H-067

サッカー中継映像における複雑隠蔽下での選手追跡
Tracking Players under Heavy Occlusion in Broadcast Soccer Video

久保 博之 † 三浦 純 ‡
Kubo Hiroyuki Miura Jun

1. はじめに

サッカー中継映像ではコーナーキックやフリーキックのシーンなど，選手同士の複雑な隠蔽が生じる場合があり，単純な選手追跡手法ではときに追跡が困難となる．

そこで本研究では，複雑隠蔽下での選手追跡のために，フレームごとに抽出した選手領域をノードとし，フレーム間の選手の移動をエッジとしたグラフを生成し，中継画像の各時間・場所で得られる選手の人数に関する制約をグラフを通して伝播させることにより，各選手の移動経路を推定する手法を提案する．

グラフ表現を用いた人物追跡の従来手法として，Chia ら [1] は，確実に同一人物だと判断できる領域を時系列でまとめた短いグラフをまず作成し，次にグラフ間の類似度を領域の色や大きさ，領域間距離を用いて定義し，類似度の大きいものから統合していく手法を提案しているが，類似度の近いグラフ間関係が多数ある場合に，誤った対応を選んでしまう可能性がある．Figueroa ら [2] は，領域間の対応付けの複数の可能性をまずグラフとして表現し，画像系列中のさまざまな場所で得られた証拠を基に，もっともらしい対応付けを選択する手法を提案しているが，追跡開始フレームで各選手が確実に一人の領域として得られていることを仮定しており，中継映像でショットが切り替わった瞬間にすでに隠蔽が生じている場合には適用できない．

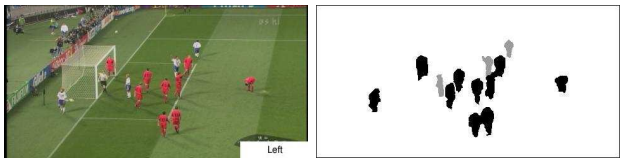
2. グラフ表現方法

グラウンド内で得られる選手候補領域から選手領域を抽出する．まず，シャツとパンツの色が異色のチームについては，それぞれの色情報を用いてシャツ領域とパンツ領域を抽出し，その組み合わせが合うものを選手とし，シャツとパンツが同色の場合には，まとめてユニフォーム領域として抽出する．

このとき，ある選手候補領域を選手領域と判断した色情報を持つ方のチームについて，その領域についてのメインチームとし，別のチームをサブチームとする．5 章における画像を用いた直接制約による最大 (最少) 人数の決定に利用する．

図 1(a) は原画像，図 1(b) は選手抽出結果の選手領域画像である．図 1(b) の領域のうち，薄い灰色が日本チーム (青白) の選手，黒がベルギーチーム（赤）の選手である．

画像系列から得られる選手領域からグラフを生成する．各選手領域をノードとし，ある選手領域が隣り合うフレームの選手領域と画像上で重なり合うとき，それらの間にエッジを生成する．



(a) 原画像 (b) 選手領域画像

図 1: 選手領域の抽出

各ノードはその領域に含まれる人数の最大値および最小値を属性として持ち（**人数制約**と呼ぶ），エッジを通して人数制約を伝播させることにより領域の人数を限定し，各選手の移動経路を推定する．

3. グラフの構成

3.1 グラフの特徴

本論文で生成するグラフは以下の特徴を持つ．

- 同一フレームに属するノード間にエッジはない
- グラフ全体を独立な複数の連結グラフに分けられる場合がある

3.2 サブグラフの構成

グラフをまず連結グラフの集合に分割する．さらに各連結グラフを以下のようなサブグラフに階層的に分割し，各サブグラフにも人数制約を属性として持たせることにより，制約伝播の効率化を図る．

(1) 基本ブロック

第 n フレームの 2 つのノードが共に，第 $n-1$ フレームのある一つのノード，および第 $n+1$ フレームのある一つのノードに隣接しているとき，それらは近接関係にあるという．あるフレームのノードのうち，近接関係を介して到達可能なノードの集合を基本ブロックという．

(2) 最小等人数制約グラフ

第 n フレームの基本ブロック A と第 $n+1$ フレームの基本ブロック B について，A，B 内のノードがそれぞれ B，A 内のノードとのみ隣接するとき，A と B は等人数制約の関係にあるという．等人数制約関係にある基本ブロックを時間軸方向に最大限連結したものを，最小等人数制約グラフという．

(3) 等人数制約グラフ

時間的に隣り合う 2 つの最小等人数制約グラフ間にエッジがあるとき，それらは隣接関係にあるという．隣接関係にある最小等人数グラフを時間軸方向に最大限まとめたものを，等人数制約グラフという．

4. グラフによる制約伝播の方法

4.1 上位グラフへの伝播

以下の順序で人数制約を上位のサブグラフに伝播させる．

1. 基本ブロックの最少 (最大) 人数を，それに含まれるノードの最少 (最大) 人数の和とする．

†大阪大学大学院工学研究科
‡豊橋技術科学大学

2. 最小等人数制約グラフの最少 (最大) 人数を，それに含まれる基本ブロックの最少 (最大) 人数の最大値 (最小値) とする．
3. ある等人数制約グラフについて，それに含まれる各フレームごとに，そのフレームに存在する最小等人数グラフすべての最少 (最大) 人数の和を計算し，それらの最大値 (最小値) を，その等人数制約グラフの最少 (最大) 人数とする．
4. ある連結グラフについて，それに含まれる各フレームごとに，そのフレームに存在する等人数グラフすべての最少 (最大) 人数の和を計算し，それらの最大値 (最小値) を，その連結グラフの最少 (最大) 人数とする．

4.2 下位グラフへの伝播

上位グラフへの伝播を行った後に，下位グラフへの伝播を行う．すなわち，グラフ全体，連結グラフ，等人数制約グラフ，最小等人数制約グラフ，基本ブロック，そしてノードの順に最大・最小人数を計算する．

最小等人数制約グラフにおいて，基本ブロックは各フレームに一つしか存在しない．そこで，この伝播においては，最小等人数制約グラフの最大 (最少) 人数を，それに含まれるすべての基本ブロックの最大 (最少) 人数に代入する．

その他の制約伝播においては，伝播における上位グラフ中に，下位グラフが同じフレームに複数存在するので，次式を用いて伝播を行う．

$$D^i_{max} = \min(D^i_{max}, U_{max} - \sum_{j \neq i} D^j_{min}) \quad (1)$$

$$D^i_{min} = \max(D^i_{min}, U_{min} - \sum_{j \neq i} D^j_{max}) \quad (2)$$

ここで，U_{max}，U_{min} はそれぞれ上位グラフの最大人数，最少人数を，D^i_{max}，D^i_{min} は，その上位グラフに含まれる i 番目の下位グラフの最大人数，最少人数を表す．ただし，連結グラフ，等人数制約グラフからの制約伝播を行う際には，それに含まれる各フレームごとに下位グラフを考える．また，グラフ全体から連結グラフへの制約伝播においては，$U_{max} = 10$(フィールドプレーヤー数)，$U_{min} = 0$ とする．

5. 画像を用いた領域の人数の直接制約

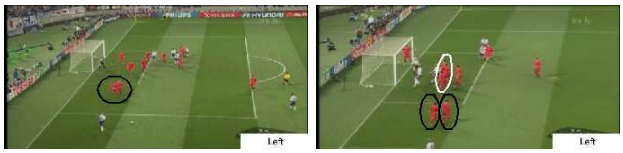
5.1 選手領域の幅・高さによる制約

選手領域を囲む矩形の幅と高さからその領域のメインチームの最大 (最少) 人数を決定する．幅・高さについてのそれぞれのしきい値 w，h より次の表 1 のように決定する．

サブチーム領域はメインチーム領域に含まれるか等しいので，その最大人数はメインチームの最大人数と同じとし，最少人数は確定している人数はないため 0 とする．

表 1: 幅・高さによる制約

	$\sim h$	$h \sim 2h$	$2h \sim$
$\sim w$	(1,4)	(2,6)	(3,8)
$w \sim 2w$	(2,6)	(2,6)	(3,8)
$2w \sim$	(3,8)	(3,8)	(3,8)



(a) 14 フレーム　(b) 110 フレーム

図 2: 制約の伝播の有効性

5.2 選手領域の形による制約

一人の選手が単独で領域を作っているときには，その足元部分は細く観測される．そこで，選手領域の下部が細く観測された場合，メインチームの最少，最大の人数とも 1 とする．サブチームについては最少，最大の人数とも 0 とする．

6. 実験結果

2002 年 W 杯日本対ベルギーの中継画像 (毎秒 30 フレーム) を用いて実験を行った．

図 2 はフリーキックのシーンであり，多数の選手の重なりが存在する．図 2(a) の黒で囲んだ選手領域は，その形状から最少人数 1，最大人数 4 という制約が与えられる．また，同フレームの他の 8 つの選手領域のうちのどの一つについても，形状からは人数を確定できていない．フレーム内の全体人数制約 (合計 10 人) を用いれば，各領域の最少人数は 1，最大人数は 2 となり，より制約を強めることはできているが，人数を確定するには至っていない．

しかし，以降のフレームを見ていくと，図 2 (a) の黒で囲んだ領域は，第 110 フレーム (図 2 (b)) において 2 つの領域に分かれるため，図 2 (a) においては，人数が 2 であったことが確定する．この制約を前のフレームへ伝播させると，図 2(a) の他のすべての領域の人数は 1 と確定する．

また，図 2(b) の白で囲まれた領域は，このフレームからだけでは人数を確定させることができないが，図 2(a) で各領域の人数が確定したことから，その情報を，それらの領域に関連したグラフ上を伝播させることにより，その人数は 3 と確定する．

以上のように，各領域の人数を一つのフレームからでは決められない場合でも，いくつかのフレーム，領域で得られる制約をグラフを通して伝播させることにより，人数を確定させることができる．

7. おわりに

中継画像の各時間・場所で得られる選手の人数に関する制約をグラフを通して伝播させることによって，各領域の人数を推定することができた．今後は，他の制約知識の導入や，確定的に推定できない場合についての各領域の人数の統計的推定などを行っていく予定である．

参考文献

[1] A.Y.S. Chia et al.: “Multiple Objects Tracking with Multiple Hypotheses Graph Representation,” ICPR2006, vol.1, pp.638–641, 2006.

[2] P.J. Figueroa et al.: “Tracking Soccer Players Aiming Their Kinematical Motion Analysis,” CVIU, Vol.101, No.2, pp.122–135, 2006.