

画角を利用した 3 次元位置推定法

赤羽 淳平[†] 大森 健児[†]

[†] 法政大学 情報科学研究科 〒184-0002 東京都小金井市梶野町 3-7-2

E-mail: [†] i04t0001@k.hosei.ac.jp, [†] ohmori@k.hosei.ac.jp

あらまし デジタルカメラで撮影された画像 3 枚を基に、そこに写し出されている物体の位置関係を再構築する手法を提案する。利用する画像は、1 つの対象物に向かって直進しながら撮影し、その物体を画像の中心に位置させる。画像間の物体のマッチングは人間が行う。画像の中心に位置させた物体ともう 1 つの物体を基準点として、カメラ固有の画角情報を利用して、他の物体の位置を割り出す。

キーワード 画角 ステレオ視法

Measuring 3D Position Using Picture Angle

Jumpei AKABANE[†] and Kenji OHMORI[†]

[†] Hosei University 3-7-2 Kajinouchou, Koganei-shi, Tokyo, 184-0002 Japan

E-mail: [†] i04t0001@k.hosei.ac.jp, [†] ohmori@k.hosei.ac.jp

Abstract This paper describes a new method of reconstructing object positions by three camera photos of these objects. Before taking photos, a target objects is predefined and then three photos are taken while going straight to the target. Corresponding objects in the photos are specified by a user as a preprocessing task. In processing, the object located at the center is used as the reference point. The coordinates of other objects in the photos are calculated based on a camera angle. The calculation is performed using genetic algorithm.

Keyword Picture Angle, Binocular Parallax

1. 序

1.1. 研究背景

コンピュータグラフィックス技術の進歩に伴い、ゲーム・映像制作などの分野で現実世界のシーンをコンピュータで表現し、シミュレーションを行ったりする機会が増えてきている。その場合、画像などから物体の位置関係を読み取り 3D 映像を作り出すことが考えられる。しかし画像は 2 次元なので、縦横の位置関係は把握できても、奥行き的位置関係を読み取ることは難しい。そこで、画像に映し出された物体の位置関係を知る方法が必要になる。

画像から奥行きを測定する研究はこれまでに盛んに行われていて、その代表的な方法にステレオ視法が挙げられる。この方法は三角測量の原理により画像中の各点までの距離を測定する技術である。高精度で奥行き情報を得られるので、ロボット制御などの分野で広く使われている [1][2]。

しかしこの方法を実現するには視差を厳密に測定し、画像間のマッチングを行わなくてはいけないため、

実現するには特殊な機材などが必要になる [3]。現在のステレオ視法の研究は、こうした撮影した画像間の物体のミスマッチングを減らす方法 [4] や、リアルタイムで実現させるための方法 [5] などが主流である。しかし、3D 映像を作り出す場合は、厳密な奥行きは分からなくとも物体の相対的な位置関係さえ知ることができればよいので、この方法は不向きである。

1.2. 研究の目的

研究背景で述べた従来の方法の様な厳密な位置関係を測定するのではなく、特殊な機材を使わずに全体の位置関係が手軽に調べられる方法を提案する。

1.3. 研究の特徴

本研究の特徴として、以下の点が挙げられる。

- ・視差や物体間の角度などの測定が不要である。
- ・特殊な撮影機材が不要である。
- ・撮影のタイミングが自由な代わりに、各画像での物体のマッチングは人が行う。

また本研究で使用する画像について以下の条件を与える

- ・一つの対象物に向かって直進しながら撮影した画像を3枚利用する。
- ・対象物が画像の中心に位置するように撮影する。
- ・位置関係が知りたい物体が3枚の画像全てに納まっている。

1.4. プロセス

本研究では画像1枚目と2枚目、1枚目と3枚目の組み合わせで物体の位置を算出し、誤差が小さい値を導き出す。最初に画像に写っている物体間の角度を取得する。そこから、それぞれの撮影地点の座標を導き出す。最後に物体の位置関係を推定する。第二章では位置関係再構築の詳しい方法を示す。

2. 方法

2.1. 物体の角度と距離の関係

ここでは、物体をカメラで撮影したときの角度と距離の関係を示す。

点 P_1 から点Aと点Bを見たとき、2点を作る角 $\angle AP_1B$ が α_1 であったとする。このとき、角度の情報だけでは距離の情報を得ることができないので、点Aと点Bの位置を一意に定めることはできない。点Aは A_1 と P_1 を結ぶ半直線上の点であればどこでもよく、同様に点Bは B_1 と P_1 を結ぶ半直線上の点であればどこでもよい。(図1)

逆に、点Aと点Bを固定し $\angle AP_1B$ が α_1 となるように点 P_1 を動かすと P_1 の軌跡は図2のように線分ABを弦とし、円周角が α_1 であるような円弧である。(図2)

これを利用して、画像から2地点を選択し、撮影地点を算出する。

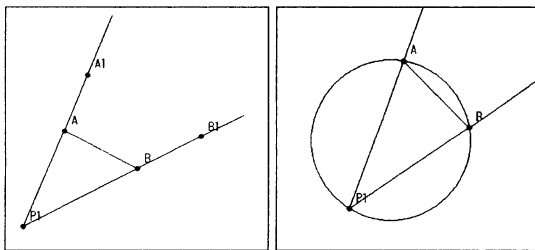


図1(左): A,Bを固定しない場合

図2(右): A,Bを固定した場合

画像1枚だけでは、選択した2点と撮影地点の位置関係しか分からない。そこで、撮影地点を変えた画像をあわせて使うことで、他の物体の位置関係を割り出

す。次に撮影地点を変えた場合の角度と撮影地点の関係を示す。

P_1 とは別の任意の場所 P_2, P_3 から撮影を行ったとき、 P_2 と P_3 の軌跡は図3のようになる。Aに向かって真直ぐ歩きながら撮影した場合、 P_1, P_2, P_3 は図4のように直線上に並ぶ。

図3のように撮影地点に制限を設けないと、物体(A,B以外)と撮影地点を結ぶ直線上にもう一つ撮影地点があった場合、その物体の位置が推定できない。これを防ぐために本研究では撮影方法に制限を与えた。

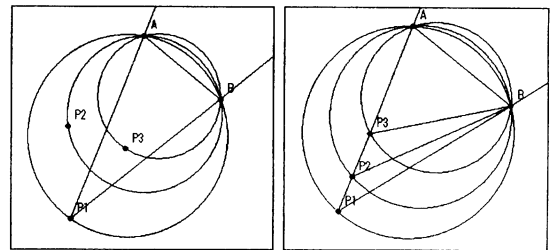


図3(左): 撮影方法に制約がない場合

図4(右): 撮影方法に制約がある場合

2.2. 画像から角度を求める方法

画像に写っている物体の位置関係を再構築する上で、画像から物体間の角度を取得しなければならない。そこで、カメラ固有の画角情報を利用して角度を計算する。今回はデジタルカメラを使うため、焦点距離は35mm判換算値を使う。

・画角

レンズが映し出す画像の中で、実際に写る範囲を角度で示したものの。デジタルカメラなどのレンズが画像を映すフィルムや撮像素子部分の対角線の長さに対する角度で表示される。画角は焦点距離や、撮像素子、フィルムのサイズで異なるため、デジタルカメラの場合には、35mmフィルム換算の焦点距離を基準に比較する。

・35mm判換算値

通常のフィルムカメラで、現在でも一般的に使用されているフィルムが35mmフィルムである。35mmフィルムを使うカメラでは、レンズの焦点距離を50mm、105mmと表示していて、これは画角も表している。たとえば50mmは人間の目を見た画角と同じでこれを標準レンズと呼び、それより焦点距離が長い場合は遠くのもの大きく写せる望遠レンズ、短い場合はより広い範囲を写せる広角レンズと呼ぶ。これはフィルムサイズが一定のためだが、デジタルカメラなどでフィルムの代わりに使用されるCCDは製品によりサイズが

違うのでレンズの焦点距離=画角とはならない。これではその製品の画角が分かりにくいので実際の焦点距離とあわせて、35mm 版換算値が用意されている。

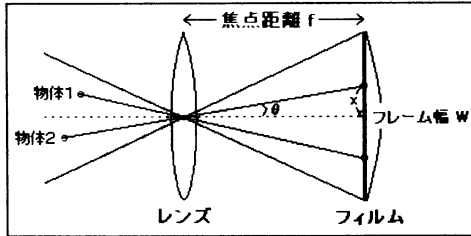


図 5：上方から見た焦点距離と角度の関係

35mm 判のフィルムの幅は 36mm であるので、これを利用すると画像から角度を割り出すことができる。カメラの焦点距離と角度の関係を図 5 に示す。今回の手法では一つの物体に真直ぐに向かって撮影した画像を対象とするため、求める角度は中心からの角度である。画像中心から物体までの距離を x ピクセルとし、焦点距離を f 、フレーム幅を w ピクセル、求める角度を θ とした。

まずは、35mm 判フィルムで換算した場合の画像中心から物体までの距離を求める(この値を X と置く)。

$$X = \frac{36 \times x}{w}$$

次に θ の値を求める。 θ の値を求めるにはアークタンジェントを使う。

$$\theta = \arctan\left(\frac{X}{f}\right)$$

2.3. 撮影地点の座標の求め方

画像から角度を読み取ることができたので、次に撮影地点の座標を求める。中心に来るように撮影した物体を A として、もう一点任意に選んだ物体を B とする。これらの座標を $A(0, 0)$ 、 $B(1, 0)$ と決める。撮影地点を P_i として、これら A, B, P_i を通る円を考える。円の半径は R とする。(図 1)

$A(0, 0)$ 、 $B(1, 0)$ と固定したので円弧の x 座標は必ず $\frac{1}{2}$ となる。次に y 座標を計算する。

正弦定理より、円の半径 R は次のように表わすことができる。

$$R = \frac{1}{2 \sin \alpha}$$

ここで、円の中心を C 、 C から線分 AB に引いた垂線の足を D とすると、線分 CD は

$$CD = \frac{\cos \alpha}{2 \sin \alpha}$$

となる。よって円弧の中心座標は

$$\left(\frac{1}{2}, \frac{\cos \alpha}{2 \sin \alpha}\right)$$

だから、円の方程式は

$$\left(x - \frac{1}{2}\right)^2 + \left(y - \frac{\cos \alpha_i}{2 \sin \alpha_i}\right)^2 = \left(\frac{1}{2 \sin \alpha_i}\right)^2$$

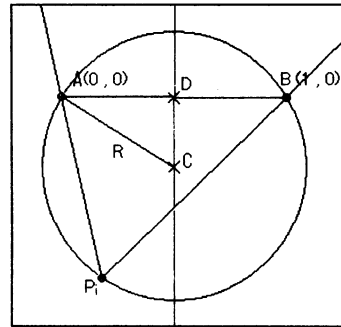


図 6：A,B,撮影地点を通る円

ここで、 $\angle BAP_i$ を ϕ と置くと直線 AP_i の傾きは $\tan \phi$ となるので、直線 AP_i の方程式は

$$y = \tan \phi x$$

となる。撮影地点は P_i なので直線 AP_i と円の交点で、原点でない方が P_i の座標である。両方程式の連立方程式を解くと

$$\left(\frac{\tan \phi + \tan \alpha_i}{\tan \alpha_i (\tan^2 \phi + 1)}, \frac{\tan \phi (\tan \phi + \tan \alpha_i)}{\tan \alpha_i (\tan^2 \phi + 1)}\right)$$

こうして、 ϕ と α の値によって、撮影地点の座標を計算することができる。

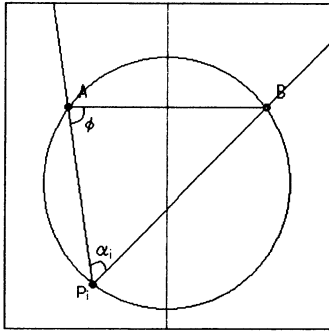


図 7：撮影地点と角度の関係

2.4.物体の座標の求め方

最後に物体の座標を求める。画像で A,B 以外の任意の物体を C とする。線分 AB と線分 PiC の交点を D とする。Pi の座標を (xp_i, yp_i) とする。 $\angle AP_iB = \alpha$, $\angle AP_iC = \beta$, $\angle P_iAB = \phi$ とする。(図 1) ここで PiC の方程式は次式で表すことができる。

$$y - yp_i = \tan(\varphi + \beta_i)(x - xp_i)$$

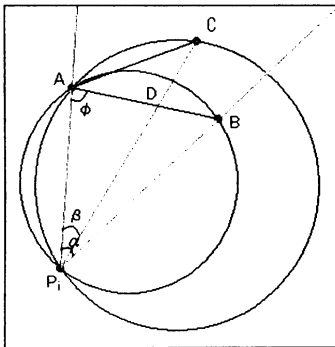


図 8：物体と角度の関係

ここで、撮影点をもう一点増やして考える。 P_1C と P_2C の交点を (x_1, y_1) とすると、以下の関係が成り立つ。

$$\begin{bmatrix} \tan(\varphi + \beta_1) & -1 \\ \tan(\varphi + \beta_2) & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tan(\varphi + \beta_1)xp_1 - yp_1 \\ \tan(\varphi + \beta_2)xp_2 - yp_2 \end{bmatrix}$$

これを $\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix}$ について解くと

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} = \frac{1}{\tan(\varphi + \beta_2) - \tan(\varphi + \beta_1)} \begin{bmatrix} -1 & 1 \\ -\tan(\varphi + \beta_2) & \tan(\varphi + \beta_1) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tan(\varphi + \beta_1)xp_1 - yp_1 \\ \tan(\varphi + \beta_2)xp_2 - yp_2 \end{bmatrix}$$

さらに、最終的に撮影点を 3 点にして考えた場合、

P_1C と P_3C の交点を (x_2, y_2) と置くと

$$\begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{\tan(\varphi + \beta_3) - \tan(\varphi + \beta_1)} \begin{bmatrix} -1 & 1 \\ -\tan(\varphi + \beta_3) & \tan(\varphi + \beta_1) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tan(\varphi + \beta_1)xp_1 - yp_1 \\ \tan(\varphi + \beta_3)xp_3 - yp_3 \end{bmatrix}$$

(x_1, y_1) と (x_2, y_2) は同一点であるので、

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

となればよい。

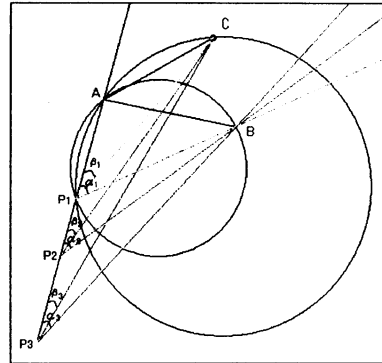


図 9：撮影地点 3 点の場合の角度と物体の関係

しかし α , β の値は画像から読み取ることができるが、 ϕ の値は読み取れない。そこで、 ϕ を変数として

(x_1, y_1) と (x_2, y_2) の値をそれぞれ求め $\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \end{bmatrix}$ が最

も $\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$ に近い ϕ の値を見つけ出す事によって C の座標が決定できる。

2.5.遺伝的アルゴリズム

物体の指定は人が行うので、誤差が出ることは避けられない。この誤差により α , β の値に影響があるので、位置推定の結果が実際の位置関係とはかけ離れてしまう。そこでこの誤差を修正する必要がある。

単純に 1 点 1 点物体の指定位置をずらしながら位置を修正する場合を考える。修正値 γ を $-n \leq \gamma \leq n$ の範囲で設けると、画像 3 枚で指定できる物体は 10 個までとすると、最大で $(2n + 1)^{3 \cdot 10}$ 回の計算を要する。これでは処理時間が掛かりすぎてしまうので、現実的な方法ではない。そこで、短時間で比較的優れた解を

求めることができる遺伝的アルゴリズムを用いて誤差を修正し最適解に近づける。以下に遺伝的アルゴリズムの詳細を示す。

遺伝子は、各画像で指定した物体の位置の修正値と ϕ の値とする。修正値は整数で-2から+2までの値をとる。この修正値を、指定した位置の値に適應してから α と β を計算する。 ϕ は実数で 70° から 120° の値をとる。これは、 ϕ の値が $0^\circ, 180^\circ$ に近いほど計算で物体の位置が撮影地点の座標に近づいてしまうため、ある程度角度をつける必要があるので 70° から 120° の範囲にする。評価は修正値と ϕ を適用して導き出した物体の位置誤差とその分散値を利用した。

遺伝子詳細

変数名	型	数	値の範囲
γ	Int 配列型	物体数×3	$-2 \leq \gamma \leq 2$
ϕ	Double 型	1	$70^\circ \leq \phi \leq 120^\circ$

まず、初期集団で遺伝子を 100 個ランダムに生成する。次にそれぞれの遺伝子の適合度の評価を行う。適合度は γ 、 ϕ を適用して導き出された物体の位置誤差 $(x_1, y_1) - (x_2, y_2)$ の分散を利用する。位置誤差の和が小さくても分散値が大きい場合は、解として望ましくないため、分散値を適合度とした。評価の結果、分散値の大きい 50 個の遺伝子を淘汰する。残りの 50 個から任意の 2 個を選び交叉させ新しい遺伝子 50 個を生成する。交叉において、 ϕ は選んだ 2 個の遺伝子の ϕ の平均をとり、 γ は選んだ 2 個の遺伝子からランダムで値を採用する。交叉した後、10%の確率で突然変異させた。突然変異は、 ϕ, γ の値の範囲内で値を設定しなおす。以上の操作を位置誤差が 10.0 以下、分散値が 5.0 以下になるまで続ける。100 世代毎に 1 回、全遺伝子を初期化した。

3. 結果

本研究で使用した環境を以下に示す。

OS windows XP
 J2SE SDK 1.5.0_02
 デジタルカメラ optio S5n
 焦点距離 5.8mm ~ 17.4mm
 (35mmフィルム換算：35.6mm ~ 107mm)

次に、利用した画像を以下に示す。



図11：撮影地点1の画像

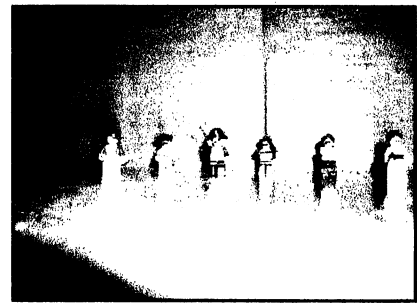


図12：撮影地点2の画像

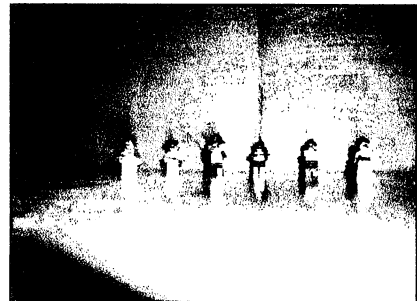


図13：撮影地点3の画像

次に計算結果の詳細を示す。

$(x_1, y_1) - (x_2, y_2)$ の値

	C1	C2	C3	C4
誤差	2.490395	1.071545	0.917893	2.006298

個体群の初期化回数6回、27世代で計算終了。

分散 = 2.046673

誤差和 = 6.486132

$\phi = 95.099648$ (実測定では $\phi = 97.0$)

実測定での物体位置

	B	C1	C2	C3	C4
画像 1	514	133	232	404	631
画像 2	495	154	239	397	600
画像 3	465	183	251	385	550

* 画像左端の座標を 0 とした値。

* 表示時の画像幅は 640、よって A の座標は 320。

修正値

	B 修正値	C1 修正値	C2 修正値	C3 修正値	C4 修正値
画像 1	-1	0	0	0	0
画像 2	0	-1	0	0	0
画像 3	0	-2	0	0	-1



図 14：実際の物体の位置関係

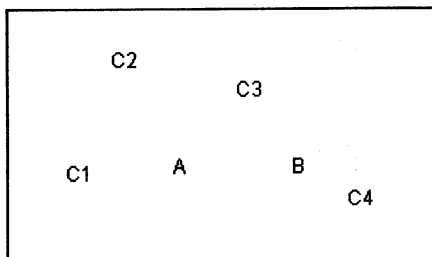


図 15：計算で推定した物体の位置関係

図14に実際の位置関係を示す。図15に位置推定を行った結果を示す。見比べて分かるように、位置は厳密に正しいとはいえないが、位置関係は再現できているのが分かる。

4.まとめ

本研究では、3枚の画像を利用し、そこに映し出された物体の位置関係を再構築する手法を提案した。1つ決めた対象物が全画像で中心に写るように注意し、物

体の指定を正しく行えば位置関係の推定が可能なが分かった。今回の実験では、安定した結果を得るために ϕ に $70 \leq \phi \leq 120$ の範囲で値をとる制限を定めた。今後の課題としては、この ϕ や撮影方法の制限の緩和が挙げられる。また今回は木の様な幅の小さい物体を対象としたが、建物などの大きな物体の位置関係の推定にも対応できることも課題である。

文 献

- [1] 清水彰一, 藤吉弘亘, 長坂保典, 高橋友一, “3台のカメラを用いた擬似ステレオによる3次元位置推定” 人工知能学会第19回 SIG-Challenge 研究会 pp. 6-11, May. 2004.
- [2] S. Shimizu, H. Fujiyoshi, Y. Nagasaka and T. Takahashi, A Pseudo Stereo Vision Method for Unsynchronized Cameras, ACCV2004, Vol.1, pp.575-580, 2004.
- [3] 桑島 茂純, “世界初の PC ベースフルカラーステレオ・ビジョン・システム「COLOR TRICLOPS」,” 映像情報 Industrial, 4月号, pp.17-22, Apr.1999.
- [4] 吉田俊介, 宮崎慎也, 星野俊二, 大関徹, 長谷川純一, 安田孝美, 横井茂樹, “ステレオ視表示における高精度な奥行き距離補正の一手法,” 日本バーチャリアリティ学会論文誌, Vol.5, No.3, pp. 1019-1026, Sep. 2000
- [5] 飯塚健男, 中村恭之, 和田俊和, “ステレオカメラによるリアルタイム3次元位置計測システム,” 画像の認識・理解シンポジウム”, Jul.2004
- [6] Y. Matsumoto, T. Shibata, K. Sakai, M. Inaba, and H. Inoue, “Real-time color stereo vision system for a mobile robot based on field multiplexing,” Proc. of IEEE Int. Conf.on Robotics and Automation, pp. 1934-1939, 1997.
- [7] 北野哲彦, “複数画像を利用した立体形状情報取得技術,” 長野県情報技術試験場研究報告, No.16, Aug.2000
- [8] H.Fujiyoshi, S.Shimizu, Y.Nagasaka, and T.Takahashi, “Fast 3D Position Measurement with Two Unsynchronized Cameras,” Proc. of IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotic and Automation, Jul. 2003.
- [9] <http://cmehappy.fantastic-camera.com/articles/angleofview.html>