

RTK-GPS トラッキングシステムおよび統計的パス予測モデルに関する研究

身体運動科学研究領域

5 0 1 8 A 0 2 3 - 4 小野寺 康成

研究指導教員：菅田 雅彰 教授

緒言

近年、スポーツ市場の拡大に伴い、情報処理技術を用いた新たなスポーツ解析手法が数多く提案されてきている。サッカーにおいては、選手の位置、速度、加速度などのデータを取得できるシステムを EPTS(Electronic performance and tracking systems)と称し、選手およびチームのパフォーマンスの向上を目的とし、その普及が図られている。実際に、試合中にチームスタッフが EPTS から得られる各種データをリアルタイムで取得し、戦術的活用ができるようなシステムの構築なども行われている。このような背景から容易に選手のパフォーマンスに関する時系列データを入手できるようになったことから、いままでにはなかったチームワークなどのチームとしての動きの振る舞いを解析する集団行動解析が行われてきている。しかしながら、従来研究の多くは解析手法の提案にとどまっており、実際の指導現場において用いることのできる評価指標であることが定かではない。また EPTS においては高額な導入コストおよび限定的な動作環境などの問題点からいまだ汎用的かつ高精度な測定系は開発されていない。以上のことから本研究においては、課題 I として汎用的かつ高精度な EPTS を実現するために、数 cm 単位での測位が可能な RTK-GPS を用いたトラッキングシステムの開発、課題 II として新たな統計的パス予測モデルを提案し、その信頼性および妥当性について検討することを目的とする。

課題 I

RTK-GPS トラッキングシステムの開発

方法

本開発では観測局として Emlid 社製の reach M+、基準局として Emlid 社製の reach RS+を用いた。reach RS にはバッテリーが内蔵されていないため、リチウムイオンバッテリー(1500mAh,4.8V)を新たに増設し、最大で 7.2 時間の動作時間の確保を行った。また GPS 受信機とバッテリーを収納するハードケースを、3D プリンタを用いて作成した。本開発

ではサッカーの試合において選手が着用することを目的としているため、ヘッドギア(ミズノ社製)の頭頂部分にアンテナを装着し、後頭部にアンテナと有線接続したセンサを装着するウェアラブル仕様にした(図 1)。システムの評価方法は被験者 1 人を対象とし、スラロームをウォーキング(1 回)およびランニング(1 回)の異なる動作で 2 度走行し、映像処理によりトラッキングした被験者の受信機位置を真値として、衛星測位技術を用いた EPTS で用いられている測位アルゴリズムの単独測位と RTK-GPS の精度比較を行った。

結果

表 1 に映像処理によるトラッキングを真値とした際の x 座標、y 座標の RMS 誤差(Root Mean Square error)を示している。表 1 から RTK-GPS と単独測位どちらにおいてもランニング時には精度が低下している。また RTK-GPS は単独測位と比べて非常に精度高く測位できることが明らかとなった。



図 1. 本開発におけるセンサ装着方法

表 1 異なる動作時の RMS 誤差

a)ウォーキング		
	RMS誤差	
	x (cm)	y (cm)
RTK-GPS	2.7	1.5
単独測位	22.6	25.1
b)ランニング		
	RMS誤差	
	x (cm)	y (cm)
RTK-GPS	3.7	4.0
単独測位	33.5	29.4

課題Ⅱ

統計的パス予測モデルの開発

方法

モデルの作成

本研究においてはパスが出される瞬間の選手の位置、初速度およびボールの位置、パスの平均速度を用いてパスの成否およびパスレシーバーの予測を行う。まずはこれらのパラメータを用いて選手のフィールド上での動きの振る舞いを記述する2次元運動モデルを定義した(1)。

$$m \frac{d}{dt} \vec{v} = \vec{F} - k \vec{v} \quad (1)$$

m は質量、 \vec{F} は最大推進力ベクトル、 k は抗力係数、 \vec{v} は速度ベクトルを表す。(1)の2次元運動モデルは速度を打ち消す方向に抵抗が働くことが考慮されており、選手の速度変化パターンを近似しているモデルとなっている。またボールに関しては簡単のために等速直線運動をするものとし、パスの到達時間から平均速度を求めて、初期位置と平均速度からボールの運動を記述した。藤村ら(2004)は(1)の運動モデルから、「ボールに一番早く到達できる選手」をパスレシーバーと予測したが、本研究においては、選手の戦術行動を考慮するために「パスが出される瞬間の選手の初速度が速いほど戦術的意図をもって行動している」という仮説を立て、パスが出される瞬間の各選手の初速度に応じて選手が移動できる方向(角度)を制限する TMM(Tactical

Motion Model)を新たに提案する(2)。

$$f(v_{ij}) = \frac{360}{p} (1 + p)^{\left(1 - \frac{v_{ij} - v_{min}}{v_{max} - v_{min}}\right)} - 1$$
$$\begin{cases} \text{if } v_{ij} \leq v_{min} \Rightarrow f(v_{ij}) = 360 \\ \text{if } v_{ij} \geq v_{max} \Rightarrow f(v_{ij}) = 0 \end{cases} \quad (2)$$
$$(i = 1, 2 \quad j = 1, 2, \dots, 10)$$

上式のように、TMM においては選手の移動方向の制限角を決定する関数として指数関数に v_{max} と v_{min} という2つの閾値を設けた関数を導入した。 p は指数関数の傾きの大きさを表現するパラメータであり、 p, v_{max}, v_{min} の3つのパラメータは本データセットにおける最適値、 $p=1.5$, $v_{max}=0.02$, $v_{min}=0$ とした。また、 v_{ij} はチーム i の選手 j の初速度を表している。そして算出された移動制限範囲内で(1)の運動モデルで選手の動きを記述し、ボールに一番早く到達できる選手をパスレシーバーと予測する。

次に、藤村ら(2004)のモデルは「ボールに一番早く到達できる選手」をパスレシーバーと予測する確定的なモデルであったことから、本研究では周囲の状況を考慮してパスの成否を確率的に決定する TRPP(Team Receive Pass

Probability)を新たに提案する。TRPP ではパスレシーバー予測モデルで求められたパス受け取り予測地点と各選手との距離に対して、選手がパスを受け取る確率 $p(d_{ij})$ を次式の切断正規分布の確率密度関数を用いて与える(3)。

$$p(d_{ij}) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{1}{\sigma} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{d_{ij}}{\sigma}\right)^2} \quad (3)$$

この式中の σ は標準偏差を表しており、標準偏差の値は実験的に得られた最適値 $\sigma=0.7$ とした。また、 $p(d_{ij})(i = 1, 2 \quad j = 1, 2, \dots, 10)$ はチーム i の選手 j がパスを受ける確率を表す。このように算出された選手のパスを受ける確率を、全選手(キーパーを除く 20 人)の確率の和で対象とするチームの選手(キーパーを除く 10 人)の確率の和を除し、この操作によって求めた値を TRPP とする(4)。そして TRPP の値が高いチームを、パスをレシーブするチームとして予測する。

$$TRPP_i = \frac{\sum_{j=1}^{10} P(d_{i,j})}{\sum_{j=1}^{10} \{P(d_{1,j}) + P(d_{2,j})\}} \quad (4)$$
$$(i = 1, 2 \quad j = 1, 2, \dots, 10)$$

予測性能評価

植田ら(2014)の研究で用いられた大学サッカー対抗戦の二次元フィールドデータのうち後半戦に生じたグラウンダーパス 106 本を用いてモデルの予測正答率を算出し、比較を行った。

結果

表 2 に予測正答率を示している。表 2 から最も予測精度の高いパスレシーバー予測モデルおよびパス成否予測モデルは順に TMM、TMM+TRPP であることが明らかとなった。

表 2 予測正答率一覧

	モデル	全体	成功パス	失敗パス
		n = 106	n = 90	n = 16
レシーバー予測	従来モデル	70.8%	77.8%	31.3%
	TMM	73.6%	78.9%	43.8%
成否予測	従来モデル	75.5%	80.0%	50.0%
	従来モデル+TRPP	73.6%	80.0%	37.5%
	TMM+TRPP	78.3%	82.2%	56.3%

考察

課題 I では RTK-GPS トラッキングシステムが衛星測位技術を用いた EPTS デバイスで用いられている単独測位アルゴリズムより、非常に精密かつ正確なトラッキングができることが明らかとなった。課題Ⅱでは本研究において提案された2つのパス予測モデルが従来モデルより高い予測精度を誇ることから、その有効性が明らかとなった。