

## カメラマンのカメラ操作に基づいたロボットカメラ制御手法の提案 Control method of a robot camera based on a camerawork by professional camera operators

津田 貴生  
Takao Tsuda

奥田 誠  
Makoto Okuda

武藤 一利  
Kazutoshi Mutou

西田 幸博  
Yukihiro Nishida

### 1. まえがき

我々は放送カメラマンの撮影テクニックをロボットカメラの制御に応用し、自然で見やすい映像を撮影できる自動撮影システムを研究している。これまでにパンとズームのカメラ操作 [1]-[3]や移動体の追尾撮影[4]に関してカメラワーク分析を行い、ロボットカメラによる自動追尾撮影システムを構築してきた[5]。このシステムでは、パンニングショットやズームショットを行う場合、取得したカメラワークデータをそのまま利用していた。そのため、従来の三角波制御などの機械的制御に比べて格段に自然な撮影が可能ではあったが、多様な撮影状況に対応できる汎用性を有していなかった。

撮影制御の汎用性を目的としたいいくつかの試みが行われている。大西ら[6]は大画面から映像を切り出すことにより擬似的にカメラ操作を行うデジタルカメラワークにおいて、カメラの動作速度の変化を三角関数で表現している。また横井ら[7]は加速時間と減速時間で制御手法を分け、それぞれに2次多項式を用いている。しかし、これらは文献[1]-[3]で得られたカメラマンのカメラワーク分析の定性的な結果を利用したものであり、実際のカメラ操作に基づく速度変化を用いるものではない。

我々は、今回新たに取得したカメラワークの分析結果に基づき、汎用性のあるカメラワークをロボットカメラで再現する手法を提案する。本手法は、カメラの各軸(パン、チルト、ズーム)の操作を、加速/減速波形の形状を決定する2つの近似多項式と加速から減速に転ずるタイミングを表す変数で表現し、それらを基本モデルとして、時間や移動量に応じて関数を変化させて制御を行う。これにより、撮影の状況に応じたショットの変更が可能になり、多様なショットを作り出すことができる。また、複数軸の操作を組み合わせたショットにおいても、加速から減速に転ずるタイミングを表す変数を変更することにより、カメラマンが行っているような撮影手法を再現することが可能になる。

本稿では、今回新たに取得したカメラマンのカメラワークの解析結果とそれに基づいて提案するカメラワークモデルの生成手法を示す。そして、ロボットカメラに提案手法を実装し、撮影実験により本手法の有効性を示す。

### 2. カメラマンのカメラワーク分析

#### 2.1 実験概要

4人のカメラマンがパンニングおよびズームの操作をして被写体を撮影する実験を行い、カメラ操作に係る速度変化のデータを取得した。使用した機材を図1に示す。図1(a)の操作機により、図1(b)のロボットカメラ[5]を遠隔操作した。撮影には様々な条件設定が可能のため、“教科

書的なショット”を意識して撮影するよう依頼した。

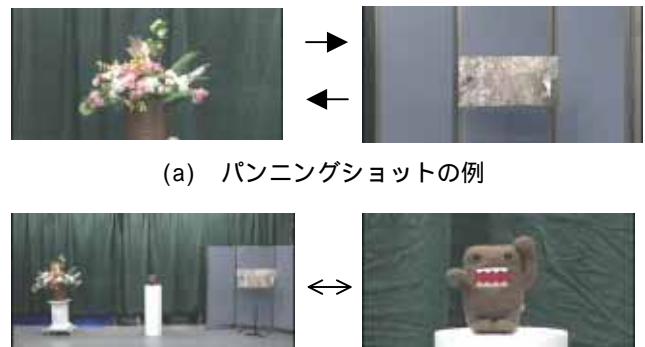
パンニングの実験では、カメラから4m離れた位置に2つの被写体(パネルと花瓶)を左右に4m離して設置し、それらを端点として約50°のパンニングショットを行った(図2(a))。各カメラマンは4回の操作を行ったが、最初の2回はカメラマンが操作時間を決定し、残りの2回はそれよりもやや速く操作を行ってもらった。

ズームの実験では、カメラから4m離れた正面に人形を設置し、焦点距離8mmと120mmの間を変化させるズームインとズームアウトを行った(図2(b))。各カメラマンはそれぞれ3回の操作を行い、3回中1回をゆっくりした操作を行ってもらった。



(a) (b)

図1 ロボットカメラと操作機



(a) パンニングショットの例

(b) ズームショットの例

図2 カメラマンによる撮影例

#### 2.2 実験結果

図3に4人のカメラマン(C1~C4)のパンニングショットの速度変化のグラフを示す。4回の試行中、ショット時間として最も頻度が多かった2秒から3秒までの試行を選択し、時間軸は正規化して示している。

ショットの開始時と終了時の速度変化は小さい傾向にあり、見やすい映像を心がけていることを確認できた。また、カメラマンによって、速度が最大になる時間が異なることが分かる。

映像で比較すると、ショットの開始/終了時に注目すれば、違いが分かる程度の差であった。

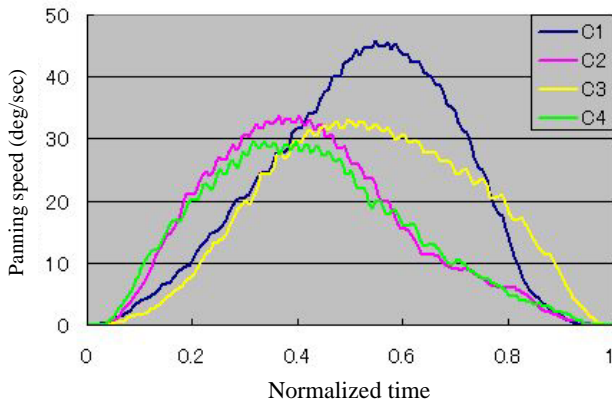
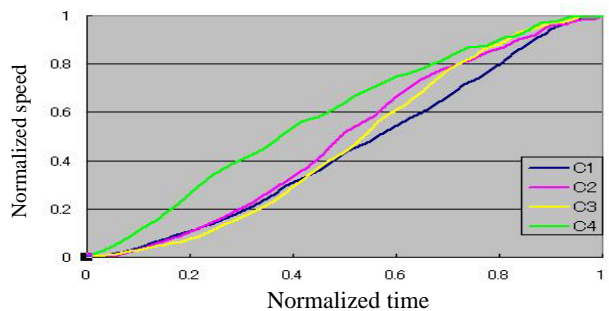
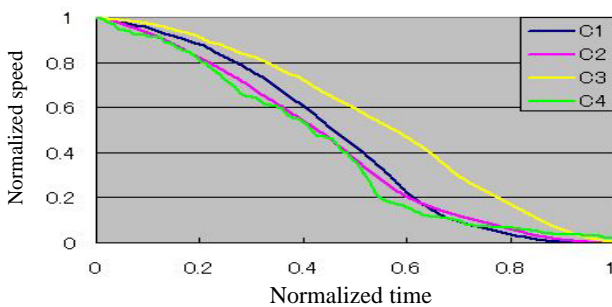


図3 パンニングショットの速度曲線

波形をさらに比較するために、加速部分と減速部分に分け、最大速度で正規化して比較した(図4)。



(a) 正規化された加速波形

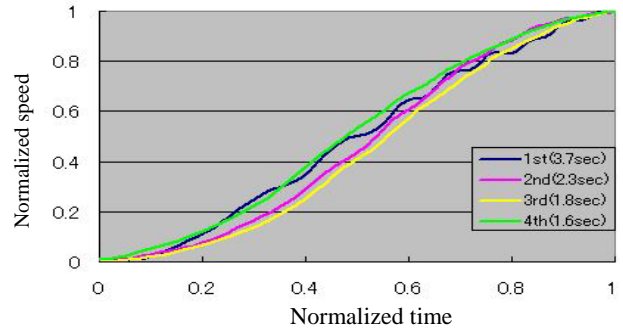


(b) 正規化された減速波形

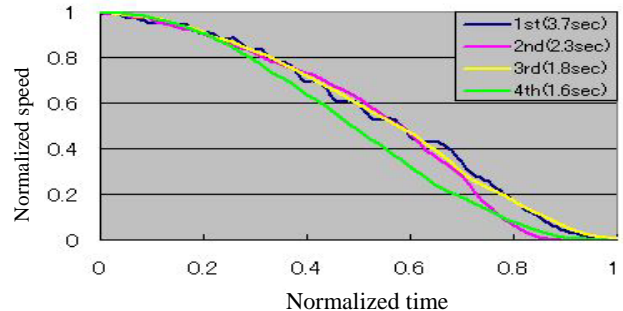
図4 正規化された加速/減速波形の比較

カメラマン同士を比較すると、加速波形では2人、減速波形では3人の類似性が特に高いことが分かる。ただし、加速波形と減速波形では類似性を示すカメラマンは異なっている。今後、より多くのカメラマンのデータを分析して、カメラマン間の相違について検証していく。

次に、同じカメラマン(C3)が4回繰り返し撮影したときの加速波形、減速波形を比較した(図5)。



(a) 加速波形



(b) 減速波形

図5 同一カメラマンの繰り返し操作の比較  
(カメラマン C3, カッコ内はショット時間)

パンニングの試行毎に若干の波形の違いは見られるが、変曲点や波形の凹凸に大きな違いはないことが分かる。他の3人のデータも同様な傾向があることを確認した。

ズームングの実験においても、上記の結果とほぼ同じ傾向を示すことが今回の分析で分かった。今後データを増やすことにより、詳細について確認していく。

### 3. ロボットカメラのカメラワーク制御

#### 3.1 概要

カメラマンの実際の操作データの分析結果に基づいたカメラワークモデルを、ロボットカメラの制御に適用する手法を述べる。実際の撮影ではショット時間や移動量が様々であるため、正規化した加速/減速波形を近似関数の形で保有し、これを基に時間や移動量に応じて変形することにより、ショットを自由に変更できる手法を提案する。以下に、カメラワークの近似関数(基本モデル)の生成方法とそれを用いたロボットカメラの駆動方法を示す。

#### 3.2 基本モデルの生成方法

図6に模式的にモデル生成方法を示す。各軸のカメラワーク波形を加速波形と減速波形に分け、それぞれに対し、時間と速度の正規化を行う。この正規化カメラワーク波形を連続関数で近似する。加速と減速の総時間に対する加速時間の割合を、加速から減速への切り替え点とする。これら2つの関数と1つの変数を1つの軸に対する基本操作とし、パン、ズームイン、ズームアウトの近似関数のセットをカメラマンの基本モデルとする。チルト軸は文献[1]の結果からパン軸と同一のモデルとする。今回、近似のための連続関数は、相関係数とロボットカメラの制御装置の処理量を勘案し、6次の多項式を用いた。

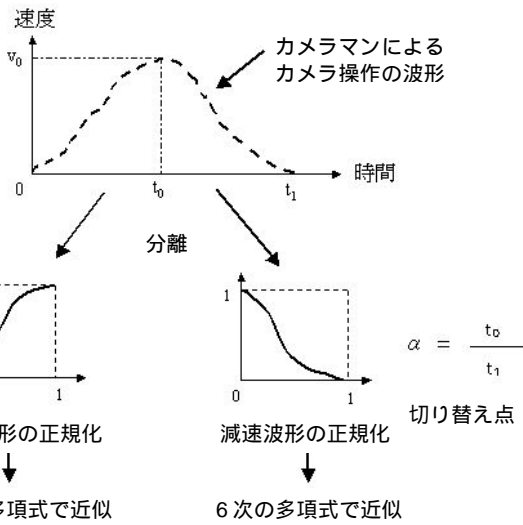


図6 カメラ操作の基本モデルの生成方法

### 3.2 基本モデルを用いたロボットカメラ駆動方法

基本モデルを用いて、 $t_1$ 秒で角度  $P_1 \sim P_2$  までパンニングする際の駆動制御を述べる。加速波形の近似式を  $F(x)$ 、減速波形の近似式を  $F(x)$ 、切り替え点を  $t_0$  とする。実際の駆動波形を生成するためには、移動量に応じた最高速度の設定とショット時間に合わせた関数の変形が必要である。移動量は、速度-時間のグラフにおいては面積として表される。加速/減速波形は連続関数であり積分可能であるが、モータの駆動には離散的に指示値を与える必要があるため、移動量(面積)の計算は、数列の和として表す。1秒間にモータを制御する回数を  $C$  とすると、正規化された加速/減速関数で  $t_1$ 秒間制御した時の移動量  $S$  は、切り替え点における時間が  $t_0 = t_1 \times \alpha$  となるので、以下の式となる。

$$S = \sum_{n=0}^{t_0 \times C} \frac{1}{C} \times F_{\uparrow} \left( \frac{n}{t_0 \times C} \right) + \sum_{n=0}^{(t_1 - t_0) \times C} \frac{1}{C} \times F_{\downarrow} \left( \frac{n}{(t_1 - t_0) \times C} \right) \quad (1)$$

$F(x)$  と  $F(x)$  は最高速度を 1 とする正規化された関数なので、角度  $P_1$  から  $P_2$  にパンニングするための最高速度  $V_{max}$  は以下の式で計算できる。

$$V_{max} = \frac{P_2 - P_1}{S} \quad (2)$$

これから、時間  $t$  におけるモータの指令値  $q(t)$  は以下のように算出される。

$$q(t) = \begin{cases} V_{max} \cdot F_{\uparrow} \left( \frac{t}{t_0} \right) & 0 < t < t_0 \\ V_{max} \cdot F_{\downarrow} \left( \frac{t - t_0}{t_1 - t_0} \right) & t_0 < t < t_1 \end{cases} \quad (3)$$

これにより、操作時間や移動量を任意に設定することができる。しかし、今回の場合、モータの制御周波数  $C$  が  $180(1/sec)$  であるため、近似関数によっては式(1)の逐次加算の計算が CPU の処理に大きく影響する。そのため、

近似関数が多項式であることを利用して、数列の和の公式を用いて計算することにより処理量を軽減した。

### 3.3 撮影実験と評価

本アルゴリズムの基本性能を評価するため、1人のカメラマン(C3)の基本モデルを用いてカメラワーク取得時と同じカメラの動きを再現した。基本モデルの生成には、約2秒のパンニングショット時のデータを用い、4秒間のパンニングショットをロボットカメラで再現した。なお図3より切り替え点は0.45とした。

図7に同じカメラマンが4秒間のパンニングを行った時の取得データとロボットカメラによる再現データの比較を示す。実際のカメラマンの操作波形と似た波形となっており、本アルゴリズムが有効に機能していると考えられる。

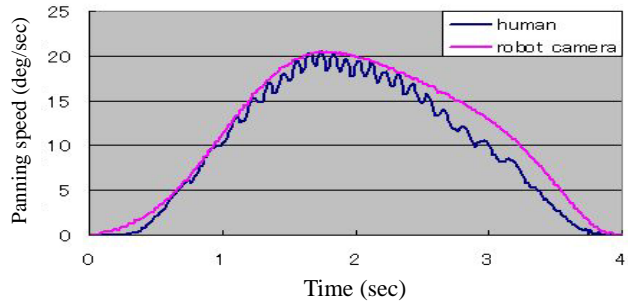


図7 カメラ操作波形の比較

次に2, 4, 6秒間で45度のパンニングと2秒間で20度のパンニングをロボットカメラで行った場合の速度変化を図8に示す。このように基本モデルの変形によって様々なショットが作り出せることを確認した。

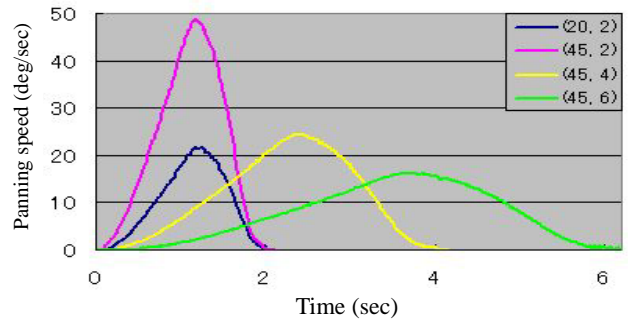


図8 ロボットカメラによるカメラワークの再現 (カッコ内は、パンニング角度とショット時間)

## 4. 実際のショットへの応用

通常のテレビ番組制作で行われるショットは、単純なパンニングやズームだけでなく、これらの操作軸の組み合わせにより撮影が行われている。今回、本手法を用いて実際のカメラワークに類似した撮影を試みた。直立している人物の全体像からアップショットまで10秒間でズームインを行うカメラワークとした。このカメラワークでは、ズーム軸とチルト軸を同時に操作する必要がある。カメラマンが行う際には、カメラの操作中どこでカメラの動きを止めても映像の構図が乱れないように、撮影画面の被写体の頭上のスペース(ヘッドスペース)に気を配りながら撮影している。

ズーム軸とチルト軸の2軸を同時に制御する場合、それぞれの加速/減速の切り替え点  $z_1, \theta_1$  を1軸操作の場合と同じ値とすることが最適とは限らない。1軸操作の場合と同じ切り替え点を用いて2軸同時に駆動させて撮影したシーンにおいて、頭頂部が画面から外れる時があることがわかった(図9)。そこで、チルト軸の切り替え点をヘッドスペースを考慮して0.45から0.485に変更した(図10)。ズーム操作の波形を図11に、変更後の撮影シーンを図12に示す。若干のヘッドスペースの大小はあるが、どのフレームも構図が乱れることなく、撮影することができた。このように、カメラワークの基本モデルを利用することにより、複数軸のカメラ操作にも拡張できることを確認した。今後、多様なショットへの応用とパラメータの自動決定アルゴリズムを開発する予定である。



図9 チルト軸の切り替え点を変更しない場合の撮影例

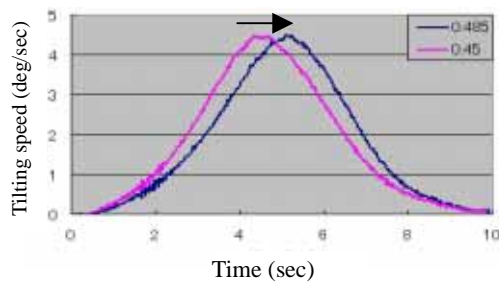


図10 チルト軸の切り替え点変更による波形の変形(凡例は切り替え点)

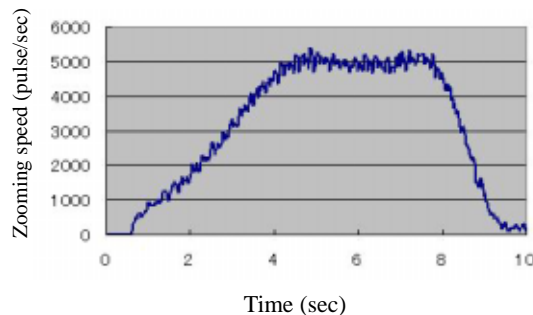


図11 ズーム軸の操作波形

## 6. まとめ

汎用性のあるカメラワークモデル作成のため、1軸の操作に対して2つの関数と1つの変数でカメラワークを定義する手法を提案した。そして、提案手法をロボットカメラに実装し、基本性能の評価とカメラマンの撮影手法を模した複数軸を扱うカメラワークへ応用できることを示した。本手法は、ショット時間や移動距離などを自在に変更でき、カメラマンのカメラ操作に基づいた速度変化の波形を用い

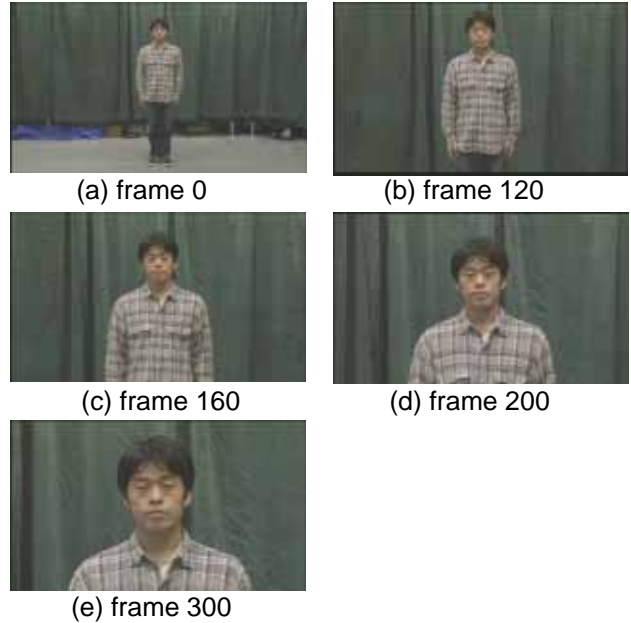


図12 切り替え点変更後のロボットカメラによる撮影

ているため、汎用性と実用性の両方を備えたロボットカメラの制御手法である。また取得した操作データを近似式で置き換えることにより、使用メモリも少なく、実装が容易であるという特長もある。

今後、カメラマンが行う多様なショットを分類し、ショットの種類毎のパラメータの決定方法を検討する。さらに、移動する被写体の撮影に適用できるカメラワーク制御手法についても検討を行っていく。

## 参考文献

- [1] 加藤大一郎, 山田光穂, 阿部一雄, "スタジオ番組におけるカメラワークとカメラマン視線の分析", テレビジョン学会誌, Vol. 49, No. 8, pp1023-1031, 1995.
- [2] 加藤大一郎, 山田光穂, 阿部一雄, 石川秋男, 尾幡昌芳, "被写体を追尾撮影時の放送カメラマンのカメラワーク特性分析", テレビジョン学会誌, Vol. 50, No. 12, pp1941-1948, 1996.
- [3] 石川秋男, 加藤大一郎, 津田貴生, 福島宏, 下田茂, 山田光穂, 阿部一雄, "放送カメラマンのズーム計測法の検討と静止している被写体を撮影するときのズーム特性分析", 映像情報メディア学会誌, Vol. 53, No. 5, pp749-757, 1999.
- [4] 加藤大一郎, 石川秋男, 津田貴生, 福島宏, 山田光穂, "カメラワーク分析と映像の主観評価実験", 映像情報メディア学会誌, Vol. 53, No. 9, pp1315-1324, 1999.
- [5] 津田貴生, 吉村信一, "分散協調型被写体検出システムの検討 安定照明下での複数人検出 -", 信学技報, PRMU2003-212, 2004.
- [6] 大西正輝, 泉正夫, 福永邦雄, "デジタルカメラワークを用いた自動映像生成", MIRU2000, pp.I-331-I-336, Jul.2000.
- [7] 横井隆雄, 藤吉弘宣, "高解像度映像からの自動講義ビデオ生成 - 仮想カメラワークの実現 -", 第11回画像センシングシンポジウム Jun, 2005.