原著論文

ロケーションEMGセンサを用いた行動の時空間展開記述に基づく日常生活行動モデリング手法†

川上 悟郎 *1*2・西田 佳史 *2*3・本村 陽一 *2*3・溝口 博 *1*2

本論文では、日常行動理解研究を推進するために、異分野の専門家や知見を利用するユーザが、日常行動に関連する情報を書き込んだり、分析したり、考察したり、活用するための、容易に理解可能な情報表現法やそれに基づく計算法を考察する。また、そのような情報の表現や計算の手段を提供する具体的なシステムとして、「時空間意味情報マッピング・システム」(STS Map; Spatio-Temporal-Semantic Map)を提案する。STS Mapは、1) ロケーションセンサを用いた現象の時空間展開機能、2) 時空間座標系をベースとした多層的な情報の表現機能、3) 時空間統計数理を用いたモデリングとリターゲット機能から構成される。本論文では提案システムの実現可能性と有用性を考察するために、ロケーションEMGセンサを用いて保育園の遊具で遊ぶ幼児47名の行動計測を行い、時空間意味情報マッピング・システムを適用した事例について報告する。さらに、幼児の年齢を考慮した難度を有する新しい遊具の設計について報告する。新しい遊具は幼児の遊んでいる「最中」の行動をモデル化し、構築したモデルによる筋電位推論値のクロス評価を行い、モデルの改善を行った。改善された行動モデルをベースとしてリターゲットを行うことで新しい遊具での筋電位発生頻度を推論し、その結果を遊具デザインの指針として、遊具メーカーと協力することで遊具を作成した。

キーワード：日常生活行動モデル、時空間意味情報処理、ウェアラブルセンサ、ロケーションセンサ、ロケーションEMGセンサ

1. はじめに

日常行動理解研究の困難性は、日常行動現象が個人や単一の学問領域で扱える範囲を遥かに超える超多次元現象であることに起因している。そのため、日常行動理解研究を本に行おうとすると、細分化された学術範囲を超えた様々な専門家の参加が不可欠であり、異分野のデータや知見や手法を持ち寄ることで、多面的なアプローチを試みるが必要となる。また、日常行動の何を理解したら役に立つのかに関しても必ずしも明らかではないため、研究を着実に推し進めるための具体的な課題設定が必要であり、明確なニーズを持ったユーザの参加が不可欠である。さらに、データに関しても、大量に収集されてしまったものの利用されていないデータ、それだけでは解釈不能なデータ、

小さなコミュニティのみで利用されているデータなどが散在している現状があり、多種多様な分野や人の視点、データ、知見、手法を導入できる仕組みを作ることが、日常行動理解研究を促進する上で重要な研究課題となっている。

本論文では、日常行動理解研究を推進するために、異分野の専門家や知見を利用するユーザが、日常行動に関連する情報を書き込んだり、分析したり、考察したり、活用するための、容易に理解可能な情報表現法やそれに基づく計算法を考察する。また、そのような情報の表現や計算の手段を提供する具体的なシステムとして、「時空間意味情報マッピング・システム」を提案する。

さらに、本論文では提案システムの実現可能性と有用性を考察するための適用事例と実験結果を報告する。この適用事例では、新たに子どもの行動計測のために開発したロケーションセンサとウェアラブル筋電センサとの統合センサシステムの詳細を述べ、この統合センサシステムを用いて行った遊具で遊んでいる最中の幼児行動計測実験と、時空間意味情報マッピング・システムを用いた行動モデリングとその評価を報告する。

† Everyday Life Behavior Modeling Based on Spatio-Temporal Expansion of Behavior Metrics Sensing Using Location-EMG Sensor
Goro KAWAKAMI, Yoshifumi NISHIDA, Yoichi MOTOMURA and Hiroshi MIZOGUCHI

*1 東京理科大学
Tokyo University of Science

*2 産業技術総合研究所
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

*3 科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業 (CREST)
CREST, Japan Science and Technology Agency (JST)

2. 日常行動理解のための時空間意味情報の計算論

2.1 日常行動現象の表現法と計算法に関する考察

日常生活空間は、様々な物体から構成されている。我々は、空間上に展開されたこれらの物理的な物体とインタラクションをすることで生活を営んでいる。このように、空間上に展開された物体と何らかの関係性を持った生活現象は、日常空間座標の上で展開して記述することが可能である。そこで本研究では、日常行動現象の記述法の問題に対して、地理情報システム (GIS) [1] で用いられている表現法である、空間座標系をベースとして多層的に情報を標準化・構造化する記述法を適用する。

一方、GISで取り扱われているような比較的スケールの大きな地理情報の場合、多人数のユーザが利用する公共的な空間に関する情報であるため、特別な加工をせずともそれ自体が多くのユーザにとって有用であることが期待できるが、例えば、ある家族が住んでいる家などの私的な空間で記述された情報は、それ自体では公共性に乏しく、多くのユーザにとっての再利用性が極めて限られる。

ある空間で蓄積された情報の再利用性を高めるには、GISの考え方を発展させる必要が生じる。すなわち、ある家の空間情報を、構成物や間取りなどが異なる他の家の空間情報へと変換する必要が生じる。空間座標系をベースとして多層的に表現された情報を抽象化し、時空間とは異なる状態空間上で安定した構造抽出を行うモデリングプロセスが必要となる。このようなモデリングプロセスがあって始めて、新たな対象への再適用 (リターゲット) が可能となる。

2.2 時空間意味情報マッピング・システムの提案

前項で述べた日常行動現象の表現法と計算法に関する考察に基づき、本論文では図1の概念図に示すような、時空間意味情報マッピング・システム (STS Map; Spatio-Temporal-Semantic Mapping System) を提案する。時空間意味情報マッピング・システムは、1) ロケーションセンサを用いた現象の時空間展開機能、2) 時空間座標系をベースとした多層的な情報の表現機能、3) 時空間統計数理を用いたモデリングとリターゲット機能から構成される。このような構成とすることによって以下の効果が期待できる。

1. あらゆる情報を時空間上に展開し、可視化することが可能となることで、専門家のみならず非専門家のアクセシビリティを高めることが可能であ

る。これにより、様々な専門家や非専門家が異分野の情報を横断的に記述すること容易にする効果や、モデリングプロセスにおいて求められる状態空間の設計の際に、異分野の多様な視点を取り入れることを容易にする効果が期待できる。

2. 時空間座標系をベースとすることで、ある実験で得た知見を他の情報と統合利用することが可能である。これは、既に行った実験データや、先見的な知見との統合など、実験データの再利用を可能であることを意味する。
3. モデリングプロセスを仲介することで、構築したモデルを異なる対象に対して再適用 (リターゲット) することが可能である。

STS Mapは従来のGISの考え方を発展させたものであり、上述のように、行動現象を記述する多様な特徴量を多層的な地図として表現することでモデリングを行う。さらに、構築したモデルを他の対象に対してリターゲットすることで、例えば、人間行動のモデル化に基づくエビデンスベースな製品設計などに応用可能であるという利点を持つ。

2.3 時空間意味情報マッピング・システムにおける行動現象の記述法とモデリング

時空間意味情報マッピング・システムの特徴である行動現象の時空間統合・モデリングに関して詳細を述べる。

時空間意味情報マッピング・システムでは、観察された行動現象を、ある種の空間点過程 [3, 4] からの実現値とみなす。すると、観察された実現値は、式 (1) のように書くことができる。

$$\mathbf{Z} = \{Z_i(\mathbf{s}, t) : \mathbf{s} \in D \subset \mathbb{R}^d, t \in \mathbb{R}^+\}, \quad (1)$$

ここで、 $Z_i(\mathbf{s}, t)$ は時間 t 、場所 $\mathbf{s}$ における i 番目の確率変数および観測値を表す。 D は STS Map の対象とする領域を意味し、2次元空間もしくは3次元空間を対象とする場合には $d=2, 3$ であり $\mathbf{s}=[x, y]^T$ or $[x, y, z]^T$ となる。

例えば、超音波3次元タグシステム [2] によって時空間情報を取得することを考えると、取得される情報は3次元の位置情報と時間情報であり、式 (2) のように記述できる。

$$\mathbf{E} = \{E_i(\mathbf{s}, t) : \mathbf{s} \in D \subset \mathbb{R}^d, t \in \mathbb{R}^+\}, \quad (2)$$

ここで、 $E_i(\mathbf{s}, t)$ は時刻 t 、場所 $\mathbf{s}$ での事象の存在を意味する。よって E_i は観測されたあらゆる $\mathbf{s}$ と t において、1をとる。一方で、ウェアラブルEMGセンサ

図1 時空間意味情報マッピング・システムの概念図

などの物理センサでは空間情報は持たないので、式(3)のように記述することができる。

$$\mathbf{Z} = \{Z_i(t) : t \in \mathbb{R}^+\}, \quad (3)$$

式(2)で示したロケーションセンサによる時空間情報と、式(3)で示した物理センサによる情報を同期して取得し統合することで、式(1)で記述される時空間の特性情報を得ることが可能である。このようにロケーション情報を持たない物理センサをロケーションセンサと統合することで、物理センサによって得た行動現象を時空間に広げて記述することが可能となる。そこで、これを本論文では「時空間展開」と呼ぶことにする。時空間展開の応用例については次節で述べる。

このように、ロケーションセンサと物理センサを統合することは、そのセンサが得た物理量を「いつ」、「どこで」という時空間情報に展開して記述することを可能にする。空間情報を持たない物理センサ情報のみでは、非専門家にとって一見分かりにくい情報でも、時空間展開処理を行い、空間上にマッピングし可視化することで、情報の可読性が高まるという大きな利点を生む。

また、時間不変であるような他の空間情報(物体の形状など)の場合(式(4))においても、時間に関して不変であれば、実質、式(1)と同等と考えることができる。

$$\mathbf{Z} = \{Z_i(s) : s \in D \subset \mathbb{R}^d\}, \quad (4)$$

式(1)のように記述される行動現象の特性をモデル化するために本研究ではベイジアンネットを用いる。ベイジアンネットを用いる理由は以下の利点を持つた

めである。

1. 不確実な現象を扱うことが可能であること。
2. 互いに従属性や非線形性を持つ多数の変数を説明変数として因果構造を学習することが可能であること。一般に、説明変数が全て独立とは限らず、多数の変数を説明変数とした時、説明変数間の関係も含め多段の関係や、交互作用を考える必要がある。また、一般に変数間の関係が線形とは限らず、非線形の関係も表せる必要がある。
3. 学習されたモデルが、推論や予測に利用可能であること。

式(1)で表わされるデータセットを正規化・量子化し、特徴量相互の関係を頻度データ化したクロス集計表を作成することが可能である。このクロス集計表から時空間特徴量の構造抽出を行うことで、時空間情報が捨棄された特徴量の構造モデルを構築する。本研究では、ベイジアンネットを用いるので式(5)のように定式化することが可能である。

$$p(\mathbf{Z}|Bs) = \prod_{i=1}^n p(Z_i | pa(Z_i), Bs) \quad (5)$$

Bs はベイジアンネットワークの確率的構造を意味する。 $pa(Z_i)$ は Z_i の親ノード変数集合を意味し、 n は特徴量(層)の数である。このようなモデル構造を用いることで未知の対象に対して推論することが可能となる。例えば、場所 s_0 における d 番目の層 Z_d の値は、その他の層 $Z_{\bar{d}}$ の情報が与えられた場合、式(6)によって推論することが可能である。式(6)の右辺分

母は、 Z_d についてありうる全ての状態で平均化する周辺化である。

$$p(Z_d(s_0)|Z_{\bar{d}}(s_0), Bs) = \frac{p(Z_d(s_0), Z_{\bar{d}}(s_0)|Bs)}{\sum_{Z_d} p(Z_d(s_0), Z_{\bar{d}}(s_0)|Bs)} \quad (6)$$

本研究では、乳幼児の行動理解のために時空間意味情報マッピング・システムを応用する。特に、幼児が遊具で遊んでいる最中の行動計測実験について応用した例を次節で述べる。

3. 時空間意味情報マッピング・システムの応用：幼児遊び行動のセンシング・モデリング・リターゲット

3.1 幼児の遊び行動計測実験と時空間意味情報マッピング・システムの適用

最近公園の遊具による事故の多発[5]によって、遊具の撤去が進む中、子どもの行動計測に基づく安全な遊具設計が求められている。一方で、近年、低消費電力のマイコン、無線モジュール、メモリ、センサなどの要素技術の発展により、これらの技術を組み合わせることで、行動計測のためのユビキタスセンサやウェアラブルセンサを容易に構成可能になりつつある[6]。これらの技術背景は、日常生活空間における人間行動の定量化やそれに基づく様々なエビデンスベースな製品設計の可能性を示唆している。

本研究では、超音波3次元タグシステム(ロケーションセンサ)[2]や無線型筋電センサ[7]などのウェアラブルセンサを用いて、幼児が遊具で遊んでいる「最中」の行動計測を行い、時空間意味情報マッピング・システムを応用することで、安全性を確保しつつ幼児の年齢や能力を考慮したエビデンスベースな製品設計の可能性を示す。

今日、様々なタイプの遊具が存在しているが、最も多発する怪我は、転倒・転落に起因するものである。そこで、本研究では、登り動作が必要とされ、転倒・転落の頻度が高い遊具を研究対象とした。横浜市にある川和保育園の協力を得て、図2に示した石崖型遊具で遊んでいる最中の幼児の行動計測実験を行った。さらに、時空間意味情報マッピング・システムの実用例の試みとして、遊び行動のモデリングとその有用性を示す。

ロケーションセンサと無線式ウェアラブル筋電センサ(図3)を統合することで、3次元位置、筋電、映像(USBカメラ)を同時記録可能なシステムを構築した。図4に構築した行動観察システムの構成を示す。

構築したシステムは、子どもの3次元位置を計測するサーバー計算機、筋電位を計測するサーバー計算機と、これらの2台の計算機とソケット通信によってデータを取得するクライアント計算機から構成されており、通信により取得したデータにタイムスタンプを付加して記録することでデータ相互の同期を確保して

図2 石崖型遊具(石崖ログハウス)

図3 ウェアラブル EMG センサとシステム構成図

図4 ロケーションEMGシステムの構成図

いる。ここでは、このシステムをロケーションEMGシステム(L-EMG)と呼ぶ。

本研究で人間行動計測センサとして、筋電センサを使用する主な理由は以下のとおりである。1)運動中に使用する筋肉の収縮によって発生する電位を計測しているため、人間の運動機能を直接計測することが可能である。2)筋電計測と同様の技術を用いることで、心電位や眼電位といった異なる生理情報を取得することが可能であり、人間行動計測への多様な応用が考え

図5 遊び行動計測システム

られる。

川和保育園(横浜市)の協力を得て、開発したロケーションEMGシステムを用いて、石崖型遊具での遊び行動計測を行った。石崖型遊具の正面に超音波受信機を27個設置し、保育園の園児47名(6歳児10名, 5歳児14名, 4歳児17名, 3歳児6名)に対して、右手の浅指屈筋、指伸筋に電極を装着し、幼児の肩に超音波3次元タグを取り付けることで、幼児が石崖型遊具に登る際の行動計測を行う(図5)。

時空間意味情報マッピング・システムの応用手順を述べる。また、図6は、時空間意味情報マッピング・システムの応用手順を示したものであり、ロケーションEMGシステムによる行動計測、行動計測データの空間座標に基づく表現、計測データのモデリングとエビデンスベース設計のためのリターゲットまでの一連の手順を表している。

図6 時空間意味情報マッピング・システムの応用

1. 3歳から6歳までの幼児47名の遊び行動をロケーションEMGシステムを用いて計測する。
2. 行動計測実験により得た幼児の3次元位置データを用いて、筋電位データを空間上に展開することで、筋電位の発生量を石崖の空間上に表現する。例として全年齢の筋電位データを重ね合わせたものが図7に示す筋電位地図(EMG Map)である。例えば、この図から、石崖の上部で腕に大きな筋電位が発生していることが分かる。このように、センサデータを空間上に表現すると、非専門家にとっても分かりやすい表現となる。
3. 筋電位地図を3歳から6歳までの年齢別、全年齢を重ね合わせた地図など、条件を変えて地図を作成する。さらに石崖を登る際の難度と関係のある石の窪みに関するマップも作成する[8]。
4. モデリングを行うために、データを正規化、量子化しクロス集計表を作成する。本研究では、直接計測できる物理的特徴量として、年齢、筋電位(EMG)、石の窪みの深さ、幼児の身長、体重、最大握力を選び、さらに、身体的な特徴量として、右手と右足の相対距離(Relative position of right arm and right foot: R-LimbPosition)、左手と左足の相対距離(Relative position of left arm and left foot: L-LimbPosition)を選んだ。それぞれ以下のように記述することが可能である。
5. クロス集計表からベイジアンネットの構造を学習する。具体的には、子ノードごとに親ノードとなる集合を与え、条件付き確率を決定する。AIC情報量基準[9]によるモデル選択を子ノード毎に行い最適な親ノード集合を決定しモデルを構築する。これにはBAYONET[10,11]を用いることで、対話的に構造学習を行うことが可能である。
6. 遊具メーカより提案された新たな石崖型遊具の石の窪みの深さや配置から、ベイジアンネットを用いて年齢を変化させた場合の筋電の発生量などを推論する。この工程を石の窪みの深さや配置を変えて繰り返すことで、想定する設計仕様に近づけていくことが可能である。

3.2 幼児の遊び行動モデルの精度評価と比較

前節で述べた特徴量を用いて、幼児の遊び行動モデルを構築し、その妥当性をクロス評価によって評価する。また、全ての特徴量を含めて構造学習を行って導出したモデル(時間変化する身体特徴量を考慮したモデル)と、特徴量から身体姿勢に関する特徴量を除いて構造学習を行って導出したモデル(時間変化する身体特徴量を考慮しないモデル)とを比較する。推定された筋電位の値と行動観察実験において計測された筋電位の値を真値として平均誤差率を算出することで、構築した二種類のモデルの妥当性を検証した。図8は、時間変化する身体姿勢特徴量を考慮したモデルであり、図9は、時間変化する身体姿勢特徴量を考慮しないモデルである。図の中の線の太さは、ノード間の依存関係の強さを示しており、子ノードが持つ情報量(AICの値)を、各親がそれぞれ子ノードに対して持つ相互情報量に比例して振り分けた値をリンクの太さとした。

身体姿勢特徴量を考慮したモデル(図8)と、身体姿勢特徴量を考慮しないモデル(図9)に、学習に使用していないデータを入力することで筋電位を推論し、その結果と実際に計測された筋電位を比較して誤差率を算出した。その結果、表1に示すように、身体姿勢特徴量を考慮したモデルの平均誤差率は34.3%となり、身体姿勢特徴量を考慮しないモデルの平均誤差率は79.4%となり、身体姿勢特徴量を考慮したモデルの方が優れていることが確認できる。

身体姿勢特徴量を考慮しないモデルを使用した場合の筋電位推論の誤差が大きくなる要因としては以下の点が考えられる。すなわち、身体姿勢が考慮されておらず、年齢や身長、体重などの時間変化を伴わない固定値のみを特徴量としてモデルを構築しているために、石崖を登る際の身体姿勢の時間変化に伴う筋電位

図7 取得したデータの筋電位地図(EMG Map)

図8 時間変化する身体姿勢特徴量を含むモデル

図9 時間変化する身体姿勢特徴量を含まないモデル

の変化がうまく取り扱えず、精度の高い推論結果を得ることができないことにあると考えられる。

以上の結果より、本研究で扱った遊具を登る行動のモデル化において、時間変化を伴う身体姿勢の考慮が

表1 身体姿勢特徴量を含むモデルと含まないモデルにおける推定値の平均誤差率

	Model with body features	Model without body features
Average Error Rate[%]	34.3	79.4

重要であることが確認された。次節で述べるリターゲットに関しては、身体姿勢特徴量を含むモデルを使用する。

3.3 幼児の遊び行動モデルによるリターゲットの例

図10は遊具メーカーが提案した石崖型遊具について、作成したモデルから5歳児が石崖を登る際の筋電の発生状況を推論し、マッピングしたものである。図10のAは遊具メーカーより提案された、新しい石崖のデザインである。Bは新しい石崖の窪みマップであり、白い部分はブロックの窪みが深いことを示している。Cはベイジアンネットのモデルであり、このモデルからDのようにこの石垣を登った場合に発生する筋電位を推論することが可能である。推論の詳細を、以下に述べる。石崖を登る初期位置、ある年齢における幼児の腕の長ささと足の長さのデータを、モデルに与えることで、左右の手と足の距離と発生する筋電位の大きさを推論させる。次に、推論の結果得られた左右の手と足の距離データを用いて手と足が届きうる経路を計算し、各場所毎に発生する筋電位の大きさの平均値を可視化する。

図11は、上述したDと同様な計算を年齢を変化させ

図10 新しい遊具の登り部における筋電位の推定値

図11 各年齢毎に推定された筋電位地図(EMG Map)

て行った場合の結果であり、3歳の右腕に発生する筋電位を基準とした、3歳から6歳までの筋電位地図(EMG Map)である。図11に示した筋電位地図は前節で述べた時間変化する身体姿勢を考慮したモデルを使用して筋電位推定を行い作成した。

4. 時空間意味情報マッピング・システムの応用事例：エビデンス・ベースドな遊具設計に向けて

時空間意味情報マッピング・システムを用いた新しい設計支援システムへの展望を述べる。現在、子どもの行動特性や身体特性に関するデータが著しく欠如していることから、遊具メーカーの設計者は、遊具設計の際に、経験に頼った設計を行わざるを得ない状況にある。このような問題を改善するために子どもの行動データから構築したモデルを用いて、行動モデルベースドな設計支援を行うことが一つの有効なアプローチである。時空間意味情報マッピング・システムを用いることで、幼児の遊び行動計測によって得られたデータから構築されたモデルに基づいて、計算機上で年齢ごとに発生筋電位を推論することが可能である。これを応用することで、石崖を登る際の難度を適切に設計して、年齢毎に適した難度を有する遊具を設計することが可能であると考えられる。本節では、エビデンス

ベースドな遊具設計の試みとして、実際に石崖型の遊具設計を遊具メーカーと協力して行った事例を紹介する。

現在、遊具の設計において、どのように危険を制御すべきかに関する指針として、誰もが認める標準的なものは存在しておらず、運用の方針、設置される場所、使用者である子どもなどを考慮してケースごとに決められている。ここでは、安全性を確保するために、例えば、以下のような方針をとった場合について述べる。

1. 石崖の下部は低年齢層が登ることができないように、難度を高く設定する。
2. 石崖の中部は幼児のチャレンジ性を育む狙いで、難度が高い場所と低い場所が混在する石配置とする。
3. 石崖の上部は確実に登ることができるように、難度を低く設定する。

図12は上で述べたような設計コンセプトをもとに、遊具メーカーと協力し製作した石崖型遊具の図面の一例である。

また、図13に示すように、推定された筋電位をもとに設計した図面から各壁の難度を変化させることで、危険を制御した遊具を遊具メーカーと協力することで製作した。

今後は、設計した遊具が十分な安全性を有するか検証するために追実験、調査を行っていく計画である。すでに2007年9月より4台のカメラによる継続的行動観察を開始している。今後、幼児の石崖を登る経路や遊び方の詳細分析を行う予定である。さらに、事故が発生した場合その情報を確実に収集・保存し、事故

図12 設計指針に基づいて危険が制御された石崖の設計例

図 13 時空間意味情報マッピング・システムの新しい遊具設計への応用

の発生現状を把握，現地での追実験を行うことで知見を知識化し，対策を実施していく予定である。

5. おわりに

本論文では，日常行動理解研究を推進するために，異分野の専門家や知見を利用するユーザが，容易に利用できる情報の表現法や計算法の必要性を指摘し，日常行動現象の表現法，計算法，情報共有法を総合的に提供するシステムとして，「時空間意味情報マッピング・システム」を提案した。提案システムは，1) ロケーションセンサを用いた行動現象の時空間展開機能，2) 時空間座標系をベースとした多層的な情報の表現機能，3) 時空間統計数理を用いたモデリングとリターゲット機能から構成される。これにより，日常行動現象を日常空間座標系をベースとして多層的に情報を標準化・構造化して記述する作業，この記述法に基づく行動モデリング作業，構築した行動モデルの再利用作業の一連の作業を支援することが可能となる。

また本論文では，提案時空間意味情報マッピング・システムの実現可能性と有用性を考察するために，提案したシステムを石崖型遊具で遊ぶ幼児の行動計測と行動モデリングに応用した。行動計測システムとして超音波 3 次元タグシステムとウェアラブル筋電センサ，USB カメラによる情報を同期して収録することが可能な，ロケーション EMG システム (L-EMG) を開発した。これによって，画像処理解析のみでは取得困難であった人間の運動中における生理情報取得を物理センサによって取得し，その行動現象を時空間に展開して記述することが可能となった。この行動計測システムを用いて，横浜市の川和保育園の協力を得て，石崖型遊具で遊ぶ幼児 47 名を対象とした行動計測を実施した。

さらに本論文では，行動計測システムによって得ら

れた計測データに対して，時空間意味情報マッピング・システムのモデリング機能を適用することで，2 種類の行動モデルを構築した。構築したモデルの有効性を評価するために，構築したモデルによる推論値の精度評価をクロス評価によって行った。その結果，登り時の姿勢を考慮したモデルと考慮していないモデルとで，筋電位の予測誤差率を比較すると，登り時の姿勢を考慮した場合は，34.3%であったのに対し，考慮していない場合は 79.4%であり，登り時の姿勢を考慮することで，予測誤差率を 45.1%低下させられることを確認した。

今後の課題として，提案した時空間意味情報マッピング・システムを，様々な日常行動の記述や理解に適用することで適用事例を積み重ねつつ，時空間展開表現という新たな生活情報の表現法に基づく統計数理理論の構築，理論を使いやすい形で提供するシステムの実装，それらの実践的応用の研究を進める予定である。

参 考 文 献

- [1] I. Heywood, S. Cornelius, S. Carver, "Geographical Information Systems," *Pearson Education Limited*, 2006.
- [2] Y. Nishida, H. Aizawa, T. Hori, N.H. Hoffman, T. Kanade, and M. Kakikura, "3D Ultrasonic Tagging System for Observing Human Activity," in *Proceedings of IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2003)*, pp.785-791, 2003.
- [3] N. Cressie, "Statistics for Spatial Data (Revised Edition ed.)," *John Wiley & Sons, Inc*, 1993.
- [4] D. Stoyan, W. Kendall, J. Mecke, "Stochastic Geometry and Its Applications (2nd ed.)," *John Wiley & Sons, Inc*, 1996.
- [5] 松野 敬子, 山本 恵梨, "遊具事故防止マニュアル," かもがわ出版, 2006.
- [6] G. Yang (Ed.), "Body Sensor Networks," *Springer Verlag London*, 2005.
- [7] Y. Nishida, G. Kawakami, H. Mizoguchi, "Everyday Grasping Behavior Measurement with Wearable Electromyography," in *Proceedings of The 5th IEEE Conference on Sensors (Sensors2006)*, pp.988-991, 2006.
- [8] G. Kawakami, Y. Nishida, H. Mizoguchi, "In Situ Measurement of Playing Children by Wireless Wearable Electromyography," in *Proceedings of The 6th IEEE Conference on Sensors (Sensors2007)*, pp.993-996, 2007.
- [9] H. Akaike, "Information Theory and an Extension of the Maximum Likelihood Principle," *2nd International Symposium on Information Theory*, pp.267-281, 1973.
- [10] Y. Motomura, "Bayonet: Bayesian Network on Neural Network," *Foundation of Real-World Intelligence*, pp.28-37, 2001.
- [11] 本村 陽一, 岩崎 弘利, "ベイジアンネットワーク技術," 東京電機大学出版, 2006.

(2007年 8 月 31 日 受付)

(2007年12月20日 採録)

[問い合わせ先]

〒135-0064 東京都江東区青梅2-41-6

産業技術総合研究所

西田 佳史

TEL: 03-3599-8318

FAX: 03-5530-2066

E-mail: y.nishida@aist.go.jp

著者紹介

かわかみ ごろう
川上 悟郎 [非会員]

現在、東京理科大学大学院理工学研究科機械工学専攻修士課程在学。05年より産業技術総合研究所デジタルヒューマン研究センター技術研修員、日本ロボット学会の会員。

にしだ よしあき
西田 佳史 [非会員]

1993年東京大学工学部産業機械工学科卒業、1998年同大学大学院工学系研究科機械工学専攻博士課程修了。博士(工学)、1998年通商産業省工業技術院電子技術総合研究所入所。2001年改組により、独立行政法人産業技術総合研究所デジタルヒューマン研究ラボ研究員。2003年よりデジタルヒューマン研究センター人間行動理解チームチームリーダー。2005年より科学技術振興機構戦略的創造研究(CREST)「先進的統合センシング技術」領域「事故予防のための日常行動センシングと計算論の基盤技術」の研究代表者。人間の日常行動の観察技術およびモデリング技術の研究に従事。日本ロボット学会論文賞・研究奨励賞、第一回デジタルコンテンツ船井賞、ドコモ・モバイルサイエンス賞などを受賞。IEEE、日本ロボット学会、人工知能学会の会員。

もとむら よういち
本村 陽一 [非会員]

1993年3月電気通信大学電気通信学部修士課程修了。同年4月電子技術総合研究所入所。2001年産業技術総合研究所情報処理研究部門主任研究員を経て、2003年よりデジタルヒューマン研究センター主任研究員。人工知能学会研究奨励賞、全国大会優秀賞、ドコモモバイルサイエンス賞、IPA未踏ソフトウェアスーパークリエイターなど受賞。電子情報通信学会、日本人工知能学会、日本神経回路学会、日本認知科学会、日本行動計量学会、マーケティングサイエンス学会、IEEE各会員。

みずぐち ひろし
溝口 博 [非会員]

1980年東京大学計数工学科卒業。1985年同大学大学院博士課程修了。同年(株)東芝入社。1994年東京大学先端科学技術研究センター助教授。1997年埼玉大学工学部情報システム工学科助教授。2002年より東京理科大学理工学部機械工学科教授。2003年より産業技術総合研究所デジタルヒューマン研究センター客員研究員。人間とロボットとのインタラクション、動画処理の研究に従事。日本ロボット学会、計測自動制御学会、情報処理学会、IEEEの会員。

Everyday Life Behavior Modeling Based on Spatio-Temporal Expansion of Behavior Metrics Sensing Using Location-EMG Sensor

by

Goro KAWAKAMI, Yoshifumi NISHIDA, Yoichi MOTOMURA and Hiroshi MIZOGUCHI

Abstract :

Understanding everyday life behavior requires multidisciplinary and integrated research. This stems from the fact that everyday life behavior is much higher dimensional phenomena than a single academic society can deal with. This paper discusses a method for representing and processing information to deal with everyday life behavior and proposes a new concept of a "spatio-temporal-semantic mapping system (STS Map)" that allows us to standardize and integrate a variety of information and to share information multidisciplinary. The features of the STS Map lie in 1) spatio-temporal expansion of behavior metrics sensing with location sensor, 2) representation based on an environmental coordinate system, 3) a statistical modeling process for knowledge acquisition and a retargeting process. To show the effectiveness of the proposed STS mapping system, this paper reported an implemented system and a case study using the implemented system. In the case study, we conducted in situ measurement of 47 children playing with equipment by a wireless wearable location-electromyography sensor and created two models on a children's skill from the measured data. This paper reported cross-validation of the constructed behavior models and compared them. This paper also reported a new design of play equipment having a climbing part that was suitable for the target age group of children. The new design was conducted using the created model in collaboration with playground equipment designers.

Keywords : everyday life behavior model, spatiotemporal information process, wearable sensor, location sensor, location-electromyography sensor

Contact Address : **Yoshifumi NISHIDA**

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology(AIST)

2-41-6 Aomi, Koto-ku, Tokyo 135-0064, JAPAN

TEL : 03-3599-8318

FAX : 03-5530-2066

E-mail : y.nishida@aist.go.jp