

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 31 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24300039

研究課題名(和文) 時系列データ単語近似法の研究とそのスポーツ健康科学応用の創成

研究課題名(英文) Research on Time-series Approximation and Creation of its Applications in Sports and Health Areas

研究代表者

川越 恭二 (Kawagoe, Kyoji)

立命館大学・情報理工学部・教授

研究者番号：40298724

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、離散多次元時系列データの類似検索精度の飛躍的向上と、スポーツ健康科学分野での多次元時系列データ検索による新たな応用を創成することを目的として、高精度でかつ高効率な多次元時系列データ類似検索方法の考案と、スポーツ競技の指導者から選手への円滑な指導が可能なエージェントによる新たな応用開拓を行った。本研究により、選手の動きや軌跡を表現する多次元時系列データを基本に、複数の競技者に適切なタイミングでの確かなプレイに関するアドバイスを可能とするシステム構成法が明らかとなった。アメリカンフットボールおよび社交ダンスを対象とするプロトタイプ群を開発した。

研究成果の概要(英文)：This research aims at the improvement of the accuracy for similarity-searching of discrete multi-dimensional time series data and the development of their new applications in sports and health science areas. In this research, we proposed new methods of approximation and similarity-search for multi-dimensional time series data in an efficient and accurate way. In addition, we explored a new sport related research area by incorporating embodied virtual agent technology and constructed the guide agent who supports players by giving proper and timely advices. As the results of this research, we developed system architecture for realizing guide agents in sports with the use of multi-dimensional time series data representing the trajectories of the movements of players. We also developed its prototype systems in the sport areas of American football and ballroom dance.

研究分野：マルチメディア情報検索

キーワード：時系列データ 情報検索 類似検索 スポーツ応用 エージェント データベース

1. 研究開始当初の背景

(1). 複数選手からなるスポーツ競技での練習等で、的確な指導をするための選手の動きや軌跡に基づく客観的情報と分析方法が開発されていない。また、一人の指導者が多数の選手を指導するため、個々の選手への適切なタイミングでの的確な指示を行うことは難しい状況にある。この背景から、本研究では、動きや軌跡等の複数の時系列データに基づくプレイの類似検索による戦略立案を支援するとともに、エージェントが指導者の立場で選手のプレイを適切なタイミングでアドバイスを行う。

(2). 時系列データ間距離計算に使用されるユークリッド距離の計算では時間軸での時刻ごとの計算を必要とする。計算量削減のために様々な次元圧縮可能な近似手法が提案されている。代表的近似手法には、離散フーリエ変換を用いた DFT, 離散ウェーブレット変換を用いた DWT, 複数の区分的定数近似による APCA, 値から記号を割当てて記号集約近似法 SAX 等がある。また、時間軸の圧縮伸長を用いて類似した対応点を求める動的時間 (DTW) 距離も多用される。しかし、時系列データ間距離定義は、人間の知覚による類似性を定義する必要がありドメインに依存する。このため、類似検索精度が向上しないという問題があった。

(3) モーションキャプチャを利用したスポーツの教示システムは早くから研究されてきているが、その多くは単純に動きを見せるためだけのものである。キャラクターが指導者となり対話的教示を行なう具体的なものは存在しなかった。訓練者への対話的教示が行えないシステムでは、システム使用方法が自明でないことからユーザの使用法習得に負担がかかる問題があった。訓練者の動作を解析しわかりやすく学習できる教示モデル及び情報提示手法が求められる。

2. 研究の目的

(1). 本研究は、離散多次元時系列データの類似検索精度の飛躍的向上と、スポーツ健康科学分野への多次元時系列データ検索の新たな応用を創成することを目的とする。この研究目的を実現するために、以下の二つの研究項目を設定する。一つ目の研究は、多次元時系列データ類似検索研究である。二つ目の研究は、スポーツ健康応用研究である。

(2) 多次元時系列データ類似検索の研究の目的は、従来の時系列データ類似検索のためのデータ近似手法の持つ問題点である、高次元での精度と効率の低下を解決するために、新たに単語列による時系列データ近似を行う方法を開発する。これにより、高次の時系列データとして表現でき、スポーツ分野での様々なプレイ(動きや軌跡)を効率的に分類

することや類似検索を可能とする。

(3) スポーツ分野で、情報提示手法として会話エージェントを用いることで、指導者がいなくともスポーツ訓練者が指導を受けられることができるシステムの構成をプロトタイプ開発により明らかにする。これにより新たな応用開拓を目指す。

3. 研究の方法

(1). 上述のように、本研究は、時系列データ類似検索研究とスポーツ健康応用研究の2つの研究項目で行う。まず、時系列データ類似検索研究に関しては、時系列データ近似法の精度と効率向上を行う。このため、これまでに開発した時系列データ単語近似法を発展させ、高次元データでも高い精度と効率を実現できる近似方法を開発する。次に、スポーツ健康応用研究については、スポーツ競技での指導者と選手間でのプレイに関する指示を的確に行うことが可能なエージェントプロトタイプを実現する。これにより、多数の指導者が存在しなくてもエージェントにより選手への自然な指示が可能となる。

(2). 時系列データ近似法は、時系列データの特徴づける時刻とその時刻での特徴ベクトル(単語)の決定が重要である。本研究では TAX と呼ぶ(1~2次元)時系列データ近似法を開発した。さらに、スポーツ健康分野への適用を図るために、TAX の基本的考え方をベースに、(10~100次元)の時系列データを近似する方法として A-LTK を開発した。そして、A-LTK の精度と効率を改良した A-LTK_{2.0}, A-ITK, A-LTK2.0 を開発した。これらの技術を用いて、アメリカンフットボール向けのプレイ分類・類似検索システムを試作した。さらに、次元の一つとなる事象の自動検出をリアルタイムに行うことができる方法を開発した。

(3). スポーツの一つである社交ダンスを対象に、指導者の代替となる会話エージェントを構築するために、まず、実際のダンス指導者によるダンス指導方法や、訓練者への教示の流れから、指導者の教示(発話・行動)モデルを構築した。このとき、指導者の指導方法の正確さと信憑性を確保するため、プロのダンス教師の協力を得て、指導者と訓練者との間での教示実験を行った。次に、教示実験で得たデータから、指導者・訓練者毎の発話・行動の分類と、分類項目の関連性と重要性とから教示モデルを構築した。最後に、この教示モデルを用いたプロトタイプを構築した。

4. 研究成果

本研究を通じて得た代表的研究成果として、時系列データ近似手法 I-TAX と A-LTK, アメリカンフットボールおよび社交ダンスでのス

スポーツ競技者支援システムと、研究課題を実現するために重要な事象自動検出手法と会話介入場面検出方法に関して、各々の詳細を以下に論じる。

(1). 離散的多次元時系列データの検索および分類のための新たな方法として、既提案のTAX(Time Series Textual Approximation)を拡張したI-TAX (Lcs-based Time Series Textual Approximation)を提案した。I-TAXは、TAXで採用したBoW (Bag of Words)アプローチの問題点である順序性無視という点を解決するために、単語順序列を時系列データの近似表現とするアプローチである点に特徴がある。今、2つの時系列データ $T=\{t_k\}$ と $S=\{s_k\}$ が与えられたとき、これらの2つのデータ間の距離は、各々の近似単語列 $U=\{u_k\}$ と $V=\{v_k\}$ に変換した後、2つの近似単語列間の最長共通部分単語列長LCSを下記式で計算する。

$$\begin{aligned} \text{LCS}[i, j] &= 0 && \text{--- if } i=0 \text{ or } j=0 \\ &= \text{LCS}[i-1, j-1]+1 && \text{--- if } u_i = v_j \\ &= \max(\text{LCS}[i-1, j], \text{LCS}[i, j-1]) && \text{--- if } u_i \neq v_j \end{aligned}$$

なお、時系列データの近似単語列は、時系列データのすべての時刻を使用せず、ある条件を満たす時刻(キーポイント)での時系列データの近似単語から構成される。また、単語はキーポイント付近の時系列データの値の集合を集約した特徴ベクトルに対応した単語である。このように、I-TAXは、時系列データの長さを短縮するとともに、ベクトル次元数を減らした近似単語列で距離計算を行う方法である。UCRより提供されている時系列データセットを用いて、ユークリッド距離、DTW, ODTW, OTWED, TAXと本I-TAXとの精度比較を行った。その結果を表1に示す。表1に示すように、提案したI-TAXが最も高い平均精度と最も小さな標準偏差の結果となった。

表1 I-TAX 精度比較結果

	平均精度	標準偏差
ユークリッド 距離	76.63	13.41
DTW	81.56	14.55
ODTW	83.28	13.63
OTWED	85.56	13.86
TAX	79.07	14.68
I-TAX	85.78	12.50

さらに、提案したI-TAXを多次元時系列データに適用した拡張方法を提案するとともに提案方法の軌跡データへの適用を行った。

(2). 離散的多次元時系列データの検索と分類のための近似表現として、100程度より高次元での高い精度と短い処理時間を得るために、新たな近似表現A-LTKを提案した。A-LTKはI-TAXと同様の考え方を踏襲しているが、高次元の時系列データに対応させるために、特徴ベクトルの構築方法とデータ間類似度計算方法の改良を行った。前者について

は、キーポイント付近の原データ、差分データ、その結合の3種類とし、後者については、下記の計算式への変更を行った(A-LTK)。

$$\begin{aligned} \text{SIM}_{A-LTK-\alpha}(AS_1, AS_2) &= \infty, \text{ if } N=0 \text{ and } M=0 \\ \text{SIM}_{A-LTK-\alpha}(AS_1, AS_2) &= 0, \text{ if } N=0 \text{ or } M=0 \\ \text{SIM}_{A-LTK-\alpha}(AS_1, AS_2) &= \\ &(\text{COS}(\text{Head}(AS_1), \text{Head}(AS_2))) + \\ &\max(\text{SIM}_{A-LTK-\alpha}(AS_1, \text{Rest}(AS_2)), \\ &\text{SIM}_{A-LTK-\alpha}(\text{Rest}(AS_1), AS_2), \\ &\text{SIM}_{A-LTK-\alpha}(\text{Rest}(AS_1), \text{Rest}(AS_2))) / (M+N) \end{aligned}$$

また、上記COS関数をユークリッド関数に変更すること(A-LTK)、キーポイント数の制御による荒い近似と精緻な近似での2段階での探索を行う(A-LTK2.0)ことで、処理時間の更なる改善を達成した。図1と表2にA-LTKの精度と処理時間の比較結果を示す。

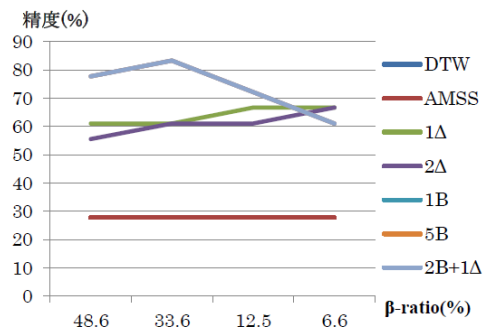


図1 A-LTK 精度

表2 A-LTK 処理時間

	β-ratio (%)				
	48.6	33.6	25.7	22.5	12.5
DTW	12500				
1B	2949	1444	660	535	214

さらに、A-LTKを社交ダンスデータに適用することで、既存方法より同程度以上の精度と短い処理時間での分類が可能となった。



図2 システム画面列(左:入力画面,右:出力画面)

(3). アメリカンフットボール対象としてコーチと選手による戦略分析のためのスポーツプレイ検索システムを試作した。このシステムでは、各プレイでの選手の動きを多次元時系列データとして表現し、スポーツプレイ向けの時系列間類似度を定義することで、類似プレイの抽出と分類を可能とした。相手チ

ームや自チームの実際のプレイの中から、条件を満たすプレイを自動的にグループ化し、同一グループのプレイの映像と選手の動きを瞬時に可視化して示すことができる。図2に本システムの画面例を示す。本システムをアメリカンフットボール経験者4名に利用してもらった結果、すべての経験者が本システムを使用したいと回答し、本システムが有効であることがうかがえた。

(4). 社交ダンス教示システムを試作した。スポーツ技能の習得において指導者の重要性は高く、また、ダンスやフィギュアスケート、体操などの表現型のスポーツは客観的な身体動作への評価が重要である。このため、十分な技能知識をもつ指導者から学ぶことが多い。本研究では、自然言語を使った説明ができ、コンピューターグラフィックスによって複雑な身体動作がスムーズに再現できる擬人化会話エージェントを用いて、仮想社交ダンスインストラクターを試作した。このため、まず、モーションキャプチャによる社交ダンスの動作情報の解析を行い、解析結果を分かりやすくユーザにフィードバックするために、3D CGによる会話エージェントを用いた。動作解析には時系列近似表現 AMSS を基本に、指導者によるダンス軌跡との相関値を用いた。会話エージェント実現のために、熟練した社交ダンスの教示風景を撮影し、訓練者とのインタラクションの中で現れた発話・行動に対する分析を行った結果、指導者主導に訓練者の身体動作に対して細分化された教示が見られた。このことから、指導者の各発話を分類し、それらを各教示の状態に割り当てた。この状態遷移教示モデルに基づき、仮想ダンスインストラクターのプロトタイプを構築した。プロトタイプとエージェント無しのコアのみでの自己学習システムとの比較実験を行った。その結果、システムのインタラクション性など主観評価ではポジティブな結果が得られた。

(5). 事象検出

本研究では離散的多次元時系列データによるスポーツプレイを表現し検索や分類を行う。しかし、事象を多次元の要素に組み入れた際、プレイ内での重要な事象を自動的に検出できなければ、最終的に的確な指導ができない。時系列データの近似手法ではキーポイントと呼ぶ特徴的時刻を抽出したが、意味的に正確な事象抽出は実現できていない。また、時々刻々変化する状況下で自動的に発生事象を検出することは膨大な処理時間を必要とするため現時点では現実的ではない。そこで、発生事象を自動的に検出するための事象検出方法を考案した。本方法の考え方は、発生事象の付近の関与者(選手や観戦者等)の視線を集約することで発生事象の場所と時刻を検出する。場所と時刻が検出できれば、その範囲内の選手の動きや相互作用により

事象の意味を得ることができると考える。図3にこの考え方を示す。

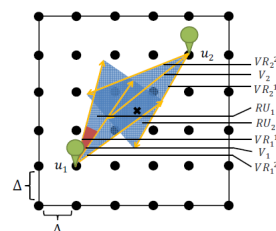


図3 自動事象検出の基本的考え方

図3に示すように、関与者の視線範囲を合成することで発生可能性のある場所と時刻を検出する。縦横 100m 程度の範囲内でリアルタイム検出が可能ないように、荒い検出と細かい検出を同時に行う方法を提案した。疑似データを用いた実験により、12名の関与者を対象としても毎秒4回の検出が可能であることを示した。

(6). 複数人同士の会話でのガイドエージェントの介入タイミングの推定方法を開発した。選手同士やコーチと選手間のように人同士の対話場面を考えた場合、会話参加者の間で主導権が移り変わることが一般的である。この際、自分以外の他者同士で行われている会話へ介入することが起きうる。しかし、ガイドエージェントが介入する場面や支援内容現時点では明確ではない。そこで、適切な介入場面の発見・定義を行い、介入場面と介入方法の自動検出の可能性を検討した。まず、エージェントと二人のユーザの会話コーパスをWOZ(Wizard of Oz)法により実験収集した。実験では、典型的利用場面を想定し、エージェントによる提供情報を用いてユーザが共同で自由な会話で意思決定が行えるようにする会話タスクでデータ取得を行った。次に、主観判定のばらつきを吸収するため、適切な介入と確認できた介入方法について、介入タイミングと介入種類のアノテーションを行った。最後に、行ったアノテーションデータと先に取得したビデオ・オーディオデータとから、機械学習を用いて自動検出が可能な言語・非言語特徴量を検討した。機械学習による自動検出を行った結果、タイミング判定分類精度 77.5%を得た。介入の種類毎の分類精度は 68.3%であった。チャンスレベル以上であるため、選定特徴量がタイミングの自動検出に寄与することを確認できた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 7件)

黄宏軒, 乙木翔地, 堀田 怜, 川越恭二、
 多人数会話において積極的に情報提示
 ができるガイドエージェントの実現に
 向けた介入場面の検討, 人工知能学会論
 文誌、査読有、Vol.31, No.1, pp.1-13、
 2016 .
 DOI: <http://doi.org/10.1527/tjsai.DS>
 F-514

Yu Fang, Do Xuan Huy, Hung-Hsuan Huang, and Kyoji Kawagoe, Multi-dimensional Time Series Approximation Using Local Features at Thinned-out Keypoints, Journal of Computers, 査読有, Vol.10 No.1, pp.1-11, 2015.

DOI: 10.4304/jcp.10.1-11

Abdulla AL MARUF, Hung-Hsuan HUANG, Kyoji KAWAGOE, Textual Approximation Methods for Time Series Classification: TAX and I-TAX, IEICE Trans. on Information and System, 査読有, Vol.E97-D, No.4, pp.798-810, Apr. 2014.

DOI: 10.1589/transinf.E97.D.798

黄宏軒, 上丞正樹, 関 優樹, 李 周浩, 川越恭二, 仮想社交ダンスインストラクターの構築, 人工知能学会論文誌, 査読有, Vol. 28, No.2, pp187-196, 2013. DOI:http://dx.doi.org/10.1527/yjsai.28.187

〔学会発表〕(計 6 2 件)

Hung-Hsuan Huang, Shochi Otogi, Ryo Hotta, Kyoji Kawagoe, Toward a Guide Agent who Actively Intervene Inter-user Conversation - Timing Definition and Trial of Automatic Detection using Low-level Nonverbal Features, International Conference on Agents and Artificial Intelligence (ICAART 2016), Rome(Italy), February 24-26, 2016.

Taishi Yamamoto, Kenta Oku, Kyoji Kawagoe, A Crowd-sourced Method for Real-time Detection and Localization of Unexpected Events, Eighth Int. Conf. on Advances in Multimedia, Lisbon(Portugal), Feb. 22, 2016.

Yu Fang, Kosuke Sugano, Kenta Oku, Hung-Hsuan Huang, Kyoji Kawagoe, Searching Human Actions based on a Multidimensional Time Series Similarity Calculation Method, 14th IEEE/ACIS Int. Conf. on Computer and Information Science, Las Vegas(USA) June 30, 2015.

Toshihiro Tani, Hung-Hsuan Huang, Kyoji Kawagoe, Sports Play Visualization System Using Trajectory Mining Method, Fourth Postgraduate Consortium International Workshop on Innovations in Information and Communication Science and Technology (IICST 2014), Warsaw(Poland), Sept. 3, 2014.

Shochi Otogi, Hung-Hsuan Huang, Ryo Hotta, and Kyoji Kawagoe, Analysis of personality traits for intervention scene detection in

multi-user conversation, 2nd International Conf. on Human-Agent Interaction, Tsukuba Univ.(Tsukuba), Oct. 30, 2014.

Hung-Hsuan Huang, Natsumi Konishi, Sayumi Shibusawa, and Kyoji Kawagoe, Exploring the Difference of the Impression on Human and Agent Listeners in Active Listening Dialog, 14th Int. Conf. on Intelligent Virtual Agents (IVA 2014), Boston(USA), Aug. 27, 2014.

Huy Xuan DO, Hung-Hsuan Huang, Kyoji Kawagoe, Evaluating Textual Approximation to Classify Moving Object Trajectories, Fourth Int. Conf. on Innovative Computing Technology, Luton(UK), Aug. 13, 2014.

Kosuke Kimura, Hung-Hsuan Huang and Kyoji Kawagoe, Analysis on Learners' Gaze Patterns and the Instructor's Reactions in Ballroom Dance Tutoring, 4th Workshop on Eye Gaze in Intelligent Human Machine Interaction, Eye Gaze and Multimodality, Int. Conf. on Multimodal Interaction ICMI 2012, Santa Monica(USA), Oct.26, 2012.

Hung-Hsuan Huang, Masaki Uejo, Yuki Seki, Joo-Ho Lee, and Kyoji Kawagoe, Realizing Real-time Feedbacks on Learners' Practice for a Virtual Ballroom Dance Instructor, 12th Int. Conf. on Intelligent Virtual Agents, Workshop on Real-time Conversations with Virtual Agents (RCVA), Santa Cruz(USA), Sept. 15, 2012.

Masaki Uejo, Hung-Hsuan Huang, Yuki Seki, Joo-Ho Lee, Kyoji Kawagoe, Measuring User Performance in the Interaction with a Virtual Ballroom Dance Instructor, 10th Asia Pacific Conf. on Computer Human Interaction (APCHI2012), Kunibiki Messe (Matsue), Aug. 30, 2012.

Abdulla Maruf, Hung-Hsuan Huang and Kyoji Kawagoe, Time Series Classification Method Based on Longest Common Subsequence and Textual Approximation, 7th Int. Conf. on Digital Information Management, Macau(China), July.22, 2012

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

川越 恭二 (Kyoji Kawagoe)
立命館大学・情報理工学部・教授
研究者番号：40298724

(2)研究分担者

黄 宏軒 (Hung-Hsuan Huang)
立命館大学・情報理工学部・准教授
研究者番号：00572950