

基礎論文

録画された移動物体行動の複合現実型提示における一覽性の向上

長島 正典^{*1} 林 将之^{*1} 北原 格^{*1} 亀田 能成^{*1} 大田 友一^{*1}

Overview Visibility Improvement for Behaviour of Moving Object in Mixed-Reality Presentation

Masanori Nagashima^{*1} Masayuki Hayashi^{*1} Itaru Kitahara^{*1} Yoshinari Kameda^{*1} Yuichi Ohta^{*1}

Abstract – This paper proposes a new Mixed-Reality presentation of spatio-temporal behaviour of a moving object in a observer viewpoint. The behaviour of the moving object was recorded in advance as a sequence of pairs of spatial position and its texture by environmental camera. A reviewer can see simultaneous replays of the moving object so that he/she can shorten the time to browse the behaviour. Since large number of simultaneous replays increases the chance of overlapping textures, we propose the method to determine the best number of replays. We also propose an enriched visualization of trajectory of the moving object so that the reviewer can recognize the moving direction of the object easily. We have conducted subject tests on our proposed traject visibility and simultaneous replays of the moving object and show the results.

Keywords : Mixed-Reality, Behavior of moving object, Perspicuity, Over-time information, Movement locus, Ijidozu-method

1 はじめに

屋外に設置された環境カメラで記録された移動物体の行動記録を、複合現実感型提示によって一覽性よく可視化することが本研究の目標である。移動物体の行動は、シーン中での時空間的軌跡とその振る舞いによって定義できる。本研究では、移動物体の進行方向を理解できるような軌跡の提示方法と、移動物体の振る舞いを現在の複合現実空間の可視化視野内に一覽性よく提示する方法(図1)とを提案する。

近年の画像処理技術の発展に伴い、環境カメラから移動物体の位置情報とその見かけのテクスチャ情報が安定して得られるようになりつつある。典型的な例は、監視カメラにおける人物行動の記録と追跡であり、この場合は、人物の大きさに合わせたテクスチャ情報とその位置が時系列で得られることになる。記録された移動物体の位置とテクスチャを利用すれば、複合現実感技術によって、移動物体がシーン中でどのように行動していたかを閲覧者に視覚的に提示することが可能となる。

視覚的確認のための移動物体記録提示方法として基本となるのが、移動物体のテクスチャを記録された位置に合わせて表示し、それを時間軸に沿って再生する等倍速再生法である。等倍速再生した場合、閲覧者は対象物体がシーン中のどの位置でどのように振る舞っていたかを、実時間性をもって視覚的に確認することができる。これを実時間了解性と呼ぶ。一方で、等倍速再生の制約として、対象物体の行動を全て観察する

ために、対象が行動に要した時間だけ必要になる。これを時間制約と呼ぶ。また、等倍速再生の難点として、再生中に閲覧者には対象物体が提示されている位置に合わせて視線を動かすことが要求されるため、実質的に閲覧者に視点の自由度が与えられていないことが挙げられる。これを方向制約と呼ぶ。

本稿では、等倍速再生の時間制約と方向制約とを解消する方法として、異なる時刻の移動物体を閲覧者の視野内に描き込む異時同図法[9]を用いることを提案する。異時同図法は、一つの構図の中に対象物体の異なる時刻の状態を描く方法で、絵巻物物語や生物の生長の図示などに用いられている(図2)。複合現実感型提示に異時同図法を導入する際には、時刻毎に移動物体の表示すべき位置とテクスチャが定まっているという制約が課せられる。提案手法では、それぞれの移動物体表示においては等倍速を保つよう並列再生する。並列再生の並列度を上げるほど、異なる時刻の移動物体の様子を同時に観察できるので、時間制約の解消が進むことになる。また、並列再生によって、閲覧者にとっては自由に視線方向を変えても視野内に移動物体表示が存在している可能性が増えることになり、方向制約の解消につながる。ただし、並列度を上げすぎると、異なる時刻の移動物体表示どうしが重なり視認性が低下する。そのため、本稿では、移動物体表示どうしの重畳を避けながら等倍速並列再生を実現する方法を示す。

移動物体行動の複合現実型提示における一覽性向上のさらなる手段として、軌跡の可視化があげられる。軌跡は移動物体行動を表す重要な情報であるが、単なる線として可視化すると、移動方向を認知することが

^{*1}筑波大学大学院システム情報工学研究科^{*1}Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

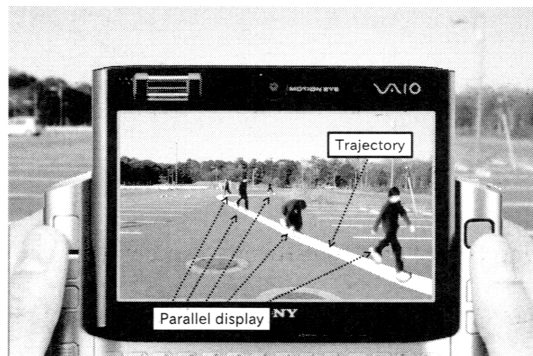


図1 提案手法による移動物体行動の提示
Fig.1 MR review of moving object

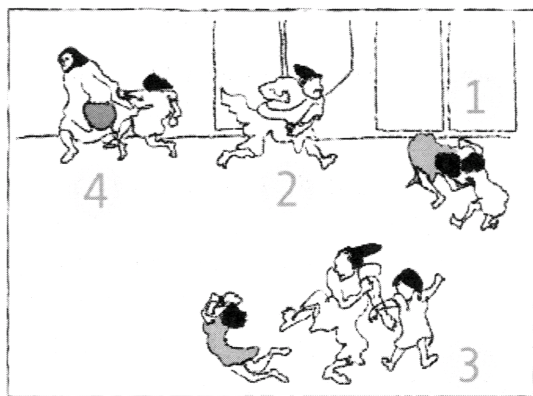


図2 異時同図法による描画例 ([9] より引用)
Fig.2 An example of Ijidouzu drawing method

できないという課題が残る。そこで、本稿では、軌跡を表す線に太さと色という補助情報を付加し、その補助情報が移動方向の認知に貢献できるかどうかについても調査する。

なお、以後、本稿では、シーン中に移動物体は1つのみ存在すると仮定し、環境カメラでの録画から、そのテキストチャと位置情報は予め取得済みであるとする。ある時刻における一組のテキストチャと位置情報をサンプルと呼ぶ。サンプルは必ずしも一定時間間隔で取得できるとは限らないため、提案手法では非定常間隔のサンプルに対応する。また、その複合現実感型可視化においては、ビルボード法 [1] を用いる。

2 関連研究

シーン中の移動物体の様子を複合現実型提示によって視認させようとする代表的な取り組みは、環境カメラの映像をリアルタイムに加工して表示するものである。津田らのホッピングカメラ [2] では、閲覧者の視点で見る映像から環境カメラ視点の映像へと仮想的に視

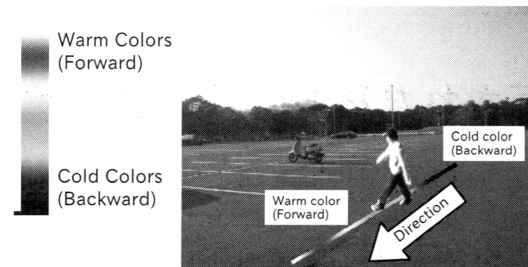


図3 色グラデーションによる進行方向の提示
Fig.3 Direction indication by color gradation

点が移動する映像を提示する。これにより、環境カメラの撮影範囲の映像間での対応を閲覧者が容易に理解でき、視点の違いを理解し易くできる。しかし、あくまで移動物体の行動を観察するのは環境カメラ視点の映像からであり、閲覧者の視点と環境カメラの視点の違いを意識する必要がある。一方で、環境カメラ映像を利用して死角領域の情報を可視化する手法 [3][4][5] の応用では、物体の行動を単純に等倍速再生することは可能であるものの、それを一覧性よく閲覧するようにはデザインされていない。

過去に多視点から撮影された画像を閲覧する手法として、青木らの Virtual Time Machine [6] や Snavelly らの Photo Tourism [7] が挙げられるが、いずれもシーン全体を表現することに主眼が置かれており、シーン中の移動物体の行動を閲覧する目的には向いていない。

また、竹内らは現在と異なる時間帯のシーンを同時に表現する Parallel Reality という概念を提唱しており、その中の1つの手法として PRIMA (Parallel Reality-based Interactive Motion Area) [8] を開発している。PRIMA では、過去の人物と現在の人物とがインタラクションしている映像を生成する。シーン中の過去の運動物体を、現在と照らし合わせて参照するような閲覧が可能であると考えられるが、移動物体の行動を一覧できる提示手法を目指していない点で本研究とは異なる。

3 移動方向を認知できる軌跡描画法

環境カメラで撮影された映像の各フレームで検出された移動物体の足元位置を線分で連結したものが軌跡である。

軌跡の表示に際しては、線分を管状の CG で表現することでその太さと色を付加情報として用意し、移動方向を認知させるための手がかりとする。ここでは、移動方向の表現として静的なものと動的なものを用意する。

3.1 移動方向の静的な表現

図3のような分光スペクトル状のグラデーションを移動方向に向かって配色し、移動方向を表現する。

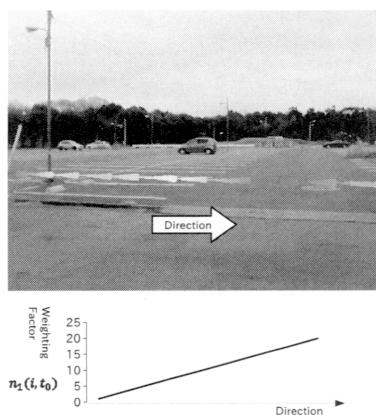


図4 径減少による軌跡表現
Fig.4 Trajectory visualization by shrinking radius

3.2 移動方向の動的な表現

移動方向をより直接的に可視化する動的な表現として、軌跡の太さまたは色を変化させ、進行方向に向かって波打つアニメーションを表示する。

波打つアニメーションは、軌跡上を進行するのこぎり波で与えられる重み係数を、軌跡の太さ、あるいは色のRGB成分のそれぞれに乗算することで実現する。移動方向に合わせて大きくなるのこぎり波と、移動方向に合わせて小さくなるのこぎり波(逆のこぎり波)を用いる。のこぎり波の周期は T で、 λ サンプルの足元位置をつなぐ軌跡を1波長とする。

重み係数を乗ずる対象として以下の4種類を考え、移動方向の表現方法の候補とする。

1. 径減少：太さをのこぎり波状に減少させる。
2. 色減少：色をのこぎり波状に暗くさせる。
3. 径増大：太さを逆のこぎり波状に増大させる。
4. 色増大：色をのこぎり波状に増大させる。

一例として、径減少表現を図4に示す。

4 異時同図法を用いた移動物体行動の提示

移動物体の複合現実型提示において、移動物体の動作を一覧性よく提示するために異時同図法を適用する手法について述べる。ここでは、閲覧者から見て、移動物体同士で重なりが生じないような時間間隔において移動物体映像を並列に再生することが求められる。この時間間隔は、移動物体のみかけの大きさと閲覧者の視点位置、方向、視野によって変化する。以後、本稿では閲覧者の視野の代替として、モバイル情報端末オンボードカメラの位置、方向、画角を用いる。以後、サンプル取得時の移動物体行動の時刻を物体時刻、閲覧者側の時刻を閲覧時刻と呼ぶ。

4.1 等倍速再生

移動物体の等倍速再生は、閲覧時刻の経過に合わせて、時間的にもっとも近いサンプルを再生に用いるこ

とで実現される。閲覧時刻 t の時点で、物体時刻 t_m のサンプルが提示されていたとする。閲覧時刻が $t + \Delta t$ となった時、物体時刻 $t_m + \Delta t$ に最も近い時刻に撮影されたサンプルが提示される。

4.2 並列等倍速再生時の時間間隔

移動物体を並列に等倍速再生する際に、移動物体ビルボード同士で重なりが生じない時間間隔を求める方法について述べる。

今、 N 個の移動物体の撮影サンプル集合 $S = \{1, 2, \dots, N\}$ があるとする。 D を等倍速再生の並列数とする。この D 個のサンプル表示は、お互いに重ならないことが望ましい。また、今、閲覧時刻 t_0 とし、その時点におけるオンボードカメラの位置・方向・画角情報を $Cam(t_0)$ で示す。本節では閲覧中オンボードカメラの状態は全て固定とする。カメラ状態が変動する場合の対応については、次節で述べる。

Step 1: 視野内サンプル群

まず、現在のオンボードカメラの視野内に入るサンプル集合 $V_{t_0}^{insight}$ を求める。テクスチャの一部でも視野内に入るサンプルは、この集合に含める。

Step 2: 重複のないサンプル集合

$V_{t_0}^{insight}$ の中で、オンボードカメラから見て重複のないサンプル集合 $V_{t_0}^{visible}$ を以下の手順で求める。

- (1) $V_{t_0}^{visible}$ を空集合とし、ワーキング集合 W に $V_{t_0}^{insight}$ の全要素を代入する。
- (2) W の中でオンボードカメラから最も近いサンプル i_{min} を求める。
- (3) サンプル i_{min} を W から $V_{t_0}^{visible}$ に移動する。
- (4) W の中で、 i_{min} の投影像に一部でも重なるサンプルを全て W から削除する。
- (5) W がまだ空集合でなければ、(2)に戻って処理を繰り返す。

Step 3: 時間間隔の決定

$V_{t_0}^{visible}$ のサンプル集合において、時間的に隣接する2サンプル間の時間間隔を求め、その最大値を、重複のないサンプル表示を可能にする時間間隔 T_{t_0} として採用する。

Step 4: 表示サンプルの選択

閲覧時刻 t において表示に用いるサンプルを、以下の式によって求める。ここで、 l は任意の自然数とする。実際には、元のサンプル集合 S の各サンプルの物体時刻と閲覧時刻とから、 l の範囲を制限できるので、計算コストは元のサンプル集合の要素数よりずっと小さくすることが可能である。

$$\arg \min_{i \in S} |(t - t_0) + (t_{m_i} - t_{m_1}) - lT_{t_0}| \text{ for } l \in \mathbb{N} \quad (1)$$

4.3 時間間隔の調整

閲覧者の手によって、オンボードカメラの状態が閲覧中に変化すると、重複の可能性を低くする時間間隔を再計算する必要が発生する。その一方で、閲覧中に前節のアルゴリズムにおいて T_t を動的に変更すると、表示サンプルが閲覧時刻の経過に合わせて選択されなくなるので、見かけ上一つの移動物体等時刻再生が時間跳びを起こした形になり、実時間的な了解性の低下を招く。

そこで、以下のアルゴリズムによって時間間隔を再調整し、それに伴って表示サンプルを選択することで、本問題を解決する。再調整された時間間隔に合わせて、新しくオンボードカメラの視野に入ってくるサンプルを決定する。一方で、一旦再生が開始されたサンプル系列は、オンボードのカメラ視野外に出るまで再生が継続されるため、場合によっては重複が発生することになる。ここで重複の解消より移動物体行動の実時間了解性をするのは、本アルゴリズムの特徴として、一時的に重複が認められる状態になっても、閲覧時刻の進行につれて必然的に重複が解消に向かうためである。

今、閲覧時刻を t_k と表現し、以後説明の簡単のため $t_k = t_0 + k\Delta t (k = 0, 1, \dots)$ と量子化する。実際には、任意間隔の閲覧時刻でも下記アルゴリズムは成立し、我々の実験のためのシステムも任意時間間隔に対応して実装している。

Step 5: 既出サンプル集合

既出サンプル集合 $V_{t_j, t_k}^{vis-cont.}$ (ただし $k = 0, 1, \dots, k-1$) は、閲覧時刻 t_j において初めて可視サンプルとラベリングされ、現在の閲覧時刻 t_k においても可視状態が続いているサンプルを要素とする。本集合を求めるため、まず $\tilde{V}_{t_j, t_k}^{vis-cont.}$ を次式から求める。

$$\tilde{V}_{t_j, t_k}^{vis-cont.} = \left\{ i \mid \arg \min_{i \in S} |(t_{m_i} - t_{m_1}) - (t_{m_h} - t_{m_1} + \Delta t)| \text{ for } h \in V_{t_j, t_{k-1}}^{vis-cont.} \right\} \cap V_{t_k}^{insight} \quad (2)$$

$\tilde{V}_{t_j, t_k}^{vis-cont.}$ は、閲覧時刻 t_j にてオンボードカメラの可視範囲に入り、 t_{k-1} に至るまで可視範囲内にありつづけたサンプル集合を保持する。しかしながら、サンプルは離散的に取得されていて、かつオンボードカメラは自由に方向を変える可能性があるため、この定式化ではこの集合に入るべき途中のサンプルが含まれない可能性がある。そこで、 $\tilde{V}_{t_j, t_k}^{vis-cont.}$ 中で最も古いサンプルを i_{old} とし、最も新しいサンプルを i_{new} とし、 $V_{t_j, t_k}^{vis-cont.}$ を求め直す。

$$V_{t_j, t_k}^{vis-cont.} = \left\{ i \mid t_{m_{i_{old}}} \leq t_{m_i} \leq t_{m_{i_{new}}} \text{ for } i \in S \right\} \quad (3)$$

結果として、閲覧時刻 t_k において、既出サンプル集合 $V_{past}^{vis-cont.}$ は、次式で表せる。

$$V_{past}^{vis-cont.} = \bigcup_j V_{t_j, t_k}^{vis-cont.} \quad (j = 0, 1, 2, \dots, k-1) \quad (4)$$

Step 6: 新規サンプル集合

一方で、 t_k になって初めて可視範囲内に出現してくるサンプル集合は次式で表される。

$$V_{t_k, t_k}^{vis-new} = V_{t_k}^{insight} \cap \overline{V_{past}^{vis-cont.}} \quad (5)$$

Step 7: 動的な表示サンプルの選択

閲覧時刻 t_k において、 $V_{t_j, t_k}^{vis-cont.}$ と $V_{t_k, t_k}^{vis-new}$ とを合わせることで、表示に用いることができるサンプル集合 V_{t_j, t_k}^{show} for $t_j (j = 0, 1, 2, \dots, k)$ を求める。そのあと、異なる j に対応して、下記の式から表示に用いるサンプルを決定する。

$$\arg \min_{i \in V_{t_j, t_k}^{show}} |(t_{m_i} - t_{m_0}) - (lT_{t_j} - t_0 + k\Delta t)| \text{ for } l \in \mathbb{N} \quad (6)$$

結果として、異なる閲覧時刻 T_j から可視化が開始されたサンプル集合の間隔は T_{t_k} をずっと保つことになり、不連続な動作が可視化範囲内に現れないように制御していることになる。

5 実験

実験では移動物体として歩行する人物を用いた。その行動は、歩行を中心とし、途中にしゃがんだり体を捻るような動作を含んでいる。実験に用意したシーンでは、閲覧者から移動物体までの距離は 1[m]~50[m] 程度である。環境カメラには IMPERX 社のギガビットイーサネットカメラを、オンボードカメラとして SONY 社の小型ノート PC(VGN-UX90PS) に標準搭載の背面内蔵カメラを用いた。オンボードカメラの方向を得るために InterSense 社の InertiaCube3 を用いた。

5.1 軌跡の移動方向表現の比較実験

ここでは、3.2 節で述べた、軌跡の移動方向を動的に表現する 4 種類の手法について、どの手法が移動方向を理解しやすいと感じるのか比較する主観評価実験について述べる。

実験では閲覧者が軌跡を見る向きによる影響を考慮して、オンボードカメラ画面上で軌跡が以下の 4 種類の方向に見える映像を用意した。想定する閲覧者と移動軌跡の位置関係を図 5 に示す。下記で述べる点は同図中に表記したものである。

- 左から右 : P1 から見た A から B への軌跡

長島・林・北原・亀田・大田：録画された移動物体行動の複合現実型提示における一覧性の向上

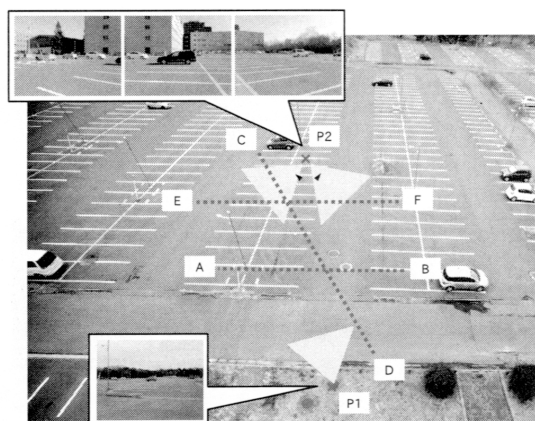


図5 4つの軌跡閲覧状況

Fig.5 Four trajectory reviewing situations

- 奥から手前：P1 から見た C から D への軌跡
- 手前から奥：P1 から見た D から C への軌跡
- 右から左：P2 から見た E から F への軌跡

4種類の軌跡閲覧状況と、4種類の動的表現手法の全ての組み合わせで軌跡を重畳表示した映像を用意した。なお、本実験では移動物体のテキストチャは提示せず、移動軌跡のみの表示で評価を行った。予備実験で評価が高かった、 $T=100[\text{msec}]$ 、 $\lambda=5$ ののこぎり波および逆ののこぎり波を映像生成に用いた。

軌跡閲覧状況ごとに、動的表現の異なる軌跡が重畳された4つの映像に関して全ての組み合わせを考え、シェフェの対比較法を用いて評価した。被験者にはディスプレイに2つの映像を同時に提示して、どの方向への移動方向を表わしていると思うかを尋ねた後、「進行方向が分かりやすいのはどちらですか?」の質問に5段階のリッカート尺度で回答してもらった。

20代の男性9名を被験者として実験を行った結果を図6に示す。これは、軌跡の4つの動的表現手法に関して、被験者が判断した評価を尺度で表わしたもので、数値が大きいほど評価が良い。

どの手法においても移動方向を誤解した被験者はいなかった。どの閲覧者視点映像で比べた場合でも、太さを変化させる手法のいずれかが最も良く、他方の太さを変化させる手法が最悪、色を変化させる手法はその間にあるという結果となった。

太さを変化させる手法においては、閲覧者の前を横切るような軌跡では径増大法の方がよく、奥行方向に伸びる軌跡では径減少法の方が良い結果になった。

色を変化させる手法においては、色減少法と色増大法のどちらが良いかについては「違いが分からない」という被験者からのコメントもあり、差はほぼ見られなかった。

結論として、径を増減させる動的表現は移動方向を

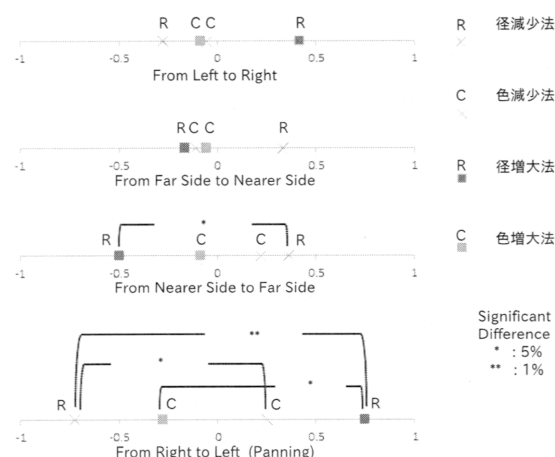


図6 軌跡の動的表現の比較結果

Fig.6 Comparison result of dynamic expressions of trajectories

分かりやすくするという結果が得られたが、増減をどちらにするかは、軌跡に対して閲覧者が見る方向によって入れ替える必要があると言える。

なお、本実験は比較の厳密性のために直線状の軌跡に対して実験を行ったが、軌跡が複雑でない限りは、曲線状の軌跡でも同様の傾向があると考えられる。それ以上の複雑な軌跡を表示する場合には、利用者が特に興味を示す軌跡部分区間を指定してもらい、その運動方向に基づいて最適な表現を選択する方法が考えられる。

5.2 異時同図法による移動物体の並列等倍速再生法の検証実験

ここでは、移動物体行動の一覧性を向上に対して、4章で述べた提案手法の有効性を検証する実験について述べる。提案手法により提示した人物の行動が短時間で把握できれば、提案手法により移動物体の行動の一覧性を向上できたとと言える。比較対象として、ここでは以下に述べる2つの提示手法を選んで実験を行った。シークバー提示

図7(a)に示すように、提示される移動物体を常に1つのみとする異時同図法を用いない手法である。閲覧者が何も操作しない間は等倍速再生され、最後まで再生するとまた最初から繰り返される。シークバーについたスライダをタッチペンで動かすことにより時間を戻す、または進めることができる。基本となる等倍速再生に、最低限のインターフェース補助を加えた提示手法と言える。

異時同図の静的提示

図7(b)に示すように、異時同図法を用いて複数の移動物体を同時に提示する。ただし、提案手法とは異なりアニメーションはなく、移動物体はこの状態のま

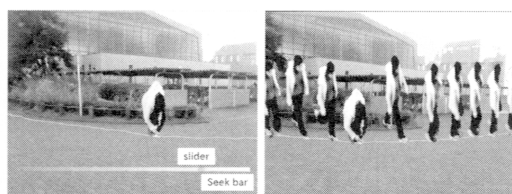


図 7 (a) シークバー提示 (b) 異時同図の静的提示
Fig.7 (a) Seek bar method (b) Static Ijidozu method

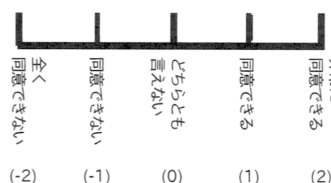


図 8 リッカート尺度による回答票
Fig. 8 Answer sheet

ま動かない。4.2 節で述べたアルゴリズムの Step 2 でのサンプル集合 $V_{t_0}^{visible}$ を提示する手法である。以後、本手法を静的提示と呼ぶ。

歩行者の映像の撮影

実験にあたって、まず、「移動 → 小動作 → 移動 → 小動作 → 移動 → 小動作 → 移動」という人物行動の映像を環境カメラで撮影した。小動作とは立ち止まって行う動作であり、本実験では「携帯電話で通話する」「手を左右に振る」「屈んでものを拾う」「しゃがんで靴の紐を結ぶ」「周囲を見回す」という 5 種類を準備し、この中からランダムに選んだ 3 つの小動作をする人物の映像を各被験者は見ることになる。撮影した人物行動は、図 9 に示す矢印の経路を移動し、途中の丸印の場所にて小動作を行ったものである。

被験者へのタスク

被験者には、撮影現場において、用意した人物の映像をいずれかの提示手法で提示し、「人物の行動を把握する」というタスクを与える。被験者は同じ位置(図 9 に示す被験者位置)に立ったまま、モバイル情報端末の向きだけ変えて人物行動を観察する。被験者は左右に視野を回して観察を行うことになる。

その間、被験者は、映像内容がよく見えるよう、端末スクリーンが視線に対してほぼ正対するように端末を把持し続ける。

具体的なタスクの順序を以下に示す。

手順 1 いずれかの提示手法で提示された人物の様子を見て“十分把握できるまで”もしくは“これ以上見ても分かることはないと思うまで”時間をかけて観察する。

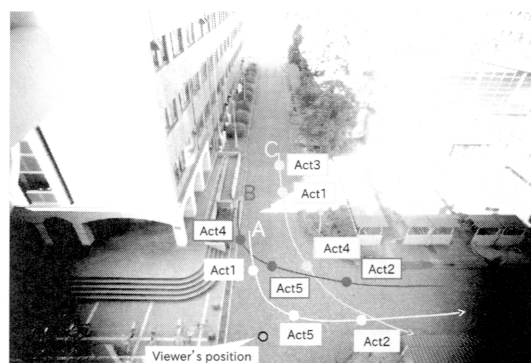


図 9 人物行動の軌跡と閲覧者の位置
Fig. 9 Trajectories of a person and reviewer's position

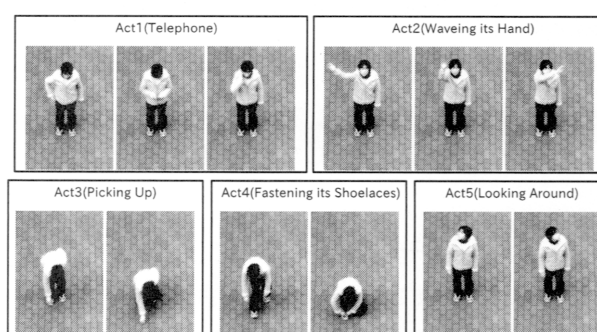


図 10 小動作を示す 12 枚のカード
Fig. 10 12 Cards of small actions

手順 2 小動作を表す 12 枚のカード(図 10)の中から、観察した人物がとっていた小動作に該当するカードを選び、その小動作が行われている場所でカードを提示する。

手順 3 アンケート(「質問 1: 人物の動作は見やすかったですか?」「質問 2: 人物の一連の行動を短時間で把握できましたか?」)に対して 5 段階のリッカート尺度で回答する(図 8)。

手順 1, 2, 3 を 3 つの提示手法それぞれについて行うが、提示手法を変える度に人物の映像は別のものを提示した。どの映像も人物は 3 回の小動作をするが、被験者には何回の小動作をするかは伝えず、白い線で描かれた移動軌跡の端から端まで見落とさないよう注意して見るように指示した。また、小動作を表すカードには予め目を通してもらい、人物を観察している間はカードを見る時間はないものとした。

なお、回転の様子は端末内の 3 軸の慣性センサで計測し、その計測結果に基づいて提案手法を端末スクリーン上に表示している。

この状況では被験者の視点とオンボードカメラの焦点中心は一致していないため、回転に伴って運動視差による表示誤差が発生しうる。しかし、本実験では対

長島・林・北原・亀田・大田：録画された移動物体行動の複合現実型提示における一覧性の向上

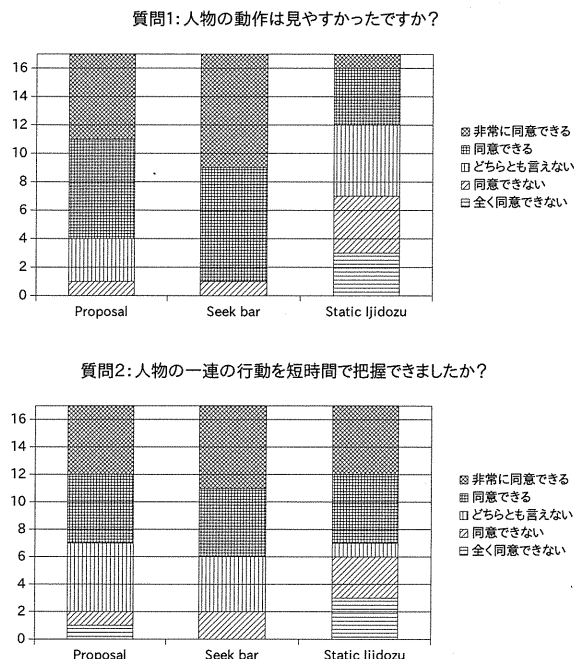


図 11 質問に対する回答の分布
Fig. 11 Score distributions of questionnaires

象となる人物が被験者の近くにはいないため、この誤差の影響は無視できる状況であった。

評価項目

被験者が人物の映像を観察するのにかけた時間、および被験者に提示してもらった小動作を表すカードと行われた位置を記録した。観察した映像の人物の行動に該当する全てのカードに対する、正しい位置で提示されたカードの割合を正答率とする。

人物の映像を観察するのにかけた時間と質問 2 から、提案手法によって短い時間で移動物体の行動を把握することができたかを考察する。また、小動作を表すカードの正誤と質問 1 から、異時同図法を用いても見やすさが保てているかを考察する。

実験結果と考察

20 代の男性 17 名を被験者として実験を行った。主観評価実験(アンケート)の結果を図 11 に、客観評価実験(観察時間と正答率)の結果を図 12 に、それらの平均と標準偏差を表 1 に示す。

これらの結果をクラスカル-ウォリス検定 [10] したところ(表 2)、主観評価実験の質問 2 以外は有意な差が認められた。

そのため、それらに対して多重比較 (Steel-Dwass の方法 [10]) を行った結果を表 3 に示す。

まず、提案手法によって短い時間で移動物体の行動を把握することができたかについて述べる。質問 2「人物の一連の行動を短時間で把握できましたか？」の回

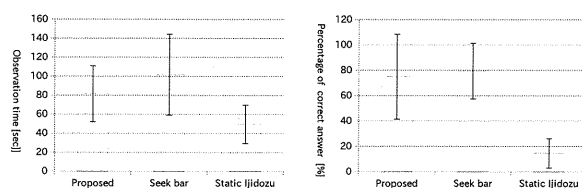


図 12 観察時間と正答率
Fig. 12 Observation time and percentage of correct answer

表 1 アンケート結果、閲覧時間、正答率の平均と標準偏差

Table 1 Average and standard deviation of queries, observation time, and percentage of correct answer

		提案手法	シークバー	静的提示
質問 1	平均 (偏差)	1.1 (0.9)	1.4 (0.8)	-0.2 (1.2)
質問 2	平均 (偏差)	0.7 (1.1)	0.9 (1.0)	0.4 (1.5)
閲覧時間 [秒]	平均 (偏差)	82 (29)	102 (43)	50 (20)
正答率 [%]	平均 (偏差)	75 (33)	79 (22)	15 (12)

表 2 クラスカル-ウォリス検定結果
Table 2 Result of Kruskal-Wallis test

	P 値	判定
質問 1	0.00	1%有意
質問 2	0.67	
観察時間	0.00	1%有意
正答率	0.00	1%有意

表 3 多重比較結果 (Steel-Dwass の方法)
Table 3 Result of Steel-Dwass method

	水準 1	水準 2	P 値	判定
質問 1	提案	シーク	0.55	
	提案	静的	0.01	1%有意
	シーク	静的	0.00	1%有意
観察時間	提案	シーク	0.39	
	提案	静的	0.00	1%有意
	シーク	静的	0.00	1%有意
正答率	提案	シーク	0.95	
	提案	静的	0.00	1%有意
	シーク	静的	0.00	1%有意

答としては、図 11 と表 1 に示すように、平均値は提案手法が 0.7、シークバー提示が 0.9、静的提示が 0.4 と大きな違いはなく、表 2 の検定結果でも有意差がないため、3 手法の間に差は見られなかった。

一方、観察時間については、表 1 に示すように提案手法の平均 82 秒に対して静的提示は 50 秒と短く、表 3 に示すように両者に有意な差が見られた。静的提示では提示される移動物体が動かないため、被験者の見ることができる移動物体の情報が少なく、短い時間で把握できたと考えられる。表 3 に示すように、提案手法とシークバー提示に有意な差は認められなかった。しかし表 1 に示すように提案手法の平均は 82 秒で、シークバー提示の平均は 102 秒だったため、提案手法の方が短い傾向がある。なお、「シークバーは慣れていて使いやすい」と言うコメントが見られた。提案手法のように並列表示される映像を見ることはあまりないため、練習として提案手法の提示映像を何回か練習として見てもらうことで、シークバー提示よりも短い時間で移動物体の行動を把握できるようになる可能性があるとは考えられる。

次に提案手法において見やすさが保持されていたかについて述べる。質問 1「人物の動作は見やすかったですか?」の回答としては、表 1 に示すように、提案手法の平均は 1.1、静的提示の平均は -0.2 と提案手法の方が良い結果であり、表 3 に示すように有意な差で提案手法の方が見やすいという結果になった。また、表 3 に示すように提案手法とシークバー提示の間に有意な差は認められなかったが、表 1 と図 12 に示すように、シークバー提示の方が見やすいとされる傾向が見られた。

表 1、図 12 の正答率を参照すると、提案手法は 75%、シークバー表示は 79%、静的提示は 15%であり、表 3 に示すように提案手法は静的な異時同図提示に対して有意差ありで良い結果となった。静的提示は、閲覧時間は平均 50 秒と短いものの(提案手法は 82 秒、シークバー表示は 102 秒)、これは提示される情報が少ないことによるためと考えられるので、見やすさという点では提案手法の方が良いといえよう。また、提案手法とシークバー提示では、シークバー提示の正答率 79%は提案手法の正答率 75%より良いが、有意な差とは認められなかった。結論として、提案手法はシークバー提示と比べても、見づらいつとは感じることはなく、見やすさも保つことができていると考えられる。

なお、本節の実験全体を通じて、オンボードカメラ映像に合成された人物像の見えは、実際にオンボードカメラで撮影した人物像とは多少異なって見える(図 7)。これは、環境カメラとオンボードカメラとの間のカメラ特性・撮影位置および方向の違いから発生して

いる。本提案手法においては、被験者はオンボードカメラ映像に差し込まれる人物像がそもそも合成であるという認識をもって映像を見ているため、人物像が十分な品質で合成されている限り、このような画像内で写実性が一貫していないこと自体は映像の理解の妨げにはならないと考えられる。このことは、実験に際しての自由記述からも伺うことができた。

6 おわりに

屋外に設置された環境カメラの記録映像から、過去の移動物体の行動を複合現実感技術を用いて提示し、現場にいる閲覧者が、時空間に展開する移動物体の行動を一覧して把握できる提示手法の提案を行った。提案する複合現実型の移動物体の提示により、空間軸上に展開する移動物体の情報である位置を軌跡として移動方向まで分かりやすく提示できることに加え、時空間的に展開する移動物体のテキストチャ群を一覧する方法として、異時同図法を用いた複数の等倍速再生を並列表示する手法を提案した。

軌跡の提示時に移動方向をわかりやすく方法としては、目の前を軌跡が横切るように見える位置から見る場合は径増大法が、奥行方向に移動軌跡が伸びるように見える位置から見る場合は径減少法が良いという傾向が、実験から示されている。

異時同図法を用いて移動物体を提示する手法については、並列表示する際に見やすさを保つことができる間隔を求める手法について述べた。また、検証実験として、人物の行動を把握するタスクを被験者に与えて、提案手法を、シークバー提示と異時同図の静的提示と合わせて比較を行った。その結果、提案手法は 2 手法と比較しても、見やすさを保つことができていることが確認でき、またシークバー提示よりも短時間で移動物体の行動を把握できる傾向が見られたため、提案手法は見やすさを保ちながら、移動物体の行動の一覧性を向上できる可能性が示されている。

今後の課題として、軌跡の表現と異時同図法を用いた並列等倍速再生の両方を組み合わせた場合の効果を確認していくことが挙げられる。

また、異時同図法を用いた移動物体行動の提示において、本稿での提案手法では、移動物体のビルボード同士の重なりが無いよう並列表示する映像の間隔を選択していた。今後は多少の重なりを許すことで並列表示する映像を増やすことを考慮し、「一覧性の向上」と「見やすさを保てること」の間でさらによくバランスの取れた手法を研究していけるのではないかと考えている。

謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金（基盤研究（B）課題番号 23300064，研究代表：亀田能成）の支援による。

付録

5.2 節で示したシークバー提示は、時系列メディアプレーヤーとして最低限の機能しか持たないため、サムネイル表示機能がさらに加わったシークバー提示（以後「サムネイル付シークバー提示」と呼ぶ）との比較を行った。

これは、基本機能しか有しないシークバー提示に機能を付加していくことで、移動物体行動の一覧性のさらなる向上を図れるかどうかを調査するためである。

サムネイル付シークバー提示は、基本となるシークバー提示に以下の機能が加わる。

- サムネイルは、前景（人物像）と背景とが両方含まれた小領域を縮小表示したものである。ただし、人物像の大きさに併せて小領域は適宜もとの環境カメラ映像から切り出されるものとする。
- シークバー上の特定時刻位置をタッチしたとき、その位置に合わせてその直上に当該時刻のサムネイルが一定の大きさで表示される。

これにより、動作そのものの視認性が向上することが期待される。一方で、その動作が時空間的にどこで行われたかという了解性については、同等か、サムネイル次第では低下することが懸念される。

この 2 手法について、比較実験を行った。実験環境は、5.2 節と同じである。

実験手順としては、比較 2 手法について、被験者毎に、どちらを先に提示するかを伏せ、図 9 中の軌跡 B を用いて各手法の映像提示を行った。実際には被験者全員に対して半分ずつ片側の手法が先に提示されるように準備した。被験者は両方の提示を体験した後、以下の質問 A、B に 5 段階リッカート尺度で回答した。

- 質問 A：歩行者がどこで動作しているか、わかりやすいですか？
- 質問 B：歩行者が何をしているか、わかりやすいですか？

両質問は、5.2 節の質問 1 を分解したものである。質問 A はシーン中の時空間的な行動理解のうち、特に時空間位置の了解性を、質問 B は動作そのものへの了解性を尋ねている。



シークバー提示

サムネイル付提示

図 A・1 2 種類のシークバー提示

Fig. A.1 Two Seek-bar methods

20 代の被験者 14 名について上記の実験を行い、質問 A、質問 B それぞれについて比較 2 手法の間の差異について検定を行った結果、質問 A については有意差無、質問 B については有意水準 1% で有意差有であった。

このことは、サムネイルを付加したことで、動作そのものへの了解性は向上する（質問 B）ものの、その動作が時空間的にどこで成されたかに関する了解性（質問 A）は向上しないことを示唆している。これにより、提案手法の比較相手として、改善されたシークバー提示を用いたとしても、移動物体の時空間的な行動を理解するようなタスク（5.2 節の質問 2）では結果に大きな変化がないと予想される。

参考文献

- [1] Taisuke Koyama, Itaru Kitahara, Yuichi Ohta, "Live Mixed-Reality 3D Video in Soccer Stadium," IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), pp.178-186, 2003.
- [2] Takahiro Tsuda, Itaru Kitahara, Yoshinari Kameda, Yuichi Ohta, "Smooth Video Hopping for Surveillance Cameras," The 33rd SIGGRAPH, Sketches, 2006.
- [3] Yoshinari Kameda, Taisuke Takemasa, Yuichi Ohta, "Outdoor See-Through Vision Utilizing Surveillance Camera," IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), pp.151-160, 2004.
- [4] Ryan Bane, Tobias Hollerer, "Interactive Tools for Virtual X-Ray Vision in Mobile Augmented Reality," IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), pp.231-239, 2004.
- [5] Benjamin Avery, Wayne Piekarski, Bruce H. Thomas, "Visualizing Occluded Physical Objects in Unfamiliar Outdoor Augmented Reality Environments," IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), pp.285-286, 2007.
- [6] Takashi Aoki, Tomohiro Tanikawa, Michitaka Hirose, "Automatic 3D World Construction from a Sparse Set of 2D Photographic Images," ACM SIGGRAPH Conference and Exhibition in Asia (ASIAGRAPH), 2008.
- [7] Noah Snave, Steven M. Seitz, Richard Szeliski, "Photo tourism: Exploring photo collections in 3D," The 33rd SIGGRAPH, 25(3), pp.835-846, 2006.
- [8] 竹内俊貴, 中島統太郎, 西村邦裕, 谷川智洋, 広瀬通孝, "PRIMA -異なる時間軸上のユーザとのインタラクションを実現するシステム-, 電子情報通信学会技術研究報告 MVE, マルチメディア-仮想環境基礎, 111(38), pp. 7-12, 2011.

- [9] 中村 圭子, “観る - 生命誌年刊号 Vol.45~48,” JT 生命誌研究館, 2006.
- [10] 永田 靖, 吉田 道弘, “統計的多重比較法の基礎,” サイエンティスト社, 1997.

(2012 年 6 月 19 日受付)

[著者紹介]

長島 正典



筑波大学大学院システム情報工学研究科修士 2012 年 3 月修了。在学中, 画像情報研究室に在籍し屋外における複合現実感の研究に従事。

林 将之 (学生会員)



2010 年筑波大学大学院システム情報工学研究科修了。現在, 筑波大学大学院システム情報工学研究科博士後期課程在籍。日本学術振興会特別研究員 (DC2)。屋外環境における複合現実感に関する研究に従事。修士 (工学)。

北原 格 (正会員)



1996 年筑波大学大学院理工学研究科了。同年シャープ (株) 入社。2000 年筑波大学先端学際領域研究センター助手。2003 年 ATR 研究員。2005 年筑波大学大学院システム情報工学研究科講師。2008 年同准教授。コンピュータビジョン, 複合現実感の研究に従事。2001 年電子情報通信学会学術奨励賞。2003 年 IEEE VR2003 Honorable Mention, 2009 年度本会論文賞など受賞, 博士 (工学)。

亀田 能成 (正会員)



1996 年京都大学大学院博士後期課程認定退学。京都大学助手, 2001-2002 年米国 MIT 客員研究員 (併任), 筑波大学講師を経て, 2004 年同大学院システム情報工学研究科助教授, 現准教授。京都大学博士 (工学)。知的画像処理, マルチメディア処理, 複合現実感技術等の研究に従事。電子情報通信学会, 画像電子学会, IEEE 会員。

大田 友一 (正会員)



1977 年京都大大学院博士課程了。京都大学情報工学科助手, 筑波大学電子・情報工学系講師, カーネギーメロン大学計算機科学科客員研究員, 筑波大学電子・情報工学系助教授を経て, 1992 年同教授。2004 年同大学院システム情報工学研究科教授。工学博士。コンピュータビジョン, 視覚情報メディア, 複合現実感の研究に従事。2008-2009 年度 電子情報通信学会理事 (ISS 次期会長・会長)。2009 年度日本バーチャルリアリティ学会論文賞受賞。パターン認識国際連盟フェロー, 電子情報通信学会フェロー, 情報処理学会フェロー。第 21 回パターン認識国際会議 (ICPR2012) ゼネラルチェア。