

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 6月16日現在

機関番号：20103

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23656255

研究課題名（和文）知識発見・抽出のための動的知識モデルを用いた画像認識法の開発

研究課題名（英文）Development of Image Recognition Method using Dynamic Knowledge Model for Knowledge Discovery and Extraction

研究代表者

高橋 信行 (TAKAHASHI NOBUYUKI)

公立はこだて未来大学・システム情報科学部・教授

研究者番号：70206829

研究成果の概要（和文）：大規模実世界のデータから事前情報を必要としない動的な知識の発見・抽出のための動的知識モデルを提案した。発見・抽出後であっても，外部からのデータが無くなっても自律的にその確度を高めるように知識構造が変化する動的知識モデルを用いて，事前知識を必要としない画像認識法を開発した。知識発見の過程はゲーム木探索を拡張して実装した。評価実験のため，二つの動画像からの同一標的検出システムの開発した。

研究成果の概要（英文）：A dynamic knowledge model without prior information for the discovery and extraction of a dynamic knowledge from large data on real world was proposed. Knowledge structures in the dynamic knowledge model are changed to increase the accuracy autonomously in the discovery and extraction with no data from the outside. An image recognition method without prior knowledge about image was developed using the dynamic knowledge model. Process of knowledge discovery in the method was implemented by extending the game tree search. For experiments, we have developed a target detection system detecting a target from two moving images.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・通信・ネットワーク工学

キーワード：信号処理

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 従来，知識や法則は静的・時不変なものとするのが暗黙裡に行われている。そのため，時間的に変化するルールやメタデータなどは，最終的な知識や法則とは見なされず，不完全なもの，または中間物とされてきた。一方，実世界の計測手段の多様化と自動データ収集技術の飛躍的進歩により，大量の観測データがもたらされた。現在では，この大規模・多様なデータから知識や法則の発見・抽出が求められている。しかし，これらの莫大なデータから普遍性を持ち，かつ静的・時不変な知識や法則を発見するには，人間の介入

が不可欠である。実際，自然科学における研究自体がこのことを示している。しかし，人を介さずに実世界の莫大なデータから自動に知識やルールを発見・抽出するためには，知識やルールを静的なものとする暗黙の了解は，決して有効・効率的なアプローチではない。我々は，知識やルールを静的なものとする前提を排除した知識モデルを提案している。本研究は，この動的知識モデルの有効性を示すためのものである。

(2) 動的知識モデルとは，新たなデータなどの外部情報が無くても知識自身が時間と

もに自律的に変化が可能な情報表現であり、従来は情報として捉えてこなかった動的なシステム全体に相当するものである。すなわち、従来は知識発見の過程とみなされていたものも知識であると見なして、外部データの供給が無くとも知識確度を自律的に高めるように、時々刻々知識構造が変化する仕組みを内在するのが動的知識モデルである。このモデルに基づく間断のない実世界データからの知識発見・抽出を行うアプローチを我々は提案している。このようなアプローチは国内外を問わず行われておらず、本提案は、我々が萌芽研究 (H19~H20)「次世代情報基盤モデルのためのネットワークのダイナミクスでの情報符号化法の開発」として助成を受けた研究の過程で着想したものである。ただし、この着想は先の萌芽研究の直接的な成果ではないが、その研究過程で得た独自の知見に基づくものである。

## 2. 研究の目的

(1) 実世界の大規模・多様なデータから知識や法則を自動的に発見・抽出するためには、知識を静的なものとするのは決して有効・効率的なアプローチではない。我々は、大規模実世界のデータから事前情報を必要としない動的な知識の発見・抽出のための動的知識モデルを提案している。動的知識モデルとは、発見・抽出後であっても、外部からのデータが無くとも自律的にその確度を高めるように知識構造が変化する知識モデルである。本研究では、提案する動的知識モデルの有効性を示すため、このモデルを用いた事前知識を必要としない画像認識法を開発する。

(2) 提案する動的知識モデルの有効性を示すため、提案モデルに基づく画像識別法を開発する。具体的には、カメラアングルや対象物を特定するなどの事前知識を用いずに、複数カメラの動画入力から自律的に標的を発見、各カメラで発見した標的の同一性が識別（動的知識）可能な画像認識法を開発・実装する。

## 3. 研究の方法

(1) 提案する動的知識では、自律的に知識の確度を高めるための知識構造の変化を、複数の時間発展シナリオの集合から知識モデル自身が自律的に選択することで実現する。これは、単に時不変性を知識から取り除いただけでなく、自律的に知識の確度を高めるための構造変化を創発させる仕組みを知識に持たせる。自律的に知識の確度を高める構造を持つシナリオ木知識構造を変化させるシナリオは、確定された1つのシナリオとして実行するのではなく、部分シナリオ集合の中か

ら、動的知識モデルが自律的に選択し、実行することになる。ただし、部分シナリオの適応順序は木構造として階層的に表現する(図1)。すなわち、この成長するシナリオ木自身が動的知識モデルとなる。この木構造の各ノードは、部分シナリオの実行で得た知識の尤度分布を持つ。本研究では、ゲーム探索木の探索の概念を知識構造の動的更新のために拡張したものであり、局面を評価する評価関数の設計法は重要である。しかし、ここでは取り組む画像処理固有な知識を用いた評価関数の設計法を明らかにするのではなく、動的知識モデルに基づく一般的な評価関数の設計方法を示し、その性能を評価する。具体的には、下記の①と②の要求仕様を満たす設計法を提案し、評価する。

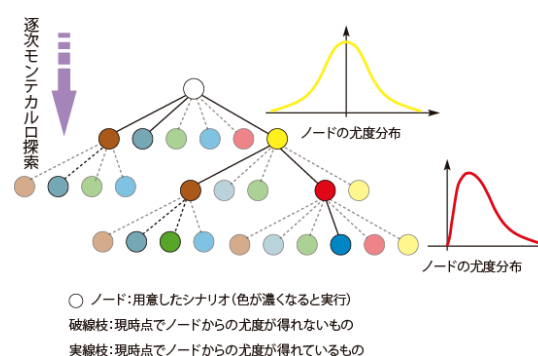


図 1 複数カメラからでの同一標的の識別に適応した場合の動的知識とシナリオ木

① 評価関数の入力は、スカラー値ではなく、高い汎用性を有するグラフ構造を持ったものとする。例えば、動画画像であれば、根から出発してシナリオ木の各ノードまでに実行されたシナリオに基づく処理されたフレーム画像、画像の特徴量空間、動画画像の時空間関などとなる。

② ノードでの部分シナリオの実行は、データに対する処理となるため、①のグラフ構造は、この処理の実行順序に大きく左右される。これを評価するため、①のグラフ構造を数理統計的な手法で評価する。具体的には、我々が萌芽研究 (H19~H20) で開発した時間構造を持つデータであるストリームデータに拡張した拡張カーネル法で評価に用いた手法を用いる。

(2) (1)の成果ならびに(1)①と(1)②で有効性を示した評価関数、動的知識モデルの構成法・探索法を、事前情報を必要としない動画画像からの標的検出に適用し、2台のカメラ画像から同一標的検出システムを構築し、その性能から提案手法の有効性を示す。動画画像における標的検出に動的知識モデルを適用す

るだけに、以下の動画像からの標的検出法を用いる。

事前情報を用いずに、画像がもつ統計的な性質に着目し、画像全体の大多数の領域を背景とみなし、画像全体の性質である背景とは統計的な性質が異なる領域を標的とみなして、標的の検出・追跡する手法を我々は動画像に拡張・発展させる。動画像における統計的な性質は、本質的に異なる空間と時間という2つパラメタをもち、この2つのパラメタ間の相関は分離できない。我々が提案する時空白色度では、時間と空間の影響を個別に制御することを可能であり、従来法では標的検出困難であった動画像から、画像間の類似性のみではなく、標的と背景の動きの違いに着目しても標的が検出することが可能な手法である。すなわち、本質的に異なるデータの組を対象とするデータ生成過程の動的モデル化を可能とする手法である。異なるデータ組のデータ間の関係をストリームカーネルとして表現し、時間と共にデータとそのデータ構造自身が複雑に変化するストリームカーネルに対する空白色度の拡張を行う。データ部分構造から再帰的に定義される多次元・階層化（畳み込み）空白色度を新たに提案する。

#### 4. 研究成果

(1) 動的知識モデルは、自律的に構造変化させるためにシナリオ木の探索として表現される。このシナリオ木の探索のために、思考ゲームにおけるゲーム探索木を知識構造の動的更新のために拡張したものを提案する。一般に、ゲームにおける探索木では対象となる知識構造に関する固有のメタ知識が必要不可欠であるが、モンテカルロ法を用いれば対象に関する事前情報がなくても探索木の探索が可能となる。しかし、単純なモンテカルロ法では、明らかに不適切な知識構造の更新も均等に実行されるばかりか、尤度の平均値で対象の知識構造が評価されるため、ノードの選択時のランダムシミュレーションでの最善、最悪な構造変化の影響を正確に反映できない。このような問題を解決した思考ゲームにおけるアルゴリズムがUCB(upper confidence bound) 値を用いたUCT(UCB for tree) (図 2)である。本研究は、各ノードにおいて尤度の確率分布全体を保持するのではなく、UCB 値を尤度の確率の上限値として拡張し、各ノードのUCB 値を比較することで尤度の確率分布の最大値の推定の問題に帰着させた。このように問題を定式化することで、知識構造の構造変更アルゴリズムを、モンテカルロ探索木におけるUCTアルゴリズムで実現する。本提案を複数カメラでの標的識別に適応した場合、シナリオ木を構成するための部分シナリオの集合としては、画像処理法の集合、具体的には、自動標

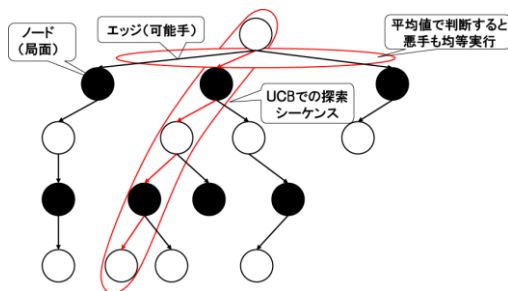
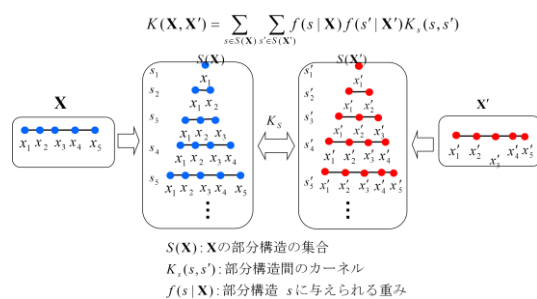


図 2 モンテカルロ探索木のUCTによる探索

的抽出、カメラの撮影環境、ここではカメラの物理的位置関係や照度の影響に対する処理となる白色化、アフィン変換、輝度変換などを用いた。この様な変換を組み合わせることで、異なる撮影環境の画像中の標的の同一性の尤度が計算可能となる。本課題では、より少ない事前情報下で構成したシナリオ木が、広範囲なカメラの撮影環境を効率的に探索するかどうかを評価した。シナリオ木のノードが持つUCB 値は、各部分シナリオ(子ノード)を探索で得る課題①の評価関数の値からベイズ推定で求めた。さらに、ゲーム木の探索問題で計算量軽減の枝刈りなどのアルゴリズムの有用性も評価する標的識別問題に適応するためには、グラフのノードとしては色情報を除いた静止画の局所特徴量空間、空間相関、時間相関、時空間空白色度などの各種統計量を割り当てた。ただし、画像の特徴量空間では、画像中の部分画像における特徴量空間を部分グラフ(部分ストリームカーネル)して再帰的に構成したグラフ(ストリームカーネル)で表現した。各ノードの尤度分布は、自ノードのシナリオに対する尤度とその子ノードで実行された部分シナリオから得た尤度からベイズ推定した。そのため、子のノードでの部分シナリオの実行(以後これを探索と呼ぶ)することで、親ノードの尤度も変化する。このような尤度の伝播は、シナリオ木の末端から根に向かって伝播する。これは、シナリオ木の探索が進むごとに、その時点でのシナリオ全体、すなわち動的知識の尤度が、ルートノードの尤度分布として求まり、これが各時刻における知識の確度となることを意味する。また、各時刻における最も確度が高い知識構造は、シナリオ木を各ノードの尤度に従って探索する探索経路となる。

① 本研究で扱うデータは、動画像であり、リアルタイムのストリームデータであるため、既に開発済みの静止画に対する動的知識モデルの場合のように、静的なモデルを用いることは出来ない。動画像はデータ構造が時間と共に複雑な変化データストリームは動

的な大規模データであり、従来の静的なデータを対象としていたアルゴリズムをそのままデータストリームへ適用しても、高い性能は得られない。そこで我々はカーネル法を拡張して、大規模データストリームに有効に作用するストリームカーネルを提案 (図 3) した。



二つの構造データのカーネル関数

図 3 ストリームカーネル

② ストリームカーネルは、データストリームのある時点のデータだけでなく、そこから遡及して得られる過去の画像情報をまとめた構造データを入力に用いるカーネル関数の枠組みであり、過去の画像情報から得られるデータストリームの時間的な変化を特徴にする。ストリームカーネルを適用した非線形サポートベクタマシン SVM は、実験で従来の非線形 SVM を大きく上回る性能を示したが、多くの計算時間を要した。我々はこの問題を SIFT 特徴点に画像の対応 (図 4) を用いて、特徴点近傍ごとにパラレルブースティングすることによって解決した。

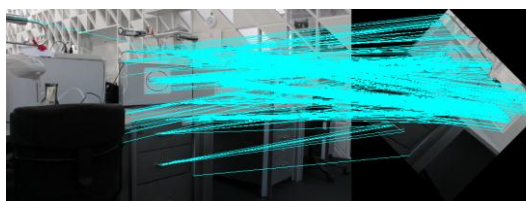


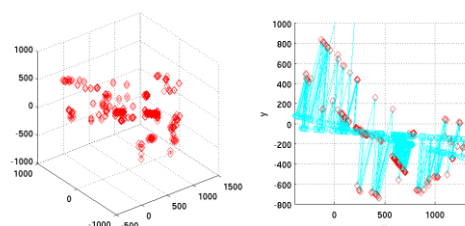
図 4 SIFT 特徴量に基づく画像の対応付け

(2) カメラアングルや対象物を特定するなどの事前知識を用いずに、複数カメラの動画入力から自律的に標的を発見、各カメラで発見した標的の同一性が識別 (動的知識) 可能な画像認識法するためには、任意のカメラアングルから自由視点映像を求める必要がある。しかし、現在の自由視点映像技術の多くでは、被写体やカメラが空間座標系に関して固定され、さらに射影関係が既知であることが求められる。一方、少数ではあるが、非

固定や動的なカメラパラメータの映像に対する自由視点映像技術も提案されているが、撮影空間や被写体を既知とする必要がある。そのため、本研究では、非固定なカメラの映像のみで被写体の位置を 3 次元空間上で推定する方法を提案した。SIFT 特徴量を用いて被写体の特徴点を算出し、一つの動画像の複数フレーム映像を用いて、平行射影により特徴点の位置を推定した。検証実験により特徴点の位置座標を推定し、提案手法の有効性を示した。ただし、提案手法では、絶対的な座標系の位置推定は困難であるため、相対座標系での推定を行った。また、相対座標系であっても、推定値は一意に確定せず、複数の推定候補が得られるため、推定値をストリームカーネルの情報として、ゲーム木の探索での確度更新の対象として確定することにした (図 5)。



(a) 第 4 フレームと第 11 フレーム間の特徴点の対応



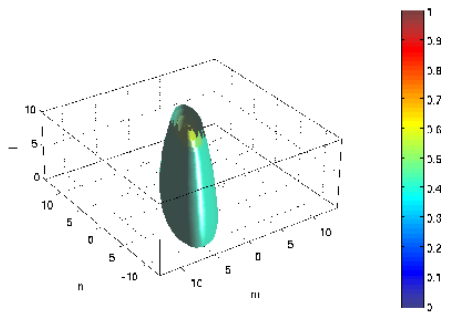
(b) (a) の対応からの座標推定

図 5 同一動画像の複数フレーム間の特徴点の対応とそれに基づく座標推定

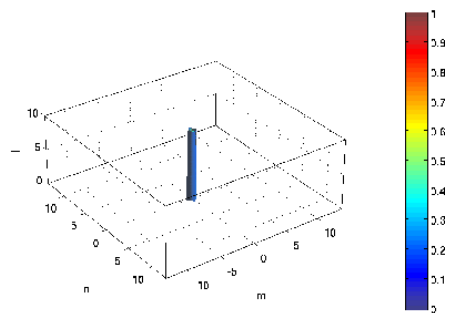
(3) 動画像から標的を検出するために、白色化を時空間白色化に拡張を行った。

① 白色化は時間方向と空間方向での相関が分離できるということを仮定してフレームごとの処理を施している。しかし、実際の動画像では時間方向と空間方向での相関が分離はできない場合の方が一般的である。そこで、画像を 2 次元確率場とみなした場合に、白色度は画像の各点が統計的な意味で支配する領域の平均の広さを表すものであり、1 次元確率場で用いられる相関距離を拡張した相関面積である。そのため、白色度を一般化した相関面積の概念は、2 次元確率場だけに制約されるものではなく、3 次元確率場に拡張することも可能であり、3 次元確率場の各点が支配する平均体積を相関体積として

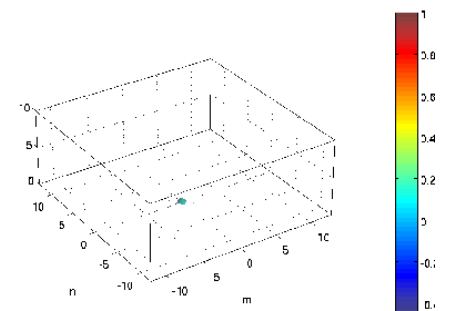
定義することができる。3次元確率場でも相関体積が定義できることから、相関体積に相当する動画像に対応した時空間白色度を新たに提案した。すなわち、新たに提案した時空間白色度は2次元確率場で用いた白色雑音の度合いである白色度を3次元確率場である動画像に拡張し、空間方向だけでなく時間方向の白色化の程度も同時に評価可能な**時空間白色度**を新たに提案し、その有効性を示した(図6)。



(a) 動画像の時空間相関関数



(b) 空間白色化後の時空間相関関数



(c) 時空間白色化後の時空間相関関数

図6 時空間白色化と時空間相関関数

② 時空間白色度の概念をさらに拡張した多次元・階層化白色度を新たに提案した。白色度を多次元にするとは、2次元の白色度を3次元の時空間白色度に拡張したのと同様な手法で行うことができる。しかし、白色度をカーネル関数と見なすことで、畳み込みカーネルの枠組みを用いて、構造を持ったデータに対しての白色度を設計することが可

能となった。畳み込みカーネルは、構造を持ったデータの特徴は、その構造に含まれる部分構造が担っているため、構造データ同士のカーネル関数を、部分構造同士のカーネル関数によって再帰的に定義できる。本研究では、多次元・階層化白色度をストリームカーネルの部分カーネルとして実装した。



(a) 検出された動画像 A の標的



(b) 検出された動画像 B の標的

図7 2つの動画像からの同一標的の検出

③ 動的知識モデルを静止画における画像認識に適応する場合は、思考ゲームにおけるゲーム探索木の概念を知識構造の動的更新として拡張した。しかし、動画像がストリーミングデータであるため、このままでは動的知識モデルで複数の動画像から同一標的検出に適用する場合、動的知識モデルの知識構造の動的な更新ができなかった。そこで、ゲーム木の探索を拡張して、ノードが頻繁に生成・消滅する木構造を持つオーバーレイネットワーク上でのリアルタイムストリーミング処理として実装した。ただし、この木構造を持つオーバーレイネットワーク自体が一種の自律的にその確度を高めるような知識構造であるため、各ノードが実行する部分シナ

リオの実行結果によりノードの生成・消滅は非同期的で、かつ予測困難に起こる。そこで、オーバーレイネットワークにおける予備経路と代替ノード検索手法を新たに提案して、価実験を可能とする二つの動画像からの同一標的検出システムに実装し、標的や背景動画に関する事前情報を与えることなく、2つ動画から同一標的を検出できることを示した。(図 7)

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 4 件)

- ① 久保幸司, 高橋信行, 任意断面形状の音響管解析のための構造メッシュ自動生成, 電子情報通信学会応用音響研究会, 2013年03月12日, 埼玉県 株式会社KDDI 研究所.
- ② 木村大樹, 高橋信行, ALM における頻繁なノード離脱に対する影響を軽減した経路構築手法の提案, 電子情報通信学会ネットワークシステム・情報ネットワーク合同研究会, 2013年3月7日, 沖縄県 残波岬ロイヤルホテル.
- ③ 木村大樹, 高橋信行, 予備経路と代替ノード検索を用いた ALM 手法の提案, 情報処理学会第 150 回 DPS・第 56 回 CSEC 合同研究発表会, 2012年3月1日, 横浜市 開港記念会館.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

高橋 信行 (TAKAHASHI NOBUYUKI)

公立はこだて未来大学・システム情報科学部・教授

研究者番号 : 70206829

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号 :

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号 :