

THE IEICE TRANSACTIONS ON INFORMATION AND SYSTEMS (JAPANESE EDITION)

EIC | **電子情報通信学会** **D** | **論文誌**

情報・システム

VOL. J97-D NO. 9
SEPTEMBER 2014

本PDFの扱いは、電子情報通信学会著作権規定に従うこと。
なお、本PDFは研究教育目的（非営利）に限り、著者が第三者に直接配布することができる。著者以外からの配布は禁じられている。

情報・システムソサイエティ

一般社団法人 **電子情報通信学会**

THE INFORMATION AND SYSTEMS SOCIETY

THE INSTITUTE OF ELECTRONICS, INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERS

サッカー選手を対象とした一人称視点映像のための 仮想カメラ運動モデル

糟谷 望^{†*} 北原 格[†] 亀田 能成[†] 大田 友一[†]

Kinetic Model of Virtual Camera to Capture the First Person View of
a Soccer Player

Nozomu KASUYA^{†*}, Itaru KITAHARA[†], Yoshinari KAMEDA[†], and Yuichi OHTA[†]

あらまし 本論文では、自由視点映像技術を用いた一人称視点映像生成処理において、一人称視点映像らしくかつ快適に視聴できる映像を獲得する仮想カメラの運動モデルを提案する。モーションキャプチャシステムによって計測した歩行・走行時の人間の視点の移動軌跡を解析し、動作を構成する運動をモデル化する。これらの運動モデルに基づいて仮想カメラの位置を決定することにより、提示映像に一人称視点らしさを与えられることが期待される。一方で、仮想カメラを大きく運動させることは見づらさの原因となることが知られている。そこで、上述した運動を選択的に反映させた選手視点映像を生成し、映像の一人称視点らしさを高めつつ見づらさを引き起こしにくい撮影視点の運動モデルを主観評価実験により求める。評価実験の結果、視点の上下動を再現した場合、映像が一人称視点映像らしく、他の運動に比べて見やすい映像が生成されることが分かった。

キーワード 自由視点映像、一人称視点、視点運動、主観評価実験、

1. ま え が き

次世代の映像視聴スタイルとして、視聴者が自由に視点位置を配置できる自由視点映像技術に注目が集まりつつある[1]~[7]。自由視点映像では、計算機を用いて多視点映像を解析し、撮影空間の三次元情報を推定することにより、カメラを設置していない場所からの見え方を仮想的に再現することが可能である。しかしその反面、その映像を撮影する視点位置を的確に入力するためには、一定の習熟を必要とする。また刻々と位置を変える選手やボールなどの注目物体を観察し続けるためには、自由視点映像を視聴しながら視点位置の操作をする必要があり、その結果、映像鑑賞に集中しにくくなるという副作用が発生する。

このような問題に対し、我々は、自動的に推定したサッカー選手の三次元位置を用いて、選手の視点から見た一人称視点映像（以降、選手視点映像と呼ぶ）を

生成・提示する手法を提案している[8]。図1に自由視点映像技術を用いて生成した選手視点映像の例を示す。フィールド上に降り立った視点からの映像は、従来のテレビ放送で見られるフィールドを斜め上から俯瞰した映像に比べ、臨場感が高く、トッププレイヤーが見ていた情景を追体験することにより、競技技術の向上に役立つことが期待されている[9]。

自由視点映像技術を用いて選手視点映像を生成するためには、選手の視点位置を正確に与える必要がある



図1 選手視点映像例

Fig.1 A snapshot of generated player's view.

[†] 筑波大学大学院システム情報工学研究科，つくば市
Graduate School of System and Information Engineering,
University of Tsukuba, Tsukuba-shi, 305-8573 Japan

* 現在，キャノン株式会社

が、サッカーのような広域で行われる動的なイベントにおいて、その情報を正確に獲得することは困難である。我々の選手視点映像生成方式では、高所からサッカーフィールドの大部分が写り込むように撮影を行った2台のカメラの映像情報を用いることにより、選手の足元位置を推定し、視点の高さは標準的な成人男子の目の高さ（1.5m）とすることにより、選手視点位置を設定している。その結果、臨場感が高くかつ見やすい選手視点映像を生成することに成功したが、選手がフィールド上を移動する場合、視点は地面に対して平行な平面上を移動するため、選手の運動を伝えるエゴモーションが乏しく、一人称視点映像らしくないといった感想が聞かれた。そこで、本論文では人間の歩行・走行時の視点移動を解析し、その移動（エゴモーション）を適切に再現した選手視点映像を生成・提示することにより、見やすさを損なわず、かつ、視聴者が選手の運動を感じられる一人称視点映像らしい映像の生成を目指す。

本論文は以降、2. でエゴモーションを適切に再現した選手視点映像について述べ、3. では歩行運動時の視点の運動のモデル化について説明し、4. で運動の適切な再現度を検証するための評価実験について述べ、最後に5. でまとめを行う。

2. エゴモーションを適切に再現した選手視点映像

本章では、自由視点映像技術を用いて生成した選手視点映像と、映画等で用いられているPOV（Point of view）ショットの特徴について述べ、モデル化したエゴモーションを適宜再現することにより、見やすさと一人称視点映像らしさを兼ね備えた選手視点映像を生成する手法について述べる。

2.1 自由視点映像技術による選手視点映像

自由視点映像技術を用いて選手視点映像を生成するためには、撮影シーンの三次元モデルとともに、自由視点映像を撮影する仮想カメラのパラメータとなる視点位置・視線方向を、映像情報から推定する必要がある。しかし、サッカーは約100m×約70mの大きさのフィールドで行われているため、全ての選手が写るような広角に設定したカメラでフィールド全体を撮影した場合、各選手の領域は図2に示すように、非常に小さくなってしまふ。このような画像から、選手視点の三次元位置と視線方向を正確に推定するのは困難である。

そこで我々は、フィールド上に発生する影領域を活



図2 撮影される選手画像例

Fig.2 An example of captured players.

用した選手の足元位推定手法[10]を用いて、選手の立っている位置を推定し、視点の高さは標準的な成人男子の目の高さ（1.5m）とすることにより視点位置の三次元位置を獲得する。また、視線方向は、サッカー選手は試合中ボールに注目していることが多いと仮定し、ボールを注視するように設定した。これらの処理により、視点位置の細かい揺れによるいわゆる“手ブレ”がなく、注視物体（ボール）が常に画面の中央に写っている映像が生成される。このような映像は映像酔いを起こしにくいといった特長を有する[11]反面、視点の高さを固定した結果、選手の移動に伴うエゴモーションが再現されないことが一人称視点らしさを低下させていることが考えられる。

2.2 POV撮影

近年、POV撮影と呼ばれる撮影方式で撮影された一人称視点の映像を目にする機会が増えてきている[12], [13]。一人称視点の映像を提供することで、臨場感を大幅に向上させることに成功しているが、一方で、視点が不意にぶれるなど、映像酔いにつながるという問題も存在する。

人間の視覚は、サッケード抑制や前庭動眼反射などの働きによって常に安定した映像が脳に届くようになっている[14], [15]。例えば、人間が景色を見回したりする際には、眼球が停止と素早い移動（サッケード）を繰り返している。このサッケードの最中、人の目には高速移動によるぶれた像が映されるはずであるが、視覚系でぶれた像の情報が遮断されるため、安定した視覚情報だけが処理系に渡されている。これをサッケード抑制という。前庭動眼反射とは、頭部が揺れた際に、像がぶれないように頭の動きの反対方向に眼球が動く反射である。頭部の回転を半規管により検知し、その回転と逆方向に眼球が反射的に動くことにより視界が変化せず、安定した映像を獲得している。

POV撮影された映像は、実際の一人称視点に近い映像であるが、このような映像の見やすさを維持するための視覚系の働きが考慮されていない。

2.3 エゴモーションを適切に再現した選手視点映像

上述したように、自由視点映像技術を用いて生成された選手視点映像は、注視点を目の物体に固定することで前庭動眼反射が疑似的に実現されるため、視点位置・視線方向が安定し見やすいが、映像情報から選手の三次元的な動きを推定することが困難なため、視聴者が選手の運動を感じ難く、一人称視点らしさが乏しい映像の提示にとどまっているといった問題がある。

一方で、POV撮影された一人称視点映像は、撮影者の動きが直接映像に反映されているため、高い臨場感を与えるが、映像が大きくぶれるため映像の見やすさが低下するといった問題が存在する。

そこで、映像情報から推定が困難な選手の三次元的な動きによるエゴモーションを適切に再現することにより、選手視点映像の一人称視点らしさの向上を試みる。その際、映像酔いを引き起こす要因となる動きを排除することにより、映像酔いしづらい映像を生成する[16]。

本論文では、選手の歩行・走行動作時のエゴモーションに注目し、その疑似的な再現に取り組む。実際の歩行・走行動作時の視点位置の運動をモーションキャプチャシステムによって計測し、それを解析することにより、観察視点の運動をモデル化する。モデル化した動きを選択的に組み合わせることで、見やすさを損なうことなく視聴者に一人称視点らしさを与えられるエゴモーションを選択的に再現する。

3. エゴモーションを再現するための視点位置制御

モーションキャプチャシステムで計測した歩行・走行動作時の視点位置を解析・モデル化し、そのモデルを用いた視点位置の制御法について述べる。

3.1 歩行・走行動作時の視点位置解析

3.1.1 モーションキャプチャによる計測

人間の歩行・走行時の頭部運動は、これまでも盛んに研究されている[17],[18]が、障害者や老人の歩行補助やロボットの姿勢制御を目的としたものがほとんどであるため、比較的低速な歩行や、歩行による上下動のみを対象を限定した解析が行われている。しかし、我々の対象とするサッカー選手の移動速度は、低速から全力疾走まで大きく変化すること、一人称視点映像の見え方の変化に影響を与える動作として、上下動以外の動きも考慮する必要があるため、従来手法における解析の枠組みを拡張する必要がある。サッカーにお

ける動作は多様な動作が考えられるが、本論文は一人称視点映像の最適な視点運動を見つける初めての取り組みであるため、まずはモデル化がすっきりとしていて検証も確実にできる運動として単純な歩行・走行を取り上げる。

視点運動モデル構築の基礎となる情報を獲得するために、MotionAnalysis社製のモーションキャプチャシステムを用いて、人間が歩行・走行動作を行った際の視点位置がどのように変化するかを計測する。計測したシーケンスは、ゆっくり歩行したものと軽く走ったもの、アイトラッカーを同期させてゆっくり歩行したもの、各3本ずつの合計9本である。各計測ごとに4～8歩ほどのデータが含まれ、周期ごとに見ると合計で20～40個程度のデータとなる。それでも運動のモデル化のためのデータ量としてはやや少ないが、本論文の目的は頭部運動の正確なモデル化ではなく、一人称視点らしさと見やすさを両立した仮想カメラの運動モデルを生成することにあるため、この計測結果と、前述した頭部運動の先行研究[17],[18]を参考に簡易モデルを生成する。

人間が歩行・走行動作をする際には、頭部は上下、左右、前後に揺れることが分かっているため、頭頂部の上下動、左右動、前後動を計測する。前後動は、尾骨付近に装着したマーカと頭頂部のマーカの前後差として測定する。頭部の傾き（ロール）も、歩行・走行によって生じる視点動作であるため、アイトラッカーによって計測された眼球の位置の高さの差として計測する。なお、頭部の首振りに相当するヨウとピッチは、前庭動眼反射によって視覚への影響が抑制されるため、今回は計測対象から除外する。

計測した歩行時・走行時の上下動、左右動、前後動、ロールを周期を比較しやすいように各運動の振幅を正規化したものを図3に示す。各運動は振動中心が一定ではないが、正弦波で近似でき、特に上下動は綺麗な波形を描いている。走行時の前後動は正弦波の周期的な運動の他に、単調に減少しているような運動が加わっているようにみえる。これは、前後動の計測に尾骨付近のマーカと頭頂部のマーカの差を用いたために前傾から後傾と姿勢が変わった影響が強くてたことに起因すると思われる。これに関しては、振動中心を別途モデル化することで対応する。また、ロールはその値自体が小さいため、着地の際の振動などによる揺れの影響が強く、綺麗な正弦波とはなっていないが、細かな振動を除き、最も大きな振動に着目すると左右

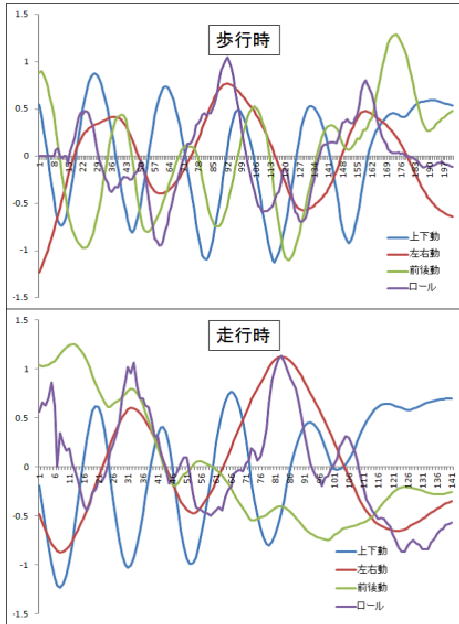


図3 歩行・走行時の頭部の上下動, 左右動, 前後動, ロール
Fig.3 Head motion while gaitting.

動と同様の周期の波を描く。

図3から, 上下動, 前後動が同じ周期で変動し, 左右動, ロールがその2倍の周期で変動することが分かる。これは, 上下動, 前後動は接地する足に関係なく上下に揺れるのに対して, 左右動やロールは接地する足の方向に傾くためである。つまり, 上下動・前後動は1歩が1周期, 左右動・ロールは2歩が1周期であることが分かる。位相に関しては, 上下動は, 歩行の際の両足が揃っているときに最大, 前に出した足が接地したときに最小の値をとるような波形となっているのに対し, 左右動とロールは前に出した足が接地するときにそれぞれの足の方向への揺れが最大とり, 前後動は足の接地時に最大値をとり, 足がそろっているときに最小となる。

歩行時・走行時における各要素の推移を図4に示す。頭部の上下動をみると歩行時に比べ, 走行時には振幅が大きく, 周期が短くなっている。また, 走行時には前傾になることから, 歩行時に比べ平均値も低くなっている。前後動は上下動より顕著に姿勢の影響が表れている。歩行における前後動のグラフで負の値が出ているが, これは静止しようとしてやや後傾となったためである。前後動の振幅もまた速度変化の影響を受けている。一方で, 左右動とロールは, 歩行時・走行時

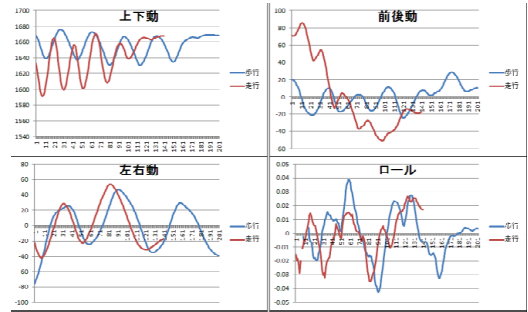


図4 上下動, 左右動, 前後動, ロールの歩行・走行での違い
Fig.4 Difference of head motion between walk and run.

で振幅に大きな差がない。これは歩行・走行で歩幅が変わっても左右の振幅への動きには影響がないためであろう。

3.1.2 歩行・走行による視点位置の運動のモデル化

モーションキャプチャで計測した結果をもとに, 歩行・走行動作の際の視点移動のモデル化を行う。エゴモーションを再現した選手視点映像を生成する際に, 映像から獲得可能な情報は, 選手の軌跡, つまり位置と速度のみである。したがって提案手法では, 各運動を速度の関数としてモデル化する。

歩行速度があがると歩幅が大きくなり, 歩行・走行動作の周波数が大きくなることが知られている。前項で示したように, 最も規則正しい波形が観測されているのは上下動であるため, 上下動から速度と周波数の関係をモデル化する。計測中の移動速度が一定ではないため, 1周期ごとに分解して平均速度 $v[m/s]$ と上下動の周波数 $f_v[1/s]$ の関係をプロットしたものを図5に示す。停止時には周波数は0となること, 速度が増すと周波数とともに歩幅も大きくなること, 直線近似では計測データとの残差が大きくなることから, ここでは直線ではなく残差が小さくなる1/2乗近似を採用すると

$$f_v = 1.8\sqrt{v} \quad (1)$$

となる。前後動の周波数 f_a は上下動と同じ, 左右動の周波数 f_m とロールの周波数 f_r は上下動の2分の1であるから

$$f_v = f_a = 2f_m = 2f_r \quad (2)$$

となる。

振幅は前節で述べたように, 上下動, 前後動には速

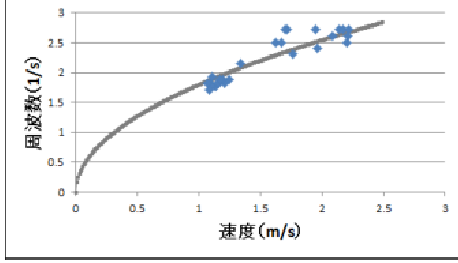


図 5 歩行速度と上下動の周波数の関係

Fig. 5 Relationship between velocity and frequency of vertical oscillation.

度の影響が見られたが、左右動やロールには速度の影響が見られなかった．そこで、上下動の振幅 $a_v[m]$ 、前後動の振幅 $a_a[m]$ は速度に依存する関数とし、左右動の振幅 $a_m[m]$ 、ロールの振幅 $a_r[\text{radian}]$ は一定値とする．上下動の振幅と速度の関係を周波数と同様にプロットしたものが図 6 である．歩行速度と振幅は線形関係であることが知られている [20] ため、これを直線近似すると、

$$a_v = 0.019 \times v - 0.0027 \quad (3)$$

となる．同様に前後動の振幅と速度の関係も直線近似すると、

$$a_a = 0.0041 \times v + 0.0011 \quad (4)$$

となる．左右動・ロールの振幅は平均値から以下のよう設定する．

$$a_m = 0.0308 \quad (5)$$

$$a_r = 0.0298 \quad (6)$$

図 7 は、周期ごとの視点の平均の高さ h と速度の関係をプロットしたものである．走行時は姿勢があまり安定していないため、高さの分散が大きくなり、それに伴い近似誤差も大きくなってしまいが、一般に歩行速度と前傾角度は相関があり直線で近似できる [21] ため、視点の高さと速度の関係を直線近似する．

$$m_v = -0.044 \times v + 1.61 \quad (7)$$

ここで、定数項は速度 0 のときの視点の高さであることから、個人ごとに変わる値である．前後動も歩行姿勢によって振動の中央値が変わって来る．したがって、同様に中央値を速度の関数として直線近似すると、

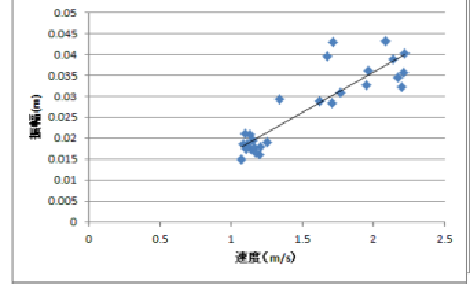


図 6 歩行速度と上下動の振幅の関係

Fig. 6 Relationship between velocity and amplitude of vertical oscillation.

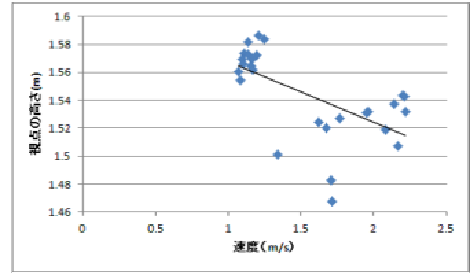


図 7 歩行速度と視点の高さの関係

Fig. 7 Relationship between velocity and height of viewpoint.

$$m_a = 0.063 \times v - 0.082 \quad (8)$$

となる．

3.2 視点の制御

従来の選手視点映像生成の際の仮想カメラ位置を $Eo = (Eo_x, Eo_y, Eo_z)$ とすると、 Eo_x 、 Eo_y は映像から推定した選手位置で、 $Eo_z = 1.5(m)$ である．これを歩行・走行動作に合わせて振動させることによりエゴモーションを再現する．

前節でモデル化した運動モデルは、全て速度の関数である．したがって、まずは選手の移動軌跡から速度を算出する必要があるが、1 フレーム間のデータだけを用いると位置推定誤差の影響を強く受けてしまう．そこで、過去 5 フレームの平均をそのフレームでの速度 $v_t[m/s] = (v_{x_t}, v_{y_t})$ とし、式 (1) によって速度 v_t から周波数 f を推定する．周波数は 1 秒当り何歩進むかを示しているため、その総和は歩数 σ_t と同等である．

上下動の振動は式 (3) より、

$$a'_v = (0.019 \times v_t - 0.0027) \sin(2\pi\sigma_t) \quad (9)$$

振動の中央値は式 (7) のように速度変化に従って変化

する.

$$m'_v = -0.044 \times v_t + Eo_z \quad (10)$$

したがって、視点の高さ E_z は次式で求まる.

$$E_z = m'_v + a'_v \quad (11)$$

同様に前後動の振幅は式 (4) より

$$a'_a = (0.0041 \times v_t - 0.0011) \sin(2\pi\sigma_t + \pi) \quad (12)$$

振動の中央値は (8) より,

$$m'_a = 0.063 \times v_t - 0.082 \quad (13)$$

これが進行方向に対して前後への振動だから、速度 v_t を用いて次のように分解できる.

$$\begin{cases} A_x = (a'_a + m'_a) \cos(\text{atan}(\frac{v_{yt}}{v_{xt}})) \\ A_y = (a'_a + m'_a) \sin(\text{atan}(\frac{v_{yt}}{v_{xt}})) \end{cases} \quad (14)$$

左右動は、振幅が速度によらず一定であるため、式 (5) より,

$$a'_m = 0.0308 \sin(\pi\sigma_t) \quad (15)$$

前後動と同様に分解すると

$$\begin{cases} M_x = a'_m \sin(\text{atan}(\frac{v_{yt}}{v_{xt}})) \\ M_y = a'_m \cos(\text{atan}(\frac{v_{yt}}{v_{xt}})) \end{cases} \quad (16)$$

前後動、左右動より視点位置 E_x, E_y は,

$$E_x = Eo_x + A_x + M_x \quad (17)$$

$$E_y = Eo_y + A_y + M_y \quad (18)$$

ロールは式 (2), (6) より

$$R = 0.0298 \sin(\pi\omega_{m_t}) \quad (19)$$

である.

以上のように求めた $E = (E_x, E_y, E_z)$ を視点位置とし、進行方向に対して R だけロールさせた映像を、エゴモーションを再現した選手視点映像として生成する.

4. 評価実験

前節で紹介した運動モデルのどの要素をどのように組み合わせてエゴモーションを再現すれば、見やすく、かつ、一人称視点らしい選手視点映像が生成されるの

かについて、主観評価実験によって検証する. 歩行・走行動作の影響を受ける頭部運動として、前節でモデル化した四つの運動（上下動、前後動、左右動、ロール）が、各々どの程度“見づらさ”、“一人称視点らしさ”に影響を及ぼしているのかを調査する.

モデル化した前後動や左右動は、非常に振幅が小さいため、現信号のままでは知覚されにくく、また、映像をみて感じる運動量は実際の運動量とは必ずしも一致しない [19] ことから、まずは各運動による視覚への影響を同程度とするための振幅のスケールを求める. 四つの運動モデル（上下動、前後動、左右動、ロール）の内一つを選択し、その振幅を変化させながら生成した選手視点映像について、“見づらい”と感じたときの弁別閾を調査し、その代表値を各モデルの振幅のスケールとする.

この実験に使用した映像シーケンスは、サッカーのフィールドに降り立った状態の観察視点を、図 8 に示すように速度を変化させながら直線運動させたときの映像（図 9）とする. また、視線方向は進行方向に固定する. 1 シーケンス 30fps, 20 秒の映像である. 使用した映像は人物ビルボード法を用いて合成された自由視点映像を元としているが、本実験においては選手があまり映っていない領域を使用して映像を作成したため、合成手法による画質劣化の影響は無視できると思われる.

映像は 17 または 19 インチのディスプレイに 1152 画素 × 648 画素の解像度で表示し、被験者は通常視聴と同様の姿勢で特に姿勢を固定せずに映像を観察する.

4.1 運動モデルのスケール検証実験

4.1.1 実験環境

極限法によって各運動モデルの適切なスケールを探る.

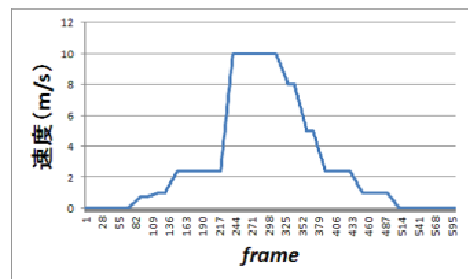


図 8 実験時の走行速度

Fig. 8 Player's velocity in the evaluation video.



図 9 実験に用いた映像の例
Fig.9 Snapshots in evaluation videos.

まず、各動作モデルに対して十分に大きい値を実験における上限値とする。各運動の最大スケールは、上下動 4 倍、前後動 20 倍、左右動 20 倍、ロール 2 倍とする。また、下限値を 0 倍とする。上限値と下限値の間を 10 等分し、運動モデルごとに 11 種類の刺激値を用意する。運動モデルを一つずつ再現することにより、他の動きの影響を排除する。

被験者は刺激値が最小の刺激値から順に観察し、映像が見づらいと感じたところで試行を中断する。このときの値を下弁別閾とする。次に、上限の刺激値から徐々に刺激量を減らしながら観察し、見づらさが許容できるところまできたら試行を中断し、このときの値を上弁別閾とする。そして、その下弁別閾と上弁別閾の中間値を見づらいと感じる平均弁別閾とする。

4.1.2 実験結果

20 代の学生 10 名を被験者とした主観評価実験を行った結果を表 1 に示す。上下動は、実際の運動をモデル化したものより少々強調した程度が見づらいと感じる弁別閾であることが分かる。前後動や左右動はモーションキャプチャの計測では変動が小さいことから大きく強調した値が弁別閾となった。ロールは、少し加わるだけで映像が揺れるという印象が強く、モデル化した値より弱くするスケールが選択されている。

4.2 各運動の再現を排除した際の

見やすさと一人称視点らしさへの影響

4.2.1 実験環境

本実験では、各運動モデルが、選手視点映像の“見やすさ”及び“一人称視点映像らしさ”にどのような影響を与えるのかについて調査する。

全ての運動を再現した映像と、各運動を一つずつ再現していない映像、計五つの映像でシェッフェの二対比較を行う。被験者には、用意した五つの映像の順序を考慮しない 10 組の組合せをランダムに提示し、1 組提示するたびに、次の二つの質問に 5 段階のリッカート尺度で回答してもらう。

表 1 スケール決定実験結果
Table 1 Result of scale experiment.

動き	下弁別閾 (標準偏差)	上弁別閾 (標準偏差)	平均弁別閾
上下動	1.1(0.39)	1.78(0.88)	1.44
前後動	8.1(4.83)	11.3(3.95)	9.7
左右動	5.4(2.54)	8.6(5.66)	7.0
ロール	0.52(0.22)	0.92(0.50)	0.72

質問 1: どちらの映像の方が見やすかった（酔いづらそう）ですか？

質問 2: どちらの映像の方が一人称視点らしかったですか？

回答のリッカート尺度は次のとおりである。

2: 一つ目の映像

1: どちらかといえば一つ目の映像

0: どちらも同じ程度

−1: どちらかといえば二つ目の映像

−2: 二つ目の映像

また、被験者は希望により評価用動画を何度でも観察可能である。

4.2.2 実験結果

20 代の学生 17 名を被験者とした主観評価実験の結果を回帰分析したものを図 10 に示す。

質問 2 の「上下動なし」の評価実験でのみ、他の全てと有意差水準 5% で有意差が見られた。この結果から、上下動をなくしてしまうと明らかに一人称視点らしさが損なわれてしまうことが分かる。一方で、質問 1 では上下動がない方が見やすいという結果になっているが、この結果には有意差がみられなかったため、他の運動モデルの適応をやめたり、上下動の振幅のスケールを調整したりすることにより、1 人称視点映像らしさを残しつつ、見やすさを向上させる調整が可能であると考えられる。

4.3 実験 2 の結果の妥当性の検証

4.3.1 実験環境

実験 2 で有意差があった上下動の運動モデルは、一人称視点らしい映像を生成するのに必要であることが

質問1: どちらが見やすいですか？



質問2: どちらが1人称視点映像らしいですか？



◆ 全てあり ■ 上下動なし ▲ 前後動なし
 × 左右動なし * ロールなし

図 10 運動の再現を排除した際の見やすさ・一人称視点映像らしさへの影響

Fig. 10 Influence on visibility and first-person-view appearance without head motion reproduction.

確認された。それに対し、他の運動は有意差がみられなかったが、上下動の影響が大きかったため他の動作モデルの影響が相対的に小さくなってしまったのか、それとも単に影響がないのかを確認する。

実験は、前と同様にシェッフェの一対比較で行う。質問項目、回答の選択肢も同様である。映像は、上下動のみを再現したものと、上下動と前後動、上下動と左右動、上下動とロールを再現したものの4種類を用意する。

4.3.2 実験結果

20代の学生13名を被験者として実施した主観評価実験の結果を回帰分析したものを図11に示す。

質問1に関しては、+前後動と+左右動の間には有意差がなかったが、その他は全て有意水準5%以内で有意差があった。特に、上下動のみと+ロールに関しては有意水準1%で有意差が確認された。質問2では、全てにおいて有意差はみられなかったが、上下動のみの映像が最も一人称視点らしいという印象を与えたことが分かる。

4.4 考 察

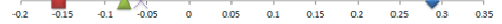
以上の結果から、普段歩行・走行をしているときには、どのような映像が見えているのか意識していないため、実際には上下、左右、前後、ロールが歩行・走行に合わせて周期的に運動しているにもかかわらず、上下動以外を再現すると一人称視点映像らしさが低下する、若しくは再現しても一人称視点らしさが向上しないという結果になることが分かる。

したがって、従来どおり選手位置に設置した仮想カメラに、選手の移動速度に応じた上下動を加えることで、見づらさを抑えつつ、一人称視点らしさを向上させた選手視点映像を提示できる。

質問1: どちらが見やすいですか？



質問2: どちらが1人称視点映像らしいですか？



◆ 上下動のみ ■ +前後動 ▲ +左右動 × +ロール

図 11 上下動のみと各動作を加えた際の二対比較実験結果
Fig. 11 Result of pair comparison for vertical oscillation and extra motions.

一方で、今回の実験では視線方向を進行方向に固定したが、実際のプレー時には視線方向は進行方向とは限らない。視線方向と進行方向が一致しない場合でも今回の実験結果が適応できるのか調査する必要がある。

5. む す び

本論文では、サッカーにおける選手視点映像を生成する際、視点位置に合わせて仮想カメラを運動させることにより、視聴者に選手の運動を感じさせ、より一人称視点らしい映像を提示することを目的とした手法を提案した。エゴモーションを再現することで一人称視点らしさが増す一方、酔いやすい映像になってしまうことが懸念されたため、歩行・走行動作に関して一人称視点映像らしい映像でかつ見やすい映像を生成することが可能な観察視点の運動モデルを評価実験によって求めた。実験の結果、歩行・走行運動によって発生する視点運動モデルの内、上下動運動モデルのみを再現することにより、適切な選手視点映像が生成可能であることが分かった。

今後の課題としては、CGを用いることで合成手法に依らない環境を作った上での、視線方向が進行方向と一致しない場合での検証、今回モデル化しなかった動作での検証、更に、選手視点映像生成においてボールを注視させていることの妥当性の検証があげられる。

文 献

- [1] T. Kanade, P. Rander, and P.J. Narayanan, "Virtualized reality: Constructing virtual worlds from real scenes," IEEE Multimedia 1997, vol.4, no.1, pp.34-47, 1997.
- [2] W. Matusik, C. Buehler, R. Rasker, S.J. Gortler, and L. McMillan, "Image-based visual hulls," ACM SIGGRAPH 2000, pp.369-374, 2000.
- [3] J. Carranza, C. Theobalt, M.A. Magnor, and H. Seidel, "Free-viewpoint video of human actors," ACM Trans. Graphics, vol.22, no.3, pp.569-577,

2003.

- [4] 谷本正幸, “自由視点テレビ,” 三次元映像フォーラム, vol.15, no.3, pp.17–22, 2001.
- [5] 石川彰夫, 酒澤茂之, 小池 淳, “分割された局所領域での内挿補間による自由視点映像の生成,” 信学技報, IE2006–25, 2006.
- [6] N.Inamoto and H.Saito, “Immersive observation of virtualized soccer match at real stadium model,” ISMAR 2003, pp.188–197, 2003.
- [7] T. Koyama, I. Kitahara, and Y. Ohta, “Live mixed-reality 3D video in soccer stadium,” ISMAR 2003, pp.178–187, 2003.
- [8] N. Kasuya, I. Kitahara, Y. Kameda, and Y. Ohta, “Automatic player’s view generation of real soccer scenes based on trajectory tracking,” 3DTV Conference 2009, 2009.
- [9] 宇佐美雄也, 服部雄介, 永岡慶三, “選手視点を利用したサッカー学習支援ソフトの開発と評価,” 信学技報, ET2010–140, 2011.
- [10] 糟谷 望, 北原 格, 亀田能成, 大田友一, “サッカーシーンにおける選手視点映像提示のためのリアルタイム選手軌跡獲得手法,” 画電学誌, vol.38, no.4, pp.395–403, 2009.
- [11] 磯部祐輔, 藤田欣也, “視点移動映像視聴時の注視と予告の酔いと速度感および注視行動への影響,” 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, vol.13, no.3, pp.385–392, 2008.
- [12] “The Blair Witch Project,” <http://www.blairwitch.com/>
- [13] “The Official Homepage of Cloverfield,” <http://www.cloverfieldmovie.com/>
- [14] 小松崎篤, 篠田義一, 丸尾敏夫, 眼球運動の神経学, 医学書院, 1985.
- [15] 古賀一男, 眼球運動実験ミニ・ハンドブック, 労働科学研究所出版部, 1998.
- [16] 森田寿哉, 原澤賢充, “映像視聴と生体への影響,” 映情学誌, vol.60, no.11, pp.1740–1744, 2006.
- [17] E. Hirasaki, ST. Moore, T. Raphan, and B. Cohen, “Effects of walking velocity on vertical head and body movements during locomotion,” Exp Brain Res, vol.127, no.2, pp.117–130, 1999.
- [18] J.J. Kavanagh, S. Morrison, and R.S. Barrett, “Coordination of head and trunk accelerations during walking,” Eur J Appl Physiol, vol.94, no.4, pp.468–475, 2005.
- [19] F. Steinicke, G. Bruder, J. Jerald, H. Fenz, and M. Lappe, “Estimation of Detection Thresholds for Redirected Walking Techniques,” IEEE Trans. Vis. Comput. Graphics, vol.16, no.1, pp.17–27, 2010.
- [20] M. Kourogi and T. Kurata, “Personal positioning based on walking locomotion analysis with self-contained sensors and a wearable camera,” ISMAR 2003, pp.103–112, 2003.
- [21] 柳川和優, “高齢者の歩行動作特性,” 広島経済大学研究双書 30, 2008.

(平成 25 年 12 月 17 日受付, 26 年 4 月 9 日再受付)



糟谷 望 (正員)

2012 年筑波大学大学院システム情報工学システム情報工学研究科知能機能システム専攻博士後期課程修了。博士 (工学)。2012～2013 年独立行政法人産業技術総合研究所特別研究員, 2013 年鹿児島大学理工学研究科特任助教, 2014 年キャノン株式会社入社。自由視点映像, 三次元計測に関する研究に従事。2008 年電子情報通信学会学術奨励賞, 2013 年映像情報メディア学会優秀研究発表賞受賞



北原 格 (正員: シニア会員)

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 年本会学術奨励賞。IEEE VR2003, EuroITV2013 Honorable Mention Award, 2009 年度日本 VR 学会論文賞などを受賞。博士 (工学)。



亀田 能成 (正員: シニア会員)

1996 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。情報処理学会, バーチャルリアリティ学会, 画像電子学会, IEEE 会員。



大田 友一 (正員: フェロー)

1977 京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 同大学院システム情報工学研究科教授。2013 より, 同大学副学長・理事。工博。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 年度本会理事。2009 年度日本 VR 学会論文賞受賞。パターン認識国際連盟フェロー, 情報処理学会フェロー。