

氏 名	XIN WEI
博士の専攻分野の名称	博士（工学）
学位記号番号	博理工乙第170号
学位授与年月日	平成20年3月24日
学位授与の条件	学位規則第4条第2項該当
学位論文題目	Keyframe Extraction Method for Making Animation using Motion Capture Data (アニメーション制作のためのモーションキャプチャデータのキーフレーム抽出手法)
論文審査委員	委員長 教授 島村 徹也 委員 教授 久野 義徳 委員 准教授 川崎 洋 委員 教授 大澤 裕 委員 教授 近藤 邦雄 (東京工科大学)

論文の内容の要旨

Being inherited from traditional hand-drawn technique, keyframing is successfully applied to produce computer animation. Until now it is still a widespread technique as it offers the animators great control over the results. However, keyframing, together with procedure animation, consume large amount of time for making animation. Besides, even for skilled animator, it is a difficult task to achieve natural character movement. For these reasons, people found a brand new tool to animate human character – motion capture.

Since motion capture is introduced into the field of animation, there has been a growing interest for it. The efficiency of making an animation, especially character animation, is greatly improved. Nature human movements with subtle details can be achieved in a very short period of time.

However, motion capture is not perfect and still needs improvements. Due to the limitation of the equipment and deficiency originated from its characteristics, until now, its main application is still limited to video games. Lacks of control and not reusable are two fatal shortcomings that prevent it from being widely used in more applications.

In order to overcome motion capture's shortcomings and take advantage of it in more applications, many techniques are developed to synthesize, reuse or edit motion capture data.

Among these techniques, there are physics-based approaches to force the character to follow certain physical laws to improve animations' realism. There are researches that process motion capture data in frequency domain to express motions in different styles. There are methods that synthesis new motion or edit existing ones using kinematics or dynamics constraints. And there are people take advantage of keyframes to process motion capture data.

The idea of the keyframe-based approach is to extract keyframes from a motion capture data, no matter for the whole motion or for each dimension. Since the keyframes define the most important part of a motion and it gives more control over the motion, the captured motion can be synthesized or edited based on extracted keyframes. This is a simple but efficient way to synthesize or to edit motion capture data. A key point for this method is the quality of extracted keyframes. Too many keyframes or not enough keyframes will result in a very low quality performance. The

keyframes should be just enough to define the whole movement and at the same time have a minimum of redundancy.

Curve simplification is one early algorithm used to extract keyframes from motion capture data. It removes less important points for each dimension until a threshold is reached. After simplification, the size of motion capture data can be reduced and the controlling of each joint becomes much easier. The problems of this type method are: the efficiency is low and it is difficult to extract keyframes for the whole motion.

Recently, a popular way is to select keyframes in a low-dimensional motion data. It means the keyframes are selected from only a part of all joint curves. If the low-dimensional data can represent well the original data, a keyframe sequence can be extracted for the whole motion.

In many researches, Principal Component Analysis (PCA) is employed to reduce the dimension of motion capture data. PCA is a popular technique used to reduce multidimensional data sets to lower dimensions for analysis. It is widely used in analyzing time series and image compression. For many motion capture data, PCA can pick up the most important features efficiently. But for some data, it failed to detect some basic patterns that define the motion. The reason is that motion data is different from common time series or signals. It has its specific characteristics. If we ignore these characteristics and treat it as common time series or signals, we may omit some important features in the motion.

In this thesis we propose method for extracting keyframes based on motion capture data's specific characteristics. Motion capture data is a high dimensional data consists of tens to more than one hundred joint curves. But there is significant correlation in the data. Besides, different joints have different visual importance to the motion. By exploring motion data's correlation and each joint's importance, we select several representative curves to extract keyframes.

The first approach we proposed calculates the cross correlation coefficients matrix for a motion matrix to compare each pair of joint curves. Based on the correlation coefficients, several least correlated curves are selected for keyframe extraction. The experiment results show that keyframes extracted using this method cover almost all of the important movement of the motion. The limitation of this method is that it is influenced by subtle details in the motion. When motion data contains large amount of noises or too much subtle details, sometimes cross correlation coefficient can not reflect joint curves' correlation efficiently.

For this reason, we proposed a curve re-representation algorithm to analyze motion data's correlation. In this method we use discrete wavelet transform to approximate each joint curve, therefore it gives us great flexibility to compare joint curves at different scales. We give examples to demonstrate that this method can extract keyframe very efficiently and generate only a small amount of redundancy.

To improve the performance of the keyframe extraction approaches, we apply a wavelet noise filter to smooth the joint curves of motion capture data. When the motion data is de-noised, the redundant keyframes can be reduced greatly.

Moreover, we proposed a simple but very efficient method to extract keyframe for gait motion. With this method, the keyframes of gait motion can be extracted precisely and generate only the minimum redundancy.

This document is arranged as follows:

In Chapter 1, the motivation of the research and thesis arrangement is introduced.

In Chapter 2, we present the background and related works. Firstly some background information about motion capture and keyframe are introduced. After that we list several major applications of keyframe extraction technique. Then we list two types of dominating methods. In the end we explain our method's advantages over the related works.

In Chapter 3, a cross-correlation-based keyframe extraction method is proposed. The idea and procedure of analyzing the correlation for a motion matrix are presented. We analyze the characteristics of motion capture data and give solution to fit these characteristics.

In Chapter 4, we propose a curve re-representation-based keyframe extraction method. A flexible and more efficient algorithm is used to analyze motion data's correlation.

In Chapter 5, a simple but very efficient method is proposed to extract keyframes for gait motions.

In Chapter 6, we evaluate proposed methods and make a comparison with other methods. Then several applications are illustrated using the keyframes selected with our methods.

Finally, Chapter 7 is the conclusions and future works.

論文の審査結果の要旨

アニメーション制作は手作業からコンピュータシステムの利用に変化してきた。特に熟練アニメータの知識を活用したキーフレームを用いた制作手法が広く利用されてきた。しかしキーフレームを指定する時間やそれを元に編集する時間がかかり、製作工程全体の効率化が望まれてきた。1990年代になって、モーションキャプチャシステムの動作計測結果を用いた3次元キャラクターのモーション生成など多くの手法が開発されてきた。モーションキャプチャは、人の動きを忠実に動作データとして扱うことができるために、コンピュータアニメーション分野だけでなく、格闘ゲームをはじめとして多くのインタラクティブコンテンツに活用されている。

しかし、日本で広く公開されているアニメーションは、モーションキャプチャで計測した動作データをそのまま利用しても、アニメータの意図した動きを表現することができないという課題があった。そのためにモーションキャプチャによって得た動作データから、熟練アニメータがアニメーションを制作するために適したキーフレームを取り出して、それをもとにアニメーションを制作するということが行われてきた。このような課題に対して、計測した動作データの特徴的なフレームを取り出す手法や動作曲線の最大値最小値を利用する手法が提案されている。しかしこれらの手法はアニメータが望むキーフレームを抽出するためには実用的ではないという課題があった。

本研究は、モーションキャプチャデータを利用したアニメーション制作におけるキーフレーム抽出法を提案することを目的とする。特にアニメータがモーションキャプチャデータから抽出するキーフレームと同等のフレームを抽出することを目標としている。これによって、モーションキャプチャデータの動作データを利用したアニメーション制作の効率化、高品質化を目指す。

本研究では、アニメーションにおける良い動きを生成するためのキーフレームをモーションキャプチャデータから抽出する手法を提案する。本手法は、モーションデータの誇張だけでなく、モーションデータのデータ削減、モーション合成にも用いることができるという特徴を持つ。

本論文の構成は以下のとおりである。

第1章では、コンピュータアニメーション制作におけるモーションキャプチャの利用における課題を示し、本研究で解決する課題を明確にした。そして、本研究の目的と提案手法の概要について示している。

第2章では、本研究の背景と、関連する研究について述べ、そして、モーションキャプチャシステムを用いて計測し取得できる動作データの特徴を示している。また、本研究で扱うアニメーションのためのキーフレームの定義を説明している。さらにこれらの従来手法の特徴と課題について詳細に述べ、本研究の必要性と提案手法の有用性を示している。

第3章では、人体計測部位の多数のモーションカーブの相関関係を分析し、類似したモーションカーブの抽出を行う Cross Correlation 手法を提案している。そして、本手法を用いれば、多数の動作計測カーブから、共通性が高く類似性の強い動きの部位を抽出することができる。この共通性の高い動作計測カーブの最大値

と最小値を選択することによって、キーフレームを決定する。この共通性を分析するために、動作計測カーブのノイズ除去の手法も提案している。これによって、モーションキャプチャデータの揺らぎを軽減し、アニメータが利用したい曲線の特徴を抽出できることを示した。

第4章では、第3章で提案した手法を拡張して、Wavelet を利用した類似性の強い計測動作データの抽出手法を提案している。本手法ではすべての動作計測データに対して Harr Wavelet 手法を適用してそれぞれのデータの特徴を分析している。そして、それらの特徴の類似している曲線を求める。そして、類似した曲線の最大最小値のフレームをキーフレームとしている。本手法を用いた実験例では、計測動作データが504フレームであり、それから抽出したキーフレームは32であった。これらのキーフレームをもとにアニメーションの生成を行った結果、元の動作の特徴を失うことなく再現できていること述べている。これらの実験によって、本提案手法の有効性を示している。

第5章では、アニメーションで多用される歩きに関連する Gait Motion のキーフレーム抽出手法を提案している。本章では歩く動作の特徴は、腰の上下運動であることを示している。きわめて単純であり、キーフレーム抽出のひとつの手法として活用できる。

第6章では、既存手法である PCA (Principal Component Analysis) と第3章で提案した Cross Correlation (CC) 手法、第4章で提案した Discrete Wavelet Transform (DWT) 手法、さらには、プロフェッショナルなアニメータ2名によるキーフレーム抽出結果の比較を行っている。この結果、アニメータが選択したフレームに対して既存手法、CC、DWT を比較すると、DWT はアニメータが選択しているフレームを抽出している割合が一番高く、余分に選択しているフレームも少ないことを明らかにした。さらに、アニメータが選択しているフレームを、抽出できない割合も DWT が一番低いことが示されている。

さらに、本抽出手法の応用例として、2次元アニメーションへの適用、モーション編集の一例として誇張への適用例を示している。このような編集はモーションキャプチャデータに対して直接行うことは困難である。このことによって、本提案手法の有用性を示している。

第7章では、本論文で提案した手法の特徴と有用性と今後の課題について述べている。

以上のことから、情報工学分野、ならびにメディアコンテンツ工学分野における学術的新規性、アニメーション制作における実用面の有用性は高く評価できる。博士学位論文として十分な内容と判定した。