4C-4

ヘリコプタに装着した両眼アクティブカメラを用いた立体地図計測法

張　暁林[†]　松崎和敏[‡]　加藤芳彦[‡]

東京工業大学[† ‡]

１．はじめに

これまでの地形計測は，広範囲を行う場合には衛星や航空機に搭載したカメラを用いて行い，比較的小さい範囲の測定に対してはヘリコプタに搭載した複数のカメラを用いるのが一般的であった．衛星または航空機から撮影した画像を用いた地形測定はその地面までの高さのために計測範囲が広いという利点があるが，測定精度が低いという欠点もある．一方で小範囲の立体地形測定に対しては一般に低空飛行可能なヘリコプタを用いる．しかし，ヘリコプタには飛行中の機体の安定性の低さや機体位置の測定の難しさなどの問題があり，立体計測に二つの飛行地点で撮影した画像を用いることが困難である．そのため，機体に固定した複数カメラからの同期画像を用いることや，別のデバイス（レーザー距離計測装置など）を併用することで地形測定を行うのが主流である[(1)]．機体に固定したカメラの同期画像を用いて立体計測する手法の最大の問題点は短い基線長による測定精度の低さである．そこで提案システムでは，異なる地点で撮影した画像を基線長の長いステレオ画像として利用可能なアクティブカメラシステムを提案する．

２．アクティブカメラシステムの構造

提案するシステムは図１に示すようなヘリコプタに取り付ける構造になっており，最下部の両端に位置する２つの望遠ズームレンズ付カメラ（望遠カメラ）はそれぞれ装着しているモータによって輻輳運動を可能にしており，その間に広角ズームレンズ付カメラ（広角カメラ）を取り付けたカメラセットを装着している．

このカメラセットは３つのモータによって３自由度の制御が可能であり，その基盤には水平センサが設置されている．

A 3D Map Measuring Method Using Active Stereo Cameras Mounted on a Helicopter

†X. ZHANG・Tokyo Institute of Technology
‡ K. MATSUZAKI・Tokyo Institute of Technology
‡ Y. KATO・Tokyo Institute of Technology

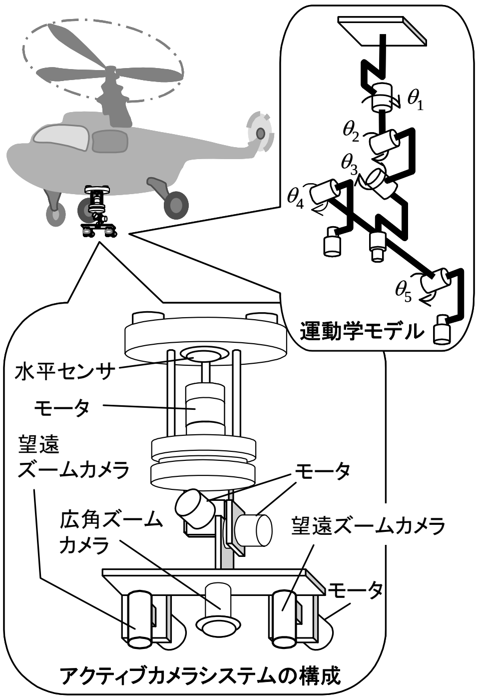


図１．アクティブカメラシステムの構成

３．アクティブカメラシステムを用いた立体地形計測の原理

提案するシステムの特徴の一つは望遠カメラと広角カメラの併用である．輻輳運動可能な望遠カメラは地面の特徴点を注視し続け，その特徴点の位置を測定する．広角カメラは飛行中に画像を取り込み続けるが，基本的にある程度離れた２点の位置で撮った画像を立体地形計測の計算に用いる．この２点の中間で撮った画像を前述の２つの画像の対応点探索に利用する．

２つの望遠カメラは広角カメラの画像上のある特徴点に視軸を合わせることによって，両カメラの輻輳角（図１のθ_4，θ_5）から特徴点の距離を算出できる．この距離の精度はカメラの画素サイズとカメラの輻輳角の精度に依存するが，前者は望遠カメラを十分な倍率の光学ズームで用いることにより精度を高めることができ，後者は輻輳角を計測するエンコーダを十分に分解能の高いものにすることで精度を高めることが

できる．これを利用することで高い測定精度で距離測定ができる．更に，θ_1，θ_2，θ_3，を用いることで，ヘリコプタに対する特徴点の位置を求められる．

図２(a)に提案する立体地形計測法の測定過程を示す．ヘリコプタは位置 O_L で上述の原理により広角カメラのレンズ中心から特徴点 G までの距離 l_l を測定（図２(b)）し，θ_1，θ_2，θ_3 及び水平センサの値を用いて広角カメラの視線と飛行方向の水平線との成す角 α を算出する．視覚フィードバック制御によって，各カメラの視軸は G を注視し続け，カメラシステムの撮影方向も最初の方向と同じように保つ [2]．ヘリコプタが位置 O_R のときも同様に l_r と β を算出する．説明を簡単にするために，図２(a)の O_L，O_R，G の３点を取り出した図２(b)からその相互関係を求めると，

$$\gamma = \pi - \alpha - \beta \quad , \qquad d = \sqrt{l_r^2 + l_l^2 - 2 l_r l_l \cos\gamma} \quad ,$$

$$\alpha_l = \arcsin\left(\frac{l_r}{d}\sin\gamma\right), \quad \alpha_r = \arcsin\left(\frac{l_l}{d}\sin\gamma\right)$$

となる．図２(c)は O_L，O_R で広角カメラが取り込んだ画像上の任意対応点 $P_L(x_L, y_L)$ と $P_R(x_R, y_R)$ に対応する計測点 $P(x_p, y_p, z_p)$ を O_L を原点，直線 O_LO_R を x 軸，平面 O_LO_RG を xz 平面とする座標系での３次元座標を算出する原理を以下に示す．図２(c)より，（以下の式では x_L, y_L, x_R, y_R を実際の長さとする）

$$\varphi_l = \alpha_l - \arctan\frac{x_L}{f_L}, \quad \varphi_r = \alpha_r - \arctan\frac{x_R}{f_R}$$

$$L_l = \frac{d \sin\varphi_r}{\sin(\pi - \varphi_l - \varphi_r)}, \quad l_L = \sqrt{f_L^{\,2} + x_L^{\,2}}$$

であるので，計測点 $P(x_p, y_p, z_p)$ の座標は以下のように求めることができる．

$$x_p = L_l \cos\varphi_l, \quad y_p = \frac{L_l y_L}{l_L}, \quad z_p = L_l \sin\varphi_l$$

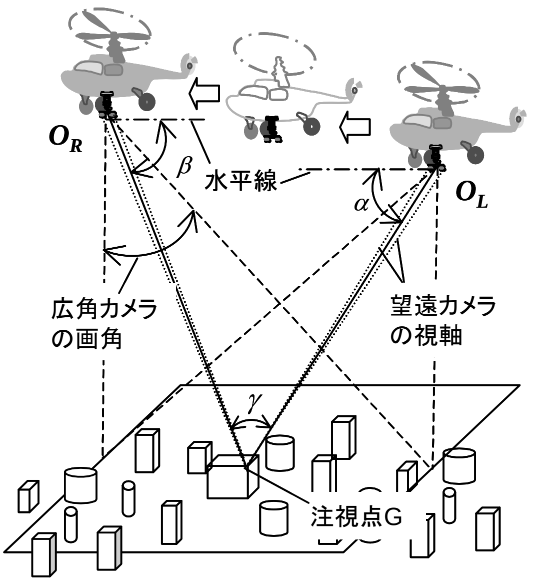
４．おわりに

今回提案したシステムはヘリコプタに搭載したカメラの基線長の問題を解決するだけでなく，連続した画像を取り続けることによって，より高度な各画像上の対応点認識処理も特徴点追跡などの手法を利用でき，高速かつ正確に立体地形計測行うことが可能になる．

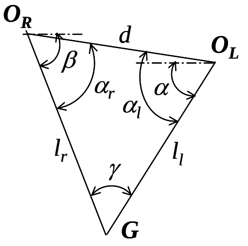
５．参考文献

１．Yoshikawa,Y., Numata,Y., Daidou,N., Harada,M. 2001. Application of a laser profiler for road design business. Journal of association of precise survey and applied technology, No.79,67-74.

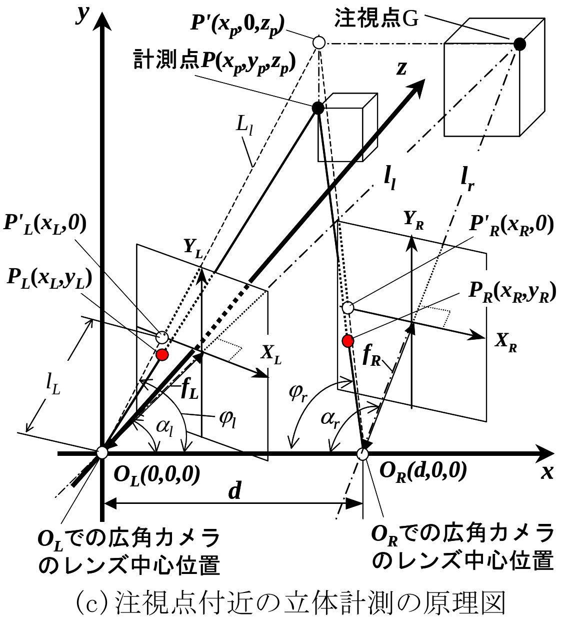
２．張　暁林,若松秀俊：両眼運動制御メカニズムの数学モデルと視軸制御システムの構築，日本ロボット学会誌，Vol.20, No.1 89-97, (2002,1).



(a)アクティブカメラシステムを用いた画像取得



(b)計測位置と注視点との関係



(c)注視点付近の立体計測の原理図

図２．アクティブカメラシステムを用いた立体地形計測の原理