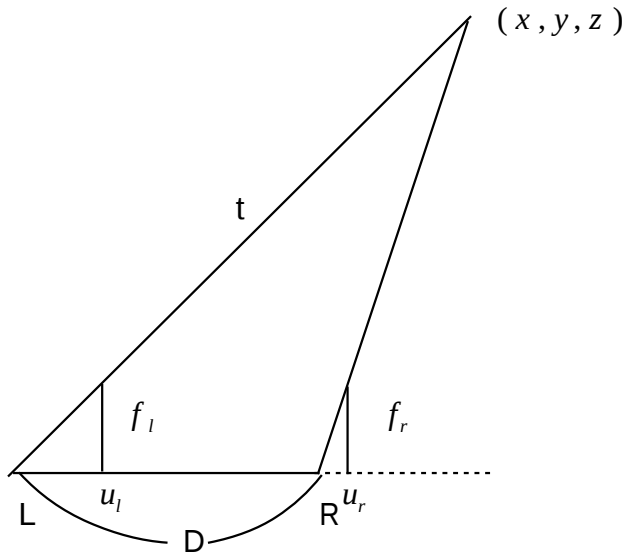




テレビカメラはあらかじめ較正しておけば、画像上の位置と視線方向が1対1に対応する角度の観測装置とみなすことができる。既知の2点に置かれたカメラから同一の点を観測するときのそれぞれの画像内での位置が分れば、対象とする点の3次元座標を求めることができる。この原理で立体情報（3次元情報）の再現（再構成という）を行う手法を両眼立体視またはステレオ法と呼ぶ。

ある点 $(x, y, z)^t$ をL, Rの2点から観測し、観測データ $(u_l, v_l, f_l)^t$, $(u_r, v_r, f_r)^t$ を得たものとする。ただし、 u, v はテレビ座標の横・縦座標（単位：画素）、 f はテレビカメラの焦点距離とする。

$$(x, y, z)^t = r_{0l} + t_l(u_l, v_l, f_l)^t$$

$(x, y, z)^t = r_{0r} + t_r(u_r, v_r, f_r)^t$ と書ける。ただし、 r_{0l} , r_{0r} はL, Rの位置ベクトルとする。 u, v は観測量、 f, r_0 はあらかじめ得られているものとする。

等値して $t_l(u_l, v_l, f_l)^t - t_r(u_r, v_r, f_r)^t = r_{0r} - r_{0l}$ これから

$$\begin{bmatrix} u_l - u_r \\ v_l - v_r \\ f_l - f_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t_l \\ t_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{0xr} - r_{0xl} \\ r_{0yr} - r_{0yl} \\ r_{0zr} - r_{0zl} \end{bmatrix}$$

一般にはこの内2つを組合わせ t_l, t_r を求めることができる。これを元の式に代入して $(x, y, z)^t$ を得ることができる。

適当に配置するとき（カメラはx軸に沿って同一の高さに視線が平行になるように配置する）、右辺は $\begin{bmatrix} D \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$ とすることができる（平行カメラモデル）。また同一の特性のカメラを用いれば $f_l = f_r (= f)$ このとき

$$\begin{bmatrix} u_l & -u_r \\ v_l & -v_r \\ f & -f \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t_l \\ t_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \text{第3式から } f(t_l - t_r) = 0 \text{ よって } t_l = t_r (= t) \quad \text{第2式に入れて}$$

$t(v_l - v_r) = 0$ よって $v_l = v_r$ これは観測点の上下方向の位置が左右で同じであることを意味する。ある視点で得た、画像上の1点は空間的には1つの直線（視線）をなす。このとき、別の視点で得た画像上で、この視線を観測するとき、これをエピポーラ線という。

v_l が同一で、同じ視線上の点について v_r が観測されるとき $v_l = v_r$ 、よって $v_r = v_l$ 。すなわち、平行カメラモデルでは、エピポーラ線は水平となる。

第1式は $t(u_l - u_r) = D$ これより $t = \frac{D}{u_l - u_r}$ $u_l - u_r (= du)$ を視差と呼ぶ。

$(x, y, z)^t = r_{0l} + t(u_l, v_l, f)^t$ となる。

考察

平行カメラモデルにおいて、横方向のカメラの移動はあるが、上下方向には変化がない。同じ点について観測されるデータは、画像上で左右には動くが上下には動かない。横方向に動かしたときの視差にほとんど全ての情報が含まれている。

$r_{0l} = 0$ とすると、 $(x, y, z)^t = t(u_l, v_l, f)^t$ となる。

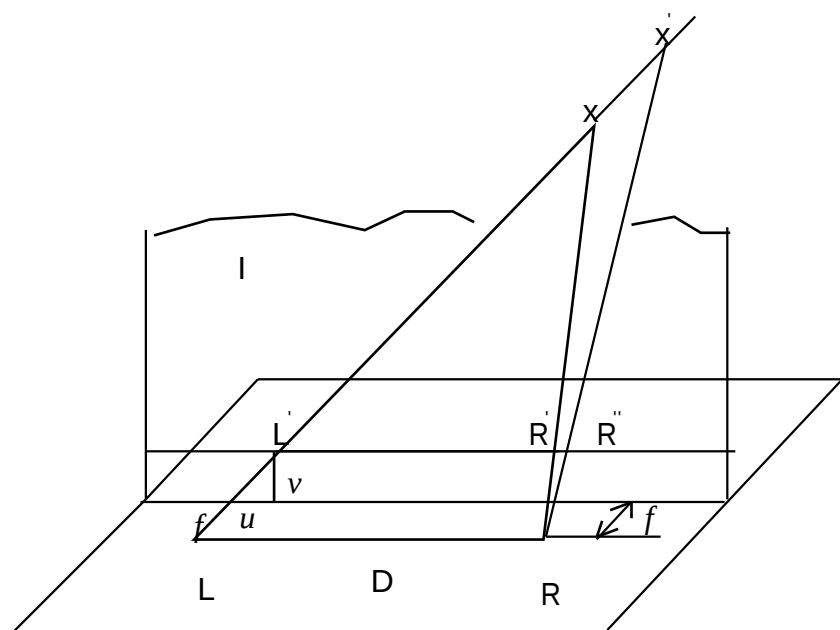
z方向の拡大率 $\frac{z}{f_l} = \frac{z}{f_r} = t$ これは同時にy方向の拡大率でもある。（3式の内第1式）

は $du \cdot t = D$ と書け、 $t = \frac{D}{du}$ となる。

tは焦点距離を単位とする（ $t=1$ のとき $z=f$ ）奥行距離（相対奥行距離）である。奥行距離zは $z = t \cdot du^{-1}$ と書けるから視差に反比例する。

相対奥行き距離tによって視差は変化する。 $t=\infty$ （無限遠点）のとき視差0。視差が{小さい,大きい}ときtは{大きい小さい}。

一般に見る位置（視点）を変えて（ただし視点は既知とする）、複数の画像を得て、立体情報の再構成を行うことができる（c.f.見る位置は同じで、対象が動くときほぼ同等）。



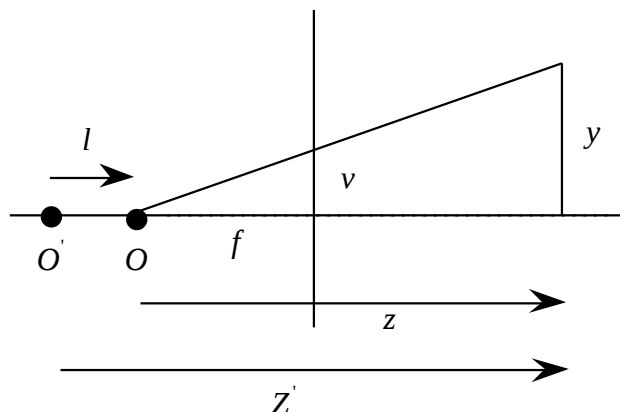
エピポーラ線の幾何学的理解

対象とする x を L, R から観測する（レンズの主点を L, R に置く）とき、立体的な3角形ができる。撮像面はレンズの前方 f の位置にあると考える。平行カメラモデルでは L, R とも同一の平面を構成する（これを I とする）。 Lx, Rx と I との交わり（ L', R とする）が画像上の点となる。その (u, v) 座標が観測される。

I は L, R から f の距離にあるから、直線 $L'R$ は Lx に平行となる。 Lx 上の別の点 x' について、 $L'R'$ は同様 Lx' に平行。よって R と R' は Lx に平行。視線 Lx 上の点を R から観測して得られる像は直線（エピポーラ線）をなし、基線 Lx に平行となる。画像上では水平線をなす。

カメラパラメータの決定

現実の測定を行うには、 f の値と O の位置（計測に用いる便宜的な原点（ O' ）から測った O の位置 l ）を定めなければならない。未知数が2つなので2つの既知点を見せ、その計測データから決定できる。

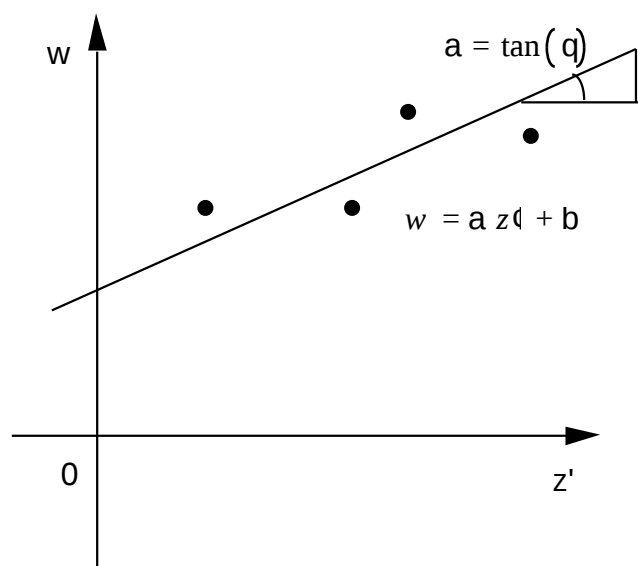


図においてO'は便宜的に定めた仮の原点、OはO'の前方 l にあるとする。対象の位置はO'から測り z' とする。

O'系のOの位置は l だから、 y の位置 z' は $z+l$ である。これより $\frac{y}{v} = \frac{z'-l}{f}$

$\frac{y}{v} = w$ において、 $w = \frac{z'-l}{f} = a z' + b$ (ただし $a = \frac{1}{f}$ 、 $b = -\frac{l}{f}$) と書ける。

既知の長さの y を幾つかの z' の位置に置き (例、棒を縦に置く)、観測された v から $w = \frac{y}{v}$ によって w を求める。これを $z'-w$ の座標系にプロットする。



観測点群に直線をあてはめると、 a 、 b が求まる。これより $f = \frac{1}{a}$ 、 $l = -f b = -\frac{b}{a}$

画素の大きさが一般には横軸・縦軸方向で同じとは限らないから、 f 、 l はx方向、y方向独立に求める (例、棒を縦だけでなく横にも置く)。簡単には1方向だけ求め、別に円を見せて (あるいは理論計算や仕様値から) 縦横のピクセルサイズの比を求めてそれで補正する。

考察 f 、 l の次元について

$$[f] = \left[\frac{1}{a} \right] = \frac{[z']}{[w]} = \frac{L}{\left[\frac{y}{v} \right]} = \frac{L}{L \text{ pixel}^{-1}} = \text{pixel}$$

$$[l] = [f b] = \text{pixel} [w] = \text{pixel} L \text{ pixel}^{-1} = L$$