

時間サンプリングに依存しない時空間不変量

溝口 睦

佐藤 淳

名古屋工業大学 電気情報工学科

〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町

mizoguti@hilbert.elcom.nitech.ac.jp, junsato@elcom.nitech.ac.jp

あらまし：視点位置に依らずに対象物を認識するには幾何学的不変量が非常に有用である。従来の不変量は形状などの空間的な特徴に関するものであったが、対象物を認識する上では、その対象物が持つ運動も非常に重要な情報である。そこで我々は、空間中でのみ考えられていた従来の不変量を、時間軸も入れた時空間に拡張した時空間不変量を提案し、視点に依らない動作認識が可能であることをこれまでに示した。しかし、時空間不変量では時間軸という新たな座標軸を入れたことから、時間軸方向のサンプリングが常に等しくなければならないという問題があった。そこで本稿では、時空間中に *tri-tangent* という概念を導入することにより、時間サンプリングに依存しない時空間不変量の計算法を提案する。また実験によりジェスチャなどの運動が、視点によらず、また時間サンプリングによらず認識可能あることを示す。

キーワード：時空間不変量，幾何学的不変量，動作認識，トリタンジェント

Space-Time Invariants from Unsynchronized Image Sequences

Makoto Mizoguchi

Jun Sato

Nagoya Institute of Technology

Gokiso-cho, Showa-ku, Nagoya 466-8555, JAPAN

mizoguti@hilbert.elcom.nitech.ac.jp, junsato@elcom.nitech.ac.jp

Abstract : Geometric invariants are very useful for recognizing objects in the scene from arbitrary viewpoints. The existing invariants are defined by the spatial configurations of image features. However, motion patterns of objects are also very important cue for recognizing objects in the scene. Thus, we recently proposed the space-time invariants which extend the existing invariants defined in the space, and showed that they enable us to recognize motions of objects from arbitrary viewpoints. However, since the space-time invariants are defined both in the space and the time, they require the synchronization of image sampling in the time domain. Thus, in this research, we propose a method for computing space-time invariants from sequential images taken by arbitrary time sampling. To do this, we introduce the concept of *tri-tangent* in the space-time. Moreover, we apply the proposed space-time invariants for gesture recognition, and show that they enable us to recognize gestures reliably from arbitrary viewpoint.

Keywords : space-time invariants, geometric invariants, motion recognition, *tri-tangent*

1 はじめに

我々の生活の中では、物体の運動の情報が非常に重要な役割を持つことが多い。人間はあるシーンを理解するとき、シーン中に存在する物体からだけでなくシーン中の物体の動きからもその場を表す重要な情報を得ている。例えば、手話やジェスチャには一つ一つの動作にそれぞれ意味が含まれている。また、単に人間が歩くという動作にもそこにはその人個人がもつ歩き方の特徴や癖といった情報が含まれている。このような情報は個人を識別する際に重要な役割を果たす。またこのような動きの動きの情報を利用することで、テレビやビデオ、インターネットから得られる動画像情報を検索システムへ応用しある特定の動作のシーンを抜き出すことができる。

従来の研究より、カメラから得られた映像を用いたジェスチャ認識や、物体の動きからシーンの内容を読み取ることが可能であることが示された [4],[5]。しかし、これらの動作認識は画像内の注目する対象の特徴量をもとに運動の識別を行っているため、カメラの視点や内部パラメータが変化すると一般に全く異なる値となるため応用が難しい。通常 3 次元空間中の運動はカメラから画像上に投影したものが扱われるが、このとき視点やカメラの内部パラメータが限定されると非常に大きな制約を受けたことになる。つまり、3 次元空間中の対象物が自由な視点から得られる場合も認識できることが求められる。

近年、視点位置に依らずに対象物を認識する方法として、幾何学的不変量を用いる方法が注目されている。これまでは物体の形状や表面パターンなど静的な特徴に関する不変量についての報告がなされている [1],[3],[6],[7]。しかし、先にも述べたように動きの中にも重要な情報が含まれている。そこで、対象物の運動を識別するために従来の空間的な特徴に関するものであった不変量を、時間軸を加えた時空間に拡張した時空間不変量が提案された [2]。これにより、対象物がもつ動的な特徴である動作や運動などを視点位置に依らずに識別することが可能となった。しかし、この時空間不変量は時間軸という新しい座標軸を入れたために、時間軸方向のサンプリングが常に等しくしなければならない、つまり画像の取得を同期させなければならないという問題があった。

そこで、本稿では時空間中に tri-tangent という

概念を導入することにより、時間サンプリングに依存しない時空間不変量の計算方法を提案する。更に、このような時空間不変量を用いることにより、対象物の運動が視点によらず、また時間サンプリングによらず識別可能であることを示す。

以下、最近提案された時空間不変量における問題について考え、その問題を解決するために導入した tri-tangent の性質と tri-tangent の接点の計算方法について述べる。次に、tri-tangent より抽出した特徴点をもとに、運動の軌跡を表す時空間曲線を正規化する方法を述べる。そして、このような時空間曲線から運動を識別する方法について述べる。最後に、実際に連続画像を用いて対象物がもつ運動が視点や時間サンプリングによらず識別可能であることを示す。

2 時空間投影と時空間不変量

図 1(a1) は人物がある運動をしているときの連続画像の一部である。この運動をトラッキングし、2 次元画像に時間軸を加えた 3 次元の時空間においてその軌跡を表したものを図 1(a2) に示す。一方、同じ運動を別の視点のカメラから観測した結果が図 1(b1) 及び (b2) である。このようにして得られる投影された時空間における軌跡から人物の動作を識別したい。しかし図 1(a1) と (b2) に示すように、連続画像がなす時空間における軌跡はカメラと人物の相対的な位置関係によって全く違ったものとして観測される。そこで、位置や姿勢やカメラ

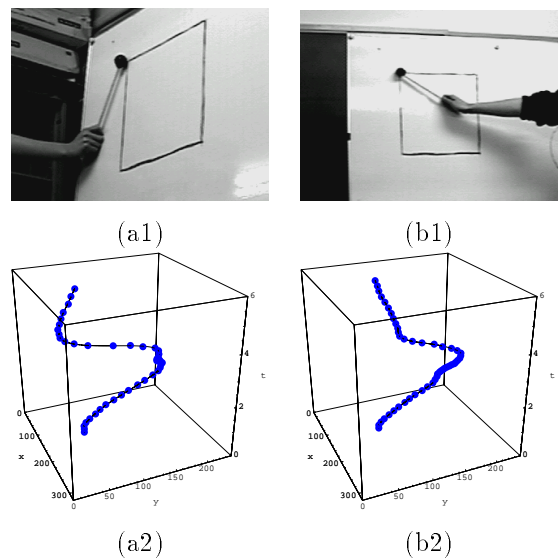


図 1: 時空間における軌跡

ラの内部パラメータによらず同じ動作であれば同じ値をとる時空間不変量をもとに運動の認識を行う方法を検討する．まず，実際の空間がなす時空間から画像がなす時空間への投影について説明する．

2.1 時空間不変量

3次元空間中の平面 Π 上の点 $X = [X, Y]^T$ から2次元画像 π 上の点 $x = [x, y]^T$ への投影は平面射影変換である．従って，投影の前後で変わらず保持される射影不変量が存在する．よって，射影変換によって投影された画像同士であれば，たとえ異なる視点から投影されたものであっても射影不変量を用いて物体認識等が行える．

しかし，本稿で扱う対象は形状ではなく運動である．そこで対象空間を平面とし，この空間 Π と時間 Σ よりなる時空間を考える．平面 Π 上の点 $X = [X, Y]^T$ の運動は3次元時空間 $\Pi \times \Sigma$ における点 $W = [X, Y, t]^T$ の軌跡と考えることができる．ここで時空間 $\Pi \times \Sigma$ を投影してできる画像がなす時空間 $\pi \times \sigma$ を考える．平面 Π 上の点 $X = [X, Y]^T$ の運動は時空間 $\pi \times \sigma$ 中では点 $w = [x, y, t]^T$ の軌跡として観測される．つまり， $\Pi \times \Sigma$ から $\pi \times \sigma$ への時空間投影は，空間 Π に対する2次元の射影変換と時間 Σ に対する1次元の恒等変換よりなる3次元の異方性投影である．

このような異方性投影のもとでは一般に不変量は存在しない．しかし，空間軸の投影に弱透視投影が仮定できるとき時空間投影はアフィン変換となることが最近の研究で明らかになった [2]．一般にアフィン変換のもとではアフィン不変量が存在することが分かっている．従って，このような場合はアフィン不変量として時空間不変量が定義できる．すなわち，時空間という拡張された空間において不変量を考えることにより，これまで形状などの静的な特徴の認識に限定されていた不変量を，運動や行動などの動的な特徴の認識に拡張して応用することが可能となった．

2.2 時間サンプリング

以上に述べたように，図 1(a1) 及び (b2) に示すような3次元時空間中の5点より，アフィン不変量として時空間不変量が計算できる．しかし，時間という新たな次元を加えたことにより，不変量計算のための特徴点を取得する時に，時間軸方向のサンプリングの同期を保つことが新たに必要となった．例えば，第1の視点では1秒間隔でサン

プリングし，第2の視点では2秒間隔でサンプリングした場合は同一の運動を観測したにもかかわらず，これら二つの視点で計算した時空間不変量は一致しない．このことから分かるように，一般に時間軸のサンプリング間隔が異なる場合には画像がなす時空間中の軌跡から運動の一致を比較することはできない．

そこで次節以降では，時空間の軌跡に対し tri-tangent という性質を用いることにより，時間サンプリングに依存しない特徴点を抽出し不変量を計算する方法を提案する．

3 tri-tangent

今，時空間における点の軌跡を時空間曲線として考える．このような時空間曲線は時空間中の点列に対して3次元 B スプライン曲線をフィッティングすることにより得られる．曲線から不変量を求める場合の大きな問題点は，多角形や多面体のような明確な特徴点が存在しないことである．そこで本研究では，tri-tangent という概念を用いて射影変換のもとで不変な特徴点を導き出すことを考える．

3.1 tri-tangent とその射影不変性

2次元平面上に曲線があるとき，この曲線に2点で同時に接する直線を bi-tangent と呼ぶ．この bi-tangent の接点は平面射影変換によって変化しない特徴点であることが知られている [7],[8]．本節では，これを3次元空間における空間曲線に拡張した tri-tangent について考える．

3次元空間において同一直線上にない3点を通る平面はただ一つ存在する．今，3次元空間中に空間曲線 Γ が存在するとすると，図 2 に示すようにこの空間曲線 Γ に3点で接する平面 π を定義することができる．このような空間曲線に3点で接する平面を tri-tangent と呼ぶ．

ここで，tri-tangent の接点が射影変換のもとで不変な特徴点であることを示す．図 2 に示すように，空間曲線 Γ 上の3点 a, b, c で接する平面を π とし，曲線 Γ が射影変換 \mathcal{P} により曲線 Γ' へと変換されると考える．このとき， Γ 上の3点 a, b, c はそれぞれ Γ' 上の a', b', c' に変換されるとする．すると， a, b, c の3点を通る平面 π はこの射影変換 \mathcal{P} により a', b', c' の3点を通る平面 π' へと変換される．ここで問題となるのは，変換後の平面 π' が果たして曲線 Γ' に対して tri-tangent となるか否か

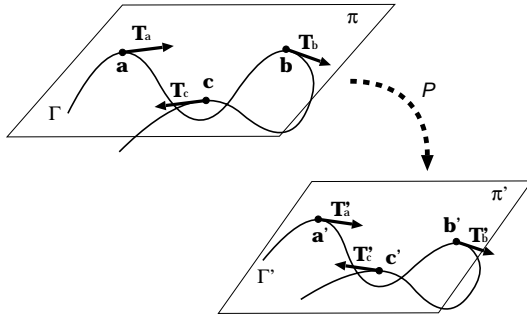


図 2: tri-tangent

である．以下ではこの性質が成り立つことを示す．

Γ 上の 3 点 a, b, c における接ベクトルをそれぞれ T_a, T_b, T_c とすると, T_a は平面 π 上のベクトルである．射影変換においては, 平面上の直線は必ず対応する平面上の直線へと変換されるので, 接ベクトル T_a は射影変換 P により点 a' を通る平面 π' 上のベクトル T'_a へと変換される．射影変換では特異な場合を除けば, 曲線上の接ベクトルは曲線上の接ベクトルへと変換されるので, T'_a は曲線 Γ' の接ベクトルであり, かつ平面 π' 上に存在することがわかる．点 b, c における T_b, T_c についても同様であるので, a', b', c' におけるそれぞれの接ベクトル T'_a, T'_b, T'_c が平面 π' 上に存在する．従って, π' は曲線 Γ' に 3 点 a', b', c' で接する接平面であるといえる．すなわち, 曲線上の 3 点 a, b, c がなす平面が tri-tangent であるとき, これを射影変換した曲線上の 3 点 a', b', c' がなす平面も tri-tangent となる．従って, tri-tangent の接点は射影変換によって変化しない仮想的な特徴点と考えることができる．

3.2 tri-tangent の計算方法

今, 空間曲線 Γ 上の 3 点を a, b, c とし, 各点における接ベクトルを T_a, T_b, T_c とする．曲線上の点 a, b, c を通る平面 π がこの曲線の tri-tangent となるためには, すなわちこの曲線の接平面となるためには, 点 a, b, c における接ベクトル T_a, T_b, T_c が点 a, b, c を通る平面上に存在すればよい．従って, 点 a, b, c を通る平面 π の法線ベクトルを n とすると, この法線ベクトル n と各点における接ベクトル T_a, T_b, T_c の内積が 0 であればよいので式 (1)~(3) を同時に満たせばよい．

$$n \cdot T_a = 0 \quad (1)$$

$$n \cdot T_b = 0 \quad (2)$$

$$n \cdot T_c = 0 \quad (3)$$

ここで, n は $n = (a - c) \times (b - c)$ などとして求まる．また, 3 点は同一直線上にあってはならないので式 (4) を満たすことも必要である．

$$(a - b) \cdot (a - c) \neq 0 \quad (4)$$

しかし, これらの条件を満たす点 a, b, c を Γ 上で探索するのは非常に時間がかかる．そこで, ピラミッド法により高速に tri-tangent を見つける方法を次に述べる．この方法では, まず粗く tri-tangent の存在しそうな 3 点の組み合わせを見つけておき, その近傍を徐々に細かく探索していく．これにより, 最終的に精度の良い tri-tangent を高速に発見するというものである．

まず, 空間曲線上の点を一定区間ごとに選ぶ．そして, これらの点から 3 点を選ぶ全ての組み合わせについて式 (1)~(3) の $n \cdot T_a, n \cdot T_b, n \cdot T_c$ を計算する．ある閾値より小さいものの中から極小値を求め, その極小値の近傍をさらに小さい区間に分割する．このような区間の分割と極小値の計算を繰り返すことによって tri-tangent の精度を上げていく．最終的に, ある閾値より小さくなった時点で繰り返しを終了させることによって tri-tangent の接点を求める．

4 tri-tangent を用いた時空間不変量の計算

以上より, tri-tangent の接点は射影変換のもとで不変な特徴点となることがわかった．本章では, このような特徴点を用いて時空間不変量を計算し 2 つの運動を識別する方法について述べる．

4.1 Canonical Frame

2 章で述べたように, 連続画像がなす時空間における軌跡はカメラと人物の相対的な位置関係によって全く違ったものとして観測される．そのため, 得られる時空間曲線の形状は全く異なる．しかし, ここでは弱透視投影を仮定しているため, もし同じ運動であれば 2 つの時空間曲線はアフィン的に等しくなる．そこで, tri-tangent の接点として求めた特徴点をもとに, 時空間曲線を Canonical Frame に正規化する．Canonical Frame とは, 曲線上の同一平面上にない特徴点 4 点をアフィン基底とすることによって正規化した空間である．この正規

化によって、カメラと対象の相対的な位置や姿勢、時間サンプリングが異なることによって起こるアフィンの歪みを全て取り除くことができる。

次にこの Canonical Frame を作成する方法を示す。今、時空間中の点 $X = [X, Y, T]^T$ から $X' = [X', Y', T']^T$ への3次元アフィン変換を考える。このアフィン変換はアフィン変換行列 H_a を用いて以下のように表される。

$$\tilde{X}' = H_a \tilde{X} \quad (5)$$

ここで $(\tilde{\cdot})$ は第4要素が1であるような斉次座標を表す。またアフィン変換行列 H_a は式(6)で表される自由度12の行列である。

$$H_a = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} & p_{14} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} & p_{24} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} & p_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

未知のアフィン変換 H_a により時空間中の4点 $X_i (i = 1, \dots, 4)$ が $X'_i (i = 1, \dots, 4)$ に変換されたとする。すると、アフィン変換 H_a はこれら4点の移動から次のように不定性なく決定できる。

つまり時空間曲線の Canonical Frame への正規化は、図3に示すように、曲線上の4つの基底点が正規直交基底となるように、時空間曲線全体を変換することにより行われる。今、曲線上の4つの基底点を $X_i (i = 1, \dots, 4)$ とし、Canonical Frame における正規直行基底を $X'_i (i = 1, \dots, 4)$ としたとき、時空間中の曲線から Canonical Frame への変換 H_a は式(7)により求めることができる。

$$H_a = [\tilde{X}'_1 \ \tilde{X}'_2 \ \tilde{X}'_3 \ \tilde{X}'_4] [\tilde{X}_1 \ \tilde{X}_2 \ \tilde{X}_3 \ \tilde{X}_4]^{-1} \quad (7)$$

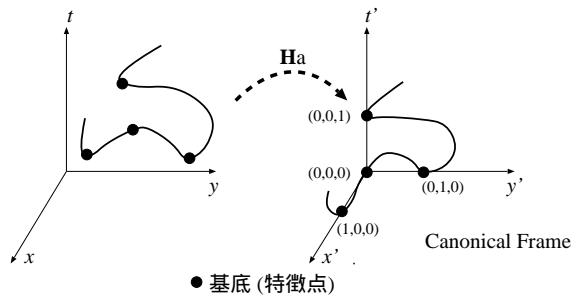


図3: Canonical Frame への正規化

4.2 時空間不変量による動作認識

2つの異なる時空間曲線を Canonical Frame へ正規化することでそれらの運動が比較可能となる。アフィンカメラで投影した場合その投影はアフィン変換で表せる。図4に示すように、各視点への投影をそれぞれアフィン変換 A_1, A_2 で表すと、時空間曲線 Γ はそれぞれ Γ_1, Γ_2 となる。 Γ_1, Γ_2 は、3次元時空間における座標は異なるがアフィンのには等しい。そこで対応する4点の特徴点をもとに、アフィン変換 H_{a1}, H_{a2} を行うことによって Canonical Frame における曲線 Γ'_1, Γ'_2 を得る。視点が異なっても同じ対象を投影したものであれば、 Γ'_1 と Γ'_2 の対応する点の座標が一致する。つまり、2つの曲線は Canonical Frame において重なる。

しかし、実際には時空間曲線のフィッティング誤差、画像ノイズや正規化の際に用いる4つの基底点の精度などにより、Canonical Frame においても2曲線は完全には一致しない。そこで、図5に示すような Canonical Frame における2曲線間にできる曲面の面積をもとに、2曲線間の距離の差の平均を計算し同一運動かを判別する。

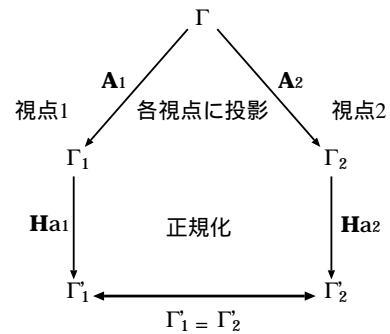


図4: 第1, 2視点間の関係

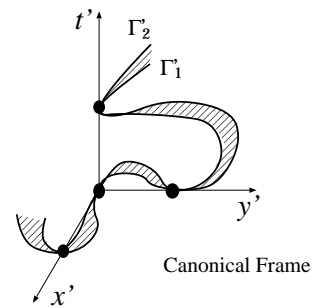


図5: 2曲線間にできる曲面

5 実験

次に、時空間不変量を用いて動作認識を行った実験結果を示す。

5.1 シミュレーション実験

まず、コンピュータ上で仮想的に作成した2つの運動が同一であるかどうかを判別するシミュレーション実験を行った結果を示す。図6に示すような平面運動を行う点を異なる2つの視点でカメラに投影した。このとき、画像サンプリングの時間間隔を第1視点では第2視点の1.5倍とした。

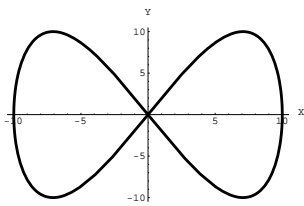


図6: 対象とした運動

図7(a1), (b1)は異なる2つの視点で投影したときの画像における軌跡を時空間において表現した結果である。図中の点は画像サンプリングで得られた点であり、この点に対しBスプライン曲線をフィッティングした結果が図7(a1), (b1)中の時空間曲線である。(a1), (b1)より視点が異なれば、画像から得られる軌跡は大きく異なり、またサンプリング間隔も異なっていることがわかる。これらの時空間曲線より tri-tangent の性質を用いて特徴点を抽出した。得られた特徴点の中から、図7(a2), (b2)に示す4点を基底点として選び、それぞれの時空間曲線を Canonical Frame へ正規化した。その結果が図7(a3), (b3)である。Canonical Frame へ正規化した時空間曲線は互いに等しいことから、同一運動であると判断することができる。

このように視点や時間サンプリングが異なっても、tri-tangent を用いて正規化を行うことにより運動の同一性を判断することが可能であることがわかる。

5.2 実画像による実験

次に、視点も時間サンプリングも異なる条件下で、実際の対象物の運動をカメラに投影して得られた画像から時空間不変量をもとに運動の識別を行った結果を示す。

図8(a1)及び(b1)は、3拍子の運動を2つの異なる視点において観測している様子である。相関ト

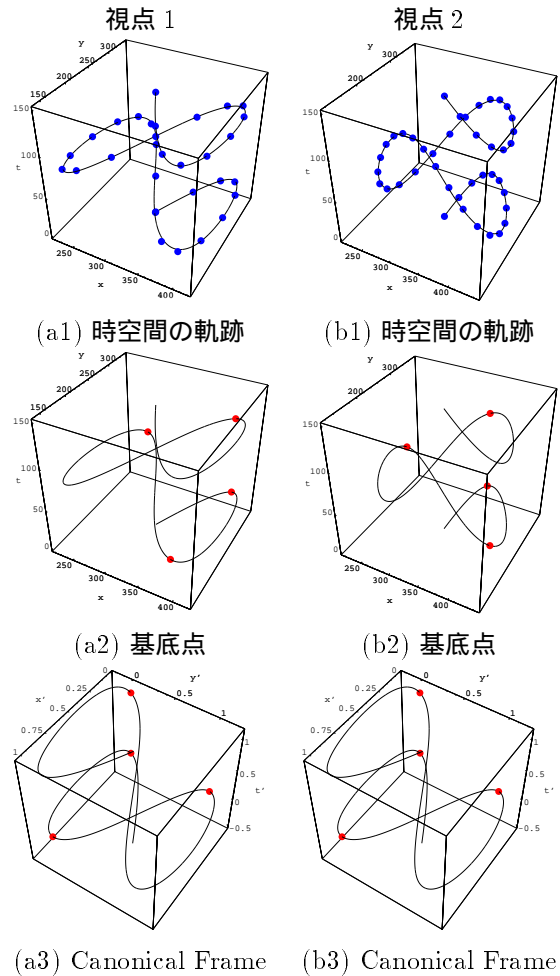
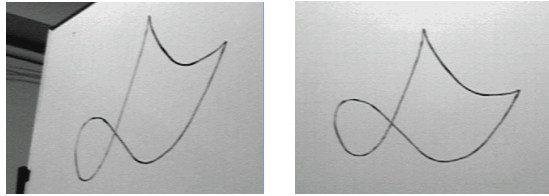


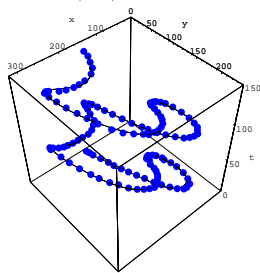
図7: 時空間不変量の計測結果(8の字)

ラッカーにより画像中の運動の軌跡を求めた。それぞれの視点における連続画像から時空間における運動の軌跡を求めた結果を図8(a2)及び(b2)に示す。図中の点が画像サンプリングで得られた点であり、視点1では127点、視点2では106点であった。従って、これらの2つの視点において画像サンプリングは同期していない。これらの点に対しBスプライン曲線をフィッティングし tri-tangent を用いて特徴点を抽出した。これらの特徴点のうち、基底点とした4点を図8(a3)及び(b3)示す。これらの基底点をもとに時空間曲線を Canonical Frame へ正規化した結果が図8(a4)及び(b4)である。正規化前と正規化後の2つの曲線の一致度をみるため2曲線間の距離の差の平均を計算した。この結果を図8(c)に示す。正規化を行いアフィンの歪みを取り除いたために2曲線が一致していることが確認できる。図8(a4)及び(b4)に見るように、2

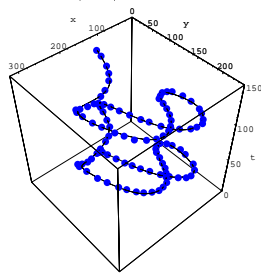


(a1) 視点 1

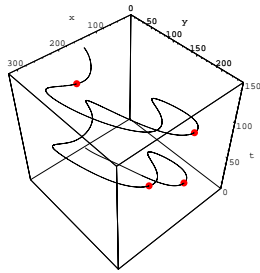
(b1) 視点 2



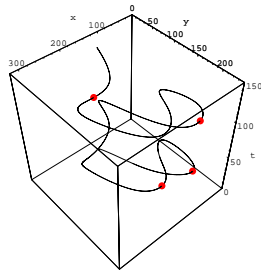
(a2) 時空間の軌跡



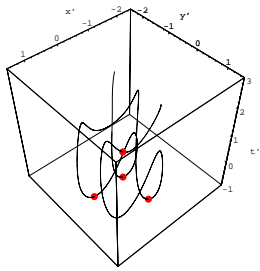
(b2) 時空間の軌跡



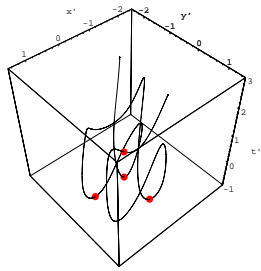
(a3) 基底点



(b3) 基底点



(a4) Canonical Frame



(b4) Canonical Frame

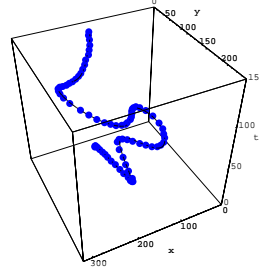
正規化前	173.210
正規化後	0.841206

(c) 2 つの時空間曲線の平均距離

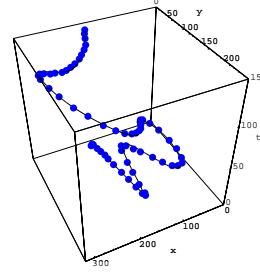


(a1) 視点 1

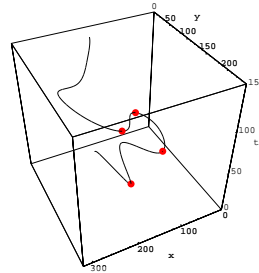
(b1) 視点 2



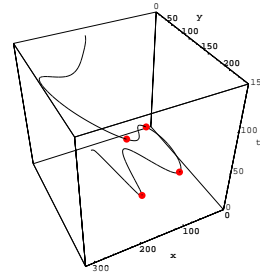
(a2) 時空間の軌跡



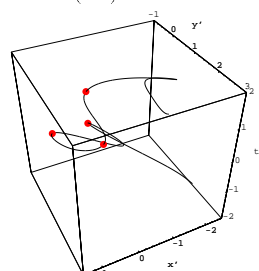
(b2) 時空間の軌跡



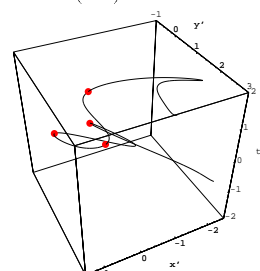
(a3) 基底点



(b3) 基底点



(a4) Canonical Frame



(b4) Canonical Frame

正規化前	124.164
正規化後	0.933867

(c) 2 つの時空間曲線の平均距離

図 8: 時空間不変量の計測結果 (3 拍子)

図 9: 時空間不変量の計測結果 (4 拍子)

つの時空間曲線はほぼ一致していることから、実画像を用いた場合においても、視点や時間サンプリングが異なっても運動の同一性を判断できることを確認することができる。

図 9(a1) 及び (b1) は 4 拍子の場合の例である。画像サンプリングで得られた点は、視点 1 では 79 点、視点 2 では 66 点であった。同様に、時空間曲線を求めて特徴点を抽出し、Canonical Frame へ正規化した結果を図 9(a4) 及び (b4) に示す。正規化前後の 2 曲線間の距離の差の平均を図 9(c) に示す。4 拍子の運動においても 3 拍子のときと同様に、視点が異なっても正規化することで同一運動だと判断できる。また、これらの図より明らかなように、3 拍子の運動と 4 拍子の運動では Canonical Frame における時空間曲線は大きく異なっており、2 つの異なる運動が識別可能であることがわかる。

6 まとめ

本稿では、時空間中に tri-tangent という概念を導入することにより、時間サンプリングに依存しない時空間不変量の計算法を提案した。

まず、空間曲線に 3 重に接する tri-tangent の概念を導入し、tri-tangent の接点が射影的に不変な特徴点となることを示した。次に、時空間中の点に B スプライン曲線をフィッティングし、この時空間曲線から tri-tangent の性質を用いて特徴点を導き出した。そして、求めた特徴点を用いて時空間曲線を Canonical Frame へ正規化することによって、位置や姿勢、時間サンプリングが異なることによって起こるアフィンの歪みを取り除く方法を示した。そして、Canonical Frame へ正規化した時空間曲線の一致度をみることにより、運動が同一かどうかを判別する方法を提案した。

シミュレーションと実画像を使った実験により、視点や時間サンプリングが異なっても、tri-tangent を用いて正規化することにより運動の認識ができることを確認した。

本稿では平面運動を扱ったが、一般の 3 次元空間中の運動への拡張が今後の課題である。

謝辞

日頃ご指導頂いている名古屋工業大学佐藤幸男教授に感謝する。

参考文献

- [1] 杉本晃宏. 幾何学的不変量とその応用. In 松山隆司, 久野義徳, and 井宮淳, editors, コンピュータ

ビジョン 技術評論と将来展望, pp.97-122, 新技術コミュニケーションズ, 1998.

- [2] 佐藤淳. 時空間不変量と視点によらない動作認識. 電子情報通信学会論文誌, J84-D-II(8):1790-1799, 2001.
- [3] 佐藤淳. コンピュータビジョン 視覚の幾何学. コロナ社, 1999.
- [4] A.F. Bobick and A.D. Wilson. A state-based technique for the sammarization and recongnition of gesture. *Proc. 5th International Conference on Computer Vision*, pp.382-388, Cambridge, USA, 1995.
- [5] T. Darrell and A. Pentland. Space-time gestures. *Proc. Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp.335-340, New York, 1993.
- [6] J.L. Mundy and A. Zisserman. Geometric Invariance in Computer Vision. *MIT Press*, Cambridge, USA, 1992.
- [7] A. Zisserman, D. Forsyth, J. Mundy, C. Rothwell, J. Liu, and N. Pillow. 3D object recognition using invariance. *Artificail Intelligence*, Vol.78, pp. 239-288, 1995.
- [8] J. Sato and R. Cipolla. Affne reconstruction of curved surfaces from uncalibrated view of apparent contours. *Proc. 6th International Conference on Computer Vision*. pp.715-720, Bombay India, January, 1998.