

時空間MMDBにおけるサッカーの戦術記述と ad-hoc 検索

四十物裕司[†] 坂木和則^{††} 鬼束郷^{††} 富井尚志^{†††} 有澤博^{†††}

[†]横浜国立大学大学院 工学研究科 電子情報工学専攻

^{††}横浜国立大学大学院 環境情報学府

^{†††}横浜国立大学大学院 環境情報研究院

〒 240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-7

E-mail:{anchan, sakaki, go, tommy, arisawa}@arislabs.dnj.ynu.ac.jp

あらまし

本稿では、実世界などの時空間における物体のふるまい(3次元的位置変化)をデータベースに蓄積し、そこで生じている出来事(イベント)に基づく検索を行うデータベースの構築を目的とするが、特に、複数の人間が共存する時空間を対象として、局面(ある観点で見た時、同じ状況と判断される場面)を検索する手法を提案する。複数の人間が共存する時空間をデータベース化するためには、人の位置や動きといった点の座標の情報を蓄積するだけではなく、人間が移動できる範囲などといった空間的な領域の時間変化をデータベースに蓄積しておくことが自由度の高い検索を実現するためには必要であると考えられる。

そこで本稿では、時空間セルと呼ばれる、空間、領域と時区間との積を用いて領域の時間変化を記述する手法を提案し、サッカーの試合を具体例として取り上げ、時空間セル概念に基づく時空間モデリングと時空間検索手法について述べる。

Description of Soccer Tactics and Ad-hoc Query in Spatio-Temporal MMDB

Yuji Aimonon Kazunori Sakaki Go Onitsuka Takashi Tomii Hiroshi Arisawa

Division of Electrical and Computer Engineering, Faculty of Engineering,
Yokohama National University

[†] Graduate School of Environment and Information Sciences, Yokohama National University

^{††} Faculty of Environment and Information Sciences, Yokohama National University

79-7, Tokiwadai, Hodogaya-ku, Yokohama 240-8501 JAPAN

E-mail:{anchan, sakaki, go, tommy, arisawa}@arislabs.dnj.ynu.ac.jp

Abstract

This paper proposes a new We aim at realizing the database which accumulates the behavior (motion of objects in 3-dimensional space) in spatiotemporal space, such as real world, to retrieve an event information. We propose the technique to retrieve the aspect (similar situation in a certain viewpoint) especially for spatiotemporal space where two or more human beings exist. In order to construct database for information of such spatiotemporal space, we should consider accumulating not only points coordinates information such as one's position but also region changes on progress of time is required to realize high flexibility query. Therefore, in this paper, we propose the technique to describe changing region, we call it "spatiotemporal-cell", expressed using the product of space region and time-interval. And taking up the soccer game as an example, we show spatiotemporal information modeling and retrieval technique based on concept of "spatiotemporal-cell".

1 はじめに

近年、マルチメディアデータベースを用いて、コンピュータグラフィックスやバーチャルリアリティなどを扱う研究が盛んに行なわれている。特に実世界などの時空間における物体の3次元的な振る舞いを蓄積し、多様な検索を行なうことができるデータベースを時空間MMDBと呼ぶが、このような時空間MMDBが実現されれば、スポーツにおける人体の動きの解析、医学におけるリハビリテーション計画、生産技術文やでの作業者と工作機械の協調作業の解析・調査など、幅広い応用分野での利用が考えられる。

ところで、一般に、時空間における事物・事象に対する人の解釈や検索したいと考える内容は多様であることから、時空間MMDBを実現するためには、検索者にとって自由度の高い検索である ad-hoc 検索、特に時空間での出来事(イベント)を用いた検索に求められる柔軟性、適応性が必要である。現在、モーションキャプチャシステムやGPS(Global Positioning System)、多視点映像からの画像解析などを用いれば、物体の3次元空間における位置データを自動的に取得することができるが、これによって得られた位置データをデータベースに蓄積するだけでは、これらの値をインデックスとした、非常に簡単な検索しか行うことができない。特に、対象とする時空間に複数の物体が存在するような場合では、物体相互の位置関係やそれらの協調動作を考慮した検索を行うことが必要になるだろう。

ここでは、時空間に複数の物体が共存する共存型時空間を対象として、多様な検索を行うデータベースシステムの実現を目的とするが、共有型時空間において、同じ局面(ある観点で見た時同じ状況と判断される)を探し出すという検索を考えれば、複数の物体によって構成される領域、各物体が他の物体の干渉を受けずに動くことができる領域などといった、空間における複数の物体の位置関係によって決定される領域の時間的変化をデータベースに蓄積し、検索に利用することが有用であると考えられる。

このような検索を行うために本論文では、空間領域の時間的変化を表すものとして、時空間セルという概念を提案する。時空間セルとは時間と空間の次元をあわせ持つセルによって、領域の時間変化を表現したものであり、これを用いて局面の特徴を記述

することによって、該当するパターンの局面を複数の物体の位置関係やその時間的推移を用いて検索することができる。

本稿では、時空間セルを用いたデータベースの構築とデータベース検索手法について述べる。また、このような検索手法が、サッカーの戦術に基づく質問処理で有効であることを示す。

以下、2章では複数の人間が存在する共存型時空間のデータベース化を実現するために必要とされる要素について述べ、3章では、本稿で提案する時空間セルの定義とモデル化について述べる。4章では、時空間セル概念に基づく検索手法について、及び、共存型時空間の例としてサッカーの試合を挙げて、5章でまとめを述べる。

2 共存型時空間の構成要素

我々が提案する、複数の物体(人間など)が共存する時空間(共存型時空間)を扱うデータベースシステムは、GPSや多視点映像からの画像解析によって得られる人間の3次元空間における位置データとそのデータから得られる解析データをスキーマに従って蓄積することで ad-hoc な時空間検索を実現しようというものである。このシステムのプロトタイプを図1に示す。

共存型時空間の情報をデータベース化するためには、まず対象とする世界がどのような時空間的情報で構成され、どのようなデータによってその情報が表現されるのかについて考える必要がある。

共存型時空間の構成要素として少なくとも次の要素が考えられる。

1. 共存型時空間全体の情報
データベース化する対象世界の時間的・空間的な情報
2. 共存型時空間に存在する物体(オブジェクト)の情報
人間やロボット、ボールや道具などの対象時空間に存在するものの動きに関する情報
3. 共存型時空間を構成するイベントの情報
走る、ドリルを持つ、DFラインを上げるといった対象時空間に存在するオブジェクトによって起こされる事象・出来事に関する情報

共存型時空間情報をデータベース化するためには、以上のような各種、各レベルの情報をすべてモデル化し、蓄積する必要がある。その中でも3のイベントは共存型時空間に対して、検索者が興味をもつ要素であり、特に複数の人間が協調して行うといった協調イベントに関する興味は大きい。

そこで、共存型時空間情報を有効に蓄積することができ、直観的、かつ自由に検索することができる共存型時空間データベースを構築するためには、協調イベントも検索できるような新しいモデル化手法と検索手法の確立が必要不可欠である。

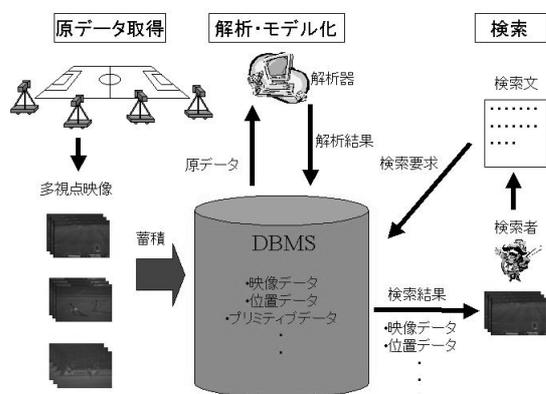


図 1: システムのプロトタイプ

3 時空間セルを用いた領域の表現

我々は共存型時空間をデータベース化の対象として、個別のイベントだけではなく、複数の人間で構成される高度なイベントに基づく ad-hoc 検索を実現することを最終目標としている。

その目標を実現する際に重要となる情報は位置に関する情報ではなく領域に関する情報である。というのは、位置に関する情報が蓄積されていた場合には、その位置や軌跡といった低レベルの情報に関する検索しかできないのに対して、領域は複数の物体で囲まれた領域というのを考えるとより高度なイベントに基づく検索が可能になるからである。

このような検索を考えた場合、単に物体の位置情報が入っているだけでは検索することができない。というのは、上のような検索を行なうためには選手

の位置の変化だけではなく、選手の周りの領域の変化も重要だからである。

そこで、我々は上記のような検索に応えるためには領域を考えることが有効であると考えた。この支配領域の時間変化を記述することができれば、単に選手の位置情報が蓄積されているだけではできないようなイベントに関する ad-hoc な検索が実現できると考えた。

そこで、この支配領域の時間変化を記述するために、時空間セルを提案する。時空間セルとは選手の支配領域と任意の時間区間の積で表されるもので、この時空間セルをデータベースに蓄積しておくことで支配領域の時間変化を記述することができ、位置情報だけではできないような高度なイベントに基づく ad-hoc 検索に応えることが可能になると考えられる。

3.1 時空間セルの大きさ

3.1 節で述べた人間の持つ支配領域と 3.2 節で述べたアクションタイムとの積で、表現される要素を時空間セルと呼ぶ。この要素は、共存型時空間における様々な局面や協調イベントを検索する際のプリミティブであり、概念図を図 2 に示す。

この時空間セルはアトリビュートとして、始点と終点における支配領域とそのセルの体積 (STI: Space Time Integration) を持っており、ある時点 t における人間の支配領域の面積を $S(t)$ としたとき、時間区間 $T(t_s, t_e)$ における STI は次式のように表される。

$$STI_A(T) = \int_{t_s}^{t_e} S(t) dt$$

ただし、本稿では、この時空間セルの価値を評価することが主題であることから、簡単のために、時間区間の補間には線形補間を適応し、この補間法に関する評価は今後の課題としておく。

4 時空間セルを用いたサッカーデータベースの設計

本章では、共存型時空間の例としてサッカーを考え、様々な局面や協調イベントに関する検索を実現するため、時空間セルを用いたサッカーデータベースを設計し、その上での検索手法について述べる。

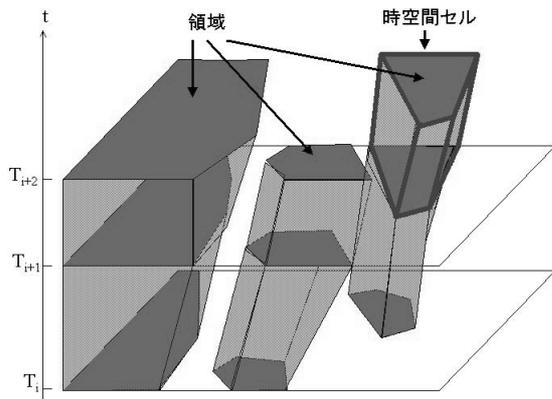


図 2: 時空間セル

4.1 時空間セルにおける空間分割

時空間セルは空間と時間の積で表現すると述べたが、そこでの空間の捉え方について、本節では詳しく述べる。複数の人間が存在する共存型時空間で人間は必ず、同じ時空間に存在する他の人間との兼ね合いで動いている。例えば、チームスポーツにおいて、各選手はチームの勝利のために相手選手や味方選手の動きに連動して動いている。また、電車やバスといった閉空間においても、他の人間の位置を見て、ある程度の距離をとって自分の位置を決定する。

こう考えると、共存型時空間において、人間はある種の支配領域を持っていると考えられる。例えば、サッカーにおいて、ある選手がボールを持てば相手選手はボール所持選手に自由にプレーする領域を与えないようにし、味方選手は相手の支配領域から離れてボールをもらおうとするが、これは置き換えれば、相手選手はボール所持選手の支配領域を減らそうとし、味方選手は相手選手の支配領域から離れて、自分の支配領域を増やそうとしていると考えることができる。また、電車内においても混んでいない時には、他人から離れて自分の位置を決めるが、これも自分の支配領域を増やそうとしていると捉えることができる。

このように、共存型時空間において、人間はある種の支配領域を持っており、その支配領域の変化がその時空間における様々な情報を反映していると考えられる。

そこで本稿では、その人間の支配領域の変化を捉

えるために、共存型時空間は対象時空間に存在する複数の人間の支配領域の総和であると捉え、時点における空間をそれぞれの人間の支配領域に分割する。

人間の支配領域とは誰よりも早く到達できる範囲のことで、これは各個人の空間的な位置関係、および、個人の運動能力によって決定される。一般に、数理的に空間中にいくつかの点が与えられたとき、各点の支配領域はボロノイ領域 [?] で表現できる。このボロノイ領域を拡張することで、集団で移動する個人の支配領域を定式化する手法が確立されている [1]。そこで本稿では、その手法を用いて人間の支配領域のモデル化を行い、支配領域の例を図 3 に示した。

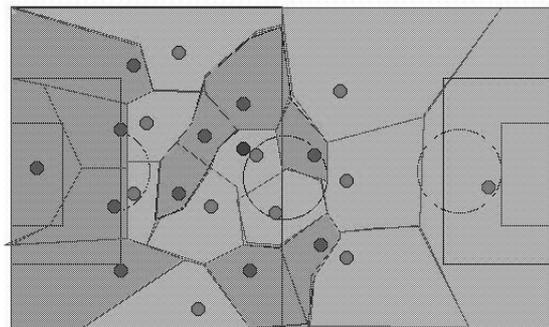


図 3: 支配領域

4.2 時空間セルにおける時間分割

本節では、本稿で提案する共存型時空間に関する多様な局面や協調イベントを直観的、かつ自由に検索するためのプリミティブである時空間セルを生成する際の時間の捉え方について述べる。

時空間セルは、様々なイベント検索をする際の最小要素である。従って、その時空間セルを生成する時区間はイベントに基づいて分割される最小時区間であり、これをアクションピリオドと呼ぶ。このアクションピリオドは、対象時空間における中心的なイベントに基づいて分割される。例えば、サッカーであれば、選手がボールに触るというイベントに基づいて分割し、ある選手がボールを触ってから他の選手が触るまでの時区間がアクションピリオドとなる。

というのは、例えば、サッカーであれば、ボールを持つ選手が変わるごとに周りの選手も連動して動きが変わる、というように多くの人間はその中心的

なイベントを変わり目として行動を変えることが多いからである。

さらに、対象時空間に存在する全ての人間が行動し直すといった大きく局面が変わる時区間をシーンと呼ぶ。つまり、シーンの区切りが対象時空間の全ての人間のイベントの変わり目となるということで、シーンはアクションピリオドよりも大きなイベントの変化に基づいて分割される時区間となる。

そこで、共存型時空間を複数の時区間に分割する際に、次の2つのレベルの時区間を定義する。これら2つの時区間は対象とする共存型時空間によってイベントの種類が異なるので、対象によって変わるものである。

- アクションピリオド … シーンにおいて、局面が変わる時点で排他的に区切られた時区間。イベントに基づく最小時区間
- シーン … 対象時空間において、大きく局面が変わる時点で排他的に区切られた時区間

4.3 サッカーデータベースのスキーマ設計

4.3.1 人間共存型空間データベースのスキーマ

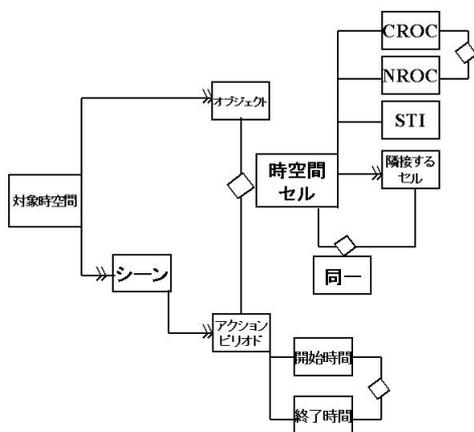


図 4: 人間共存型空間データベースのスキーマ

図 4に人間共存型時空間のスキーマを示す。実際に、人間共存型時空間に属する時空間のスキーマを設計する場合には、これを基本とし、必要があればエンティティや属性を追加してスキーマを設計すれば良い。

4.3.2 サッカーデータベースのスキーマ

ここでは、具体例としてサッカーの試合のスキーマ設計を試みている。図 5

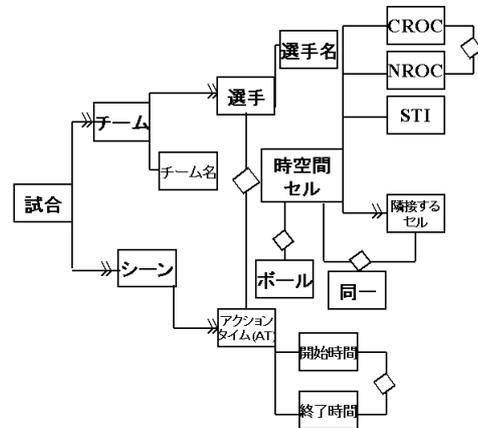


図 5: サッカーの試合のスキーマ

このスキーマで表される情報は次のようになる。

- 対象時空間に関する情報として、シーンやオブジェクトに関する情報が蓄積される。
- シーンに関する情報として、アクションピリオドが蓄積され、さらにアクションピリオドに関する情報として、開始時点と終了時点の情報が蓄積される。
- 時空間セルは質問とアクションの直積として表される時空間セル情報としては、現在の支配領域 (CROC: CURRENT REGION OF CONTROL) や次の時点における支配領域 (NROC: NEXT REGION OF CONTROL), その時空間セルの体積 (STI: SPACE TIME INTEGRATION) と隣接する時空間セルの情報も含めてエンティティとして蓄積される。

ここでのポイントはあらかじめ時空間セルの STI をデータベースに蓄積しておくところである。というのは、STI は支配領域の時間方向への積分演算の結果であり、その値をあらかじめ蓄積しておくことで検索の負担を減らしている。

4.4 サッカーデータベースの検索例

本節では、

設計したサッカー試合のデータベースを用いたイベント表示の例を示す。

4.4.1 検索例 1 (時空間セルを用いた検索)

設計したスキーマに基づき、「ある選手 A がフリーでボールをもらったシーンが見たい」という検索は以下のような手順で行うことができる。

- タイプ選手名 A の要素を選択し、それと継っている時空間セルの CROC が 以上のシーン

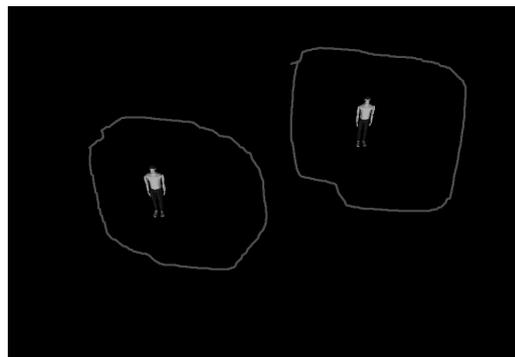


図 6: 結果 1

4.4.2 検索例 2(時空間セルの時間変化を用いた検索)

「相手のマークを振り切ってボールを受けとったシーンが見たい」という検索は以下のような手順で行うことができる。

- ボールをもった選手の時空間セルの要素である NROC と CROC の差分を取った結果、正であれば該当する。

4.4.3 検索例 3(複数の時空間セルを用いた検索)

「ボールを持っている選手の相手のマークが集まったところでマークがうすくなった選手にパスが渡ったシーンが見たい」という検索は以下のような手順で行なわれている。

- ある選手がボールを持っている間の時空間セルの要素である NROC と CROC の差分を取った時に負の値を返して、かつ味方の選手の時空間セルの要素 NROC と CROC の差分を取った時に 以上の値を返したときに味方にボールが渡ったシーンを抜き出す。

この検索結果として取り出されたシーンを実際にグラフィックスで表示した例が図 6,7,8 である。この図を見ると支配領域は片方の選手では徐々に広がって、片方の選手では徐々に狭くなっていることが分かる。

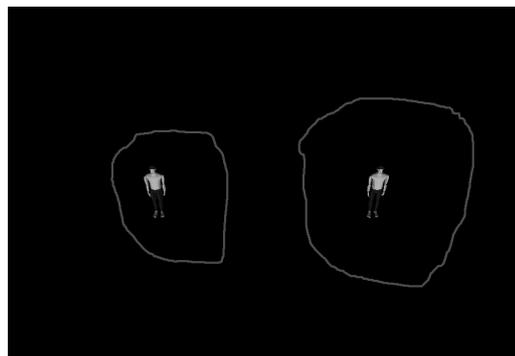


図 7: 結果 2

5 まとめ

本稿では、複数の人間が存在する共存型時空間を対象としたデータベースシステムの設計を行なった。

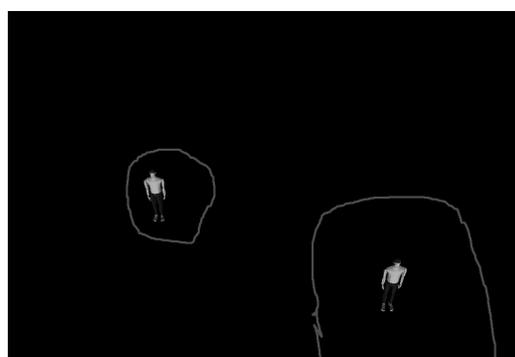


図 8: 結果 3

また、対象時空間における様々な局面を表現するための基本要素として時空間セルを提案し、時空間セルをデータベースに蓄積しておくことによって、多様な局面を直観的、かつ自由に検索するための手法を提案した。具体例として、サッカーの試合を挙げ、時空間セルの表現能力の検証を行った。この結果により、時空間セルを用いることによって、位置データを蓄積しておくだけでは検索することが困難であるような局面や協調イベントを直観的に検索できることを示した。

謝辞

本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金奨励研究(A)(課題番号12780202)及び、文部科学省科学研究費補助金基盤研究(C)(2)(課題番号12680338)による。

参考文献

- [1] 瀧 剛志, 長谷川純一: “チームスポーツにおける集団行動解析のための特徴量とその応用”, 電子情報学会論文誌 (D-II) Vol. J81-D-II, No.8 pp.1802-1811, 1998
- [2] H. Arisawa, H. Nagae, Y. Mochizuki, “Representation of Complex Objects in Semantic Data Model “AIS” and Implementation of Set Operators”, IEICE TRANSACTIONS, vol.E74, No.1, 1991.
- [3] H. Arisawa, T. Tomii, H. Yui, and H. Ishikawa: “Data Model and Architecture of Multimedia Database for Engineering Applications”, IEICE TRANS. INF. & SYST., vol E78-D, No.11, 1995.
- [4] Kiril Sarev, S. Imai, T. Tomii, H. Arisawa, Y. Tsuchitani: “Modeling and Detection of Events in Factory Work Simulation System”, Intelligent Manufacturing System September 22-24 pp.641-649 1999.
- [5] 富井尚志, 有澤博: “マルチメディアデータベースにおける映像モデリングと操作言語,” 信学論, Vol. J79-D-II, NO4. pp.520-530(1996).
- [6] Sunghoon Choi, Yongduek Sea, Hyunwoo Kim, Ki-Sang Hong: “Where are the ball and players?: Soccer Game Analysis with Color-based Tracking and Image Mosaick” Dept. of EE, Pohang University, of Science, and Technology Sam 31 Hyoja Done, Pohang, 790-784, Republic of Korea
- [7] Taeone Kim, Yongduek Sea, Ki-Sang Hong: “Physics-based 3D Position Analysis of a Soccer Ball from Monocular Image Sequences” Dept. of EE, POSTECH San 31 Hyoja Dong, Pohang, 790-784, Republic of Korea