

動画像データベースにおける不完全質問とMeSODモデル

田渕 仁浩 村岡 洋一
早稲田大学大学院理工学研究科

本論文では動画像データベースに対するデータベースモデルとその問い合わせ処理を提案する。動画像データベースでは条件に合った部分系列を取り出す場合に、場面の属性が移り変わる様子を指定する条件の表現方法の問題と条件に一致しない場面の混入や場面の抜けがある動画像系列に対する問い合わせ処理の問題がある。これらの問題に対してMeSODモデルに条件の繰返し適用を表す正規表現を導入し、さらに正規表現を含む条件をデータベースのデータに合わせて緩和するような問い合わせ処理(不完全質問処理)を形式的に定義する。これらの定義を元に、先の論文で報告した大相撲放送からの取組系列の抽出実験の結果を理論的に検証する。

Incomplete Queries on a Motion Picture Database and the MeSOD model

Mashiro Tabuchi Yoichi Muraoka

Graduate School of Science and Engineering, Waseda University
3-4-1 Okubo, Shinjuku-ku, Tokyo 169, JAPAN

This paper proposes a data model and its query processing for a motion picture database. The problems on retrieving a specified subsequence are how to express a condition for a subsequence, and how to process a query in a sequence both containing an unrelated scene with the condition and missing a specified scene. To solve these problems, a regular expression extended to contain formula is introduced into the MeSOD model, and the incomplete-query processing is defined. On these definitions, the former reported result of the examination about extracting a match from the SUMO sequence is verified.

1. まえがき

本論文では、動画像データベースに対するデータベースモデルとその問い合わせ処理を提案する。提案するデータベースモデルの特徴は、1) 系列データの部分系列を指定する際に条件の繰返し適用を問い合わせの中に記述できること、2) 問い合わせ条件に含まれる誤りを許容できるような問い合わせ処理をデータベース管理システム(DBMS)の機能とする点にある。一般的なデータモデルにおいて系列データを扱う場合には、部分系列を取り出す操作の記述が不便である。例えば、大相撲放送をカットの時系列集合とみなした動画像データベースから取組を取り出すことを考えよう。カットはカメラの切り替わりの間の動画像で、属性としてタイトル("仕切","対戦","ニュース","放送席"etc)を持つとする。取組を構成するカットに付与されるタイトルは、"仕切","対戦","決着","礼","勝ち名乗り","力水","花道"の順に現れるが、タイトルが順に変わることを表すような条件記述を例えばSQLで書くのは大変に難しい。なぜなら、指定すべきタイトルカットの数は検索するまで判らないからである。また、条件が記述できたとしても実際の取組を部分系列として取り出せない。これらのタイトルのカットの間には観客席や土俵下の力士が映ったりするし、力水や花道のタイトルカットが無かったりすることもあるからである。この事実はデータ定義の抽象度の向上を目指した意味データモデルやオブジェクト指向的データベースモデルでも同様である。

これらの問題から、より一般的な二つの問題が得られる。一つは、系列データのある部分系列を指定する条件として条件の繰返し適用をどのように表現するかという問題で、もう一つは、問い合わせ条件に対する許容条件をどのように表現するかという問題である。大相撲放送の例では、前者は「属性タイトルの値が"仕切"であるカットが何回か続いた後に、属性タイトルの値が"対戦"であるカットが何回か続く系列」というような条件をどのように記述するかという問題である。また、後者は「仕切中に観客席や土俵下が2,3カット映っても許容できるような条件」や「力水や花道のカットが無くとも取組として許容できるような条件」をどのように記述するかという問題である。

本論文では、上記の問題に対してMcSODモデル[1]に条件の繰返し適用を表す正規表現を導入し、さらにその条件をデータベースのデータに合わせて緩和するような問い合わせ処理(不完全質問処理)を提案する。条件の繰返し適用を表す正規表現を導入することによって、問い合わせ条件にデータの属性の変化の様子を記述できるようになる。また、不完全質問処理は与えられた問い合わせ条件から派生可能な条件で検索できるデータを候補とみなすことによって、条件に許容条件

を設けることができる。つまり、問い合わせ条件をデータに適合するように書き換えて、その書き換えが許容条件を満たせば検索されるデータを元の問い合わせの候補とするような問い合わせ処理である。この許容条件は意味制約によって宣言的に指示され、書き換えの戦略を決める。例えば、「与えた条件の80%が合っていれば候補とせよ」「指定した条件の大事なものから少ない書き換えコストになるような書き換えがあれば候補とせよ」というような書き換えの戦略を指示できる。

以下では、2節で動画像データベースの例題を使って問題を提起し、その解決方法の概要を説明する。3節ではMcSODモデルにおける不完全質問処理の形式的な議論のための準備としていくつかの概念を定義する。4節では不完全質問処理の性質を明らかにする。5節では関連する研究との比較を示し、6節で本論文をまとめる。

2. 動画像データベースの例題と不完全質問処理

この節では、大相撲ダイジェスト作成システムという応用を作る目的でデータベースを利用する例によって、従来のデータベースモデルにおける問い合わせ処理の問題について指摘する。ついで、大相撲放送データベースのデータ記述とダイジェスト要求の例によって、McSODモデルと不完全質問処理について説明する。最後に、同じ例題によって不完全質問処理が保存する意味(意味論)について説明する。

2.1 大相撲ダイジェスト作成システムの例題と問い合わせ処理の問題

大相撲ダイジェスト作成システムを設計する例について考える。大相撲ダイジェスト作成システムは、利用者の取組のダイジェスト作成要求を入力として生放送やその録画テープから利用者個人のためのダイジェストを抽出/作成してくれるような知的な録画システムである[2]。このシステムでは大相撲放送が動画像データベースに対応するから、利用者のダイジェスト作成要求を処理し、適切な動画像系列を取り出すのは、データベース管理システムの役割である。

しかし、従来のデータベースモデルは二つの点からこのようなシステムの実現には向かない。一つは系列データから部分系列を指定する条件の記述が従来のデータモデルでは大変に不便であることである。この問題を説明するために、大相撲放送をカットの時系列集合とみなした動画像データベースから取組を取り出す例について考える。カットはカメラの切り替わりの間の動画像で、属性としてタイトル(仕切、対戦、ニュース、放送席etc)を持つとする。取組を構成するカットに付与されるタイトルは、仕切、対戦、決着、礼、勝ち名乗り、力水、花道の順に現れるが(図1)、タイトルが

順に変わることを表すような条件記述を例えばSQLで書くのは大変に難しい。実際、各タイトルカットのカット数が取組毎に異なるから、カット毎に条件を付けるSQLの書き方では表現できない。

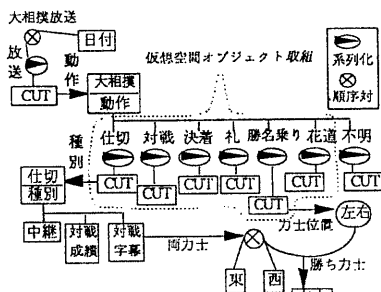


図1 大相撲放送の概念スキーマグラフ

もう一つの問題は、従来のデータモデルでは問い合わせ条件に対して許容条件を与えられるような問い合わせを記述できないことである。例えば、取組を指定する条件が記述できても、実際取組は条件に現れるタイトルカットだけではないし、また指定したタイトルカットが全て放送されるわけでもない(図2)。その結果、完全一致を基本とする問い合わせ処理だけでは、一日分の大相撲放送からさえも取組に対応するカット系列を正しく取り出せない。この事実に対して、取組単位を大相撲放送毎に静的に定義する方法も考えられるが、大相撲ダイジェスト作成システムの目的には役に立たない。なぜなら、各取組毎に異なる条件を定義することになるので、ある一つの取組単位を取り出すのにさえ、異なる定義を全て列挙しなくてはならないからである。この方法では取組が増えるにつれて記述すべき条件の数が増えるから役に立たない。従って、このシステムの目的では一つの取組定義で実際の放送に適合するような取組単位の定義を代表させられなくてはならない。しかし、従来のデータベースモデルでは問い合わせ処理において問い合わせ条件に対する許

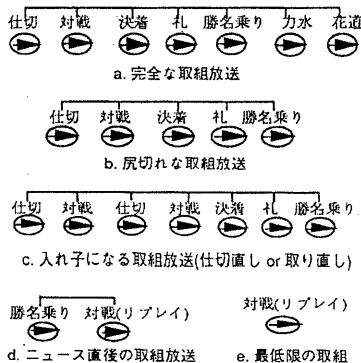


図2 取組構造の崩壊例

容条件を与えられないから、そのような機能を提供できない。

以上の例より得られる一般的な問題は、1) 系列データから個々のデータの属性値の変化の様子を条件とするような問い合わせをどのように記述するかという問題と、2) 条件の集まりをある条件で代表させられる問い合わせをどのように記述するかという問題になる。これらの問題は、ここで取り上げた大相撲ダイジェスト作成システムの例に固有ではなく、他の動画データを含む応用においても同様であろう。

2.2 MeSODモデルによる大相撲放送データベース記述

上述の前者の問題に対してMeSODモデルに条件の繰返し適用を表す正規表現を用いた問い合わせ条件記述を導入する。そこで、まず議論の準備のためにMeSODモデルにおけるデータ定義から説明する。

MeSODモデルでは、任意の二つの実体が距離値を持つような実体集合(空間)の集まりをデータベースとして定義する。その単位を空間オブジェクトと呼び、空間オブジェクトの要素を点オブジェクトと呼ぶ。例えば、大相撲放送データベースをモデル化した図1において、グラフの各ノードが空間オブジェクトに対応する。空間オブジェクトはデータ構造の定義と等号の定義からなる抽象データ型である。等号の定義は、点オブジェクト間の距離関数の定義と近傍制約を伴い、二つの点オブジェクトの識別子が一致し距離値が0であれば真、そうでなければ偽を返す。近傍制約は二つの点オブジェクト間の距離値を{完全一致、一致可能、一致不可能、不一致}へ写像する関数で、しきい値 $\epsilon \in$ 区間 $[0,1]$ の宣言によって定義される。すなわち、近傍制約の定義としてしきい値を ϵ とすると距離値 $0 < d \leq \epsilon$ のとき'一致可能'、 $1 > d > \epsilon$ で'一致不可能'、距離値 $0,1$ は完全一致、不一致を返す。また、任意の空間オブジェクトAの一つの点オブジェクトaを固定したときの近傍制約を空間オブジェクトAにおけるaの近傍制約と呼ぶ。

空間オブジェクトには基本空間オブジェクトと複合空間オブジェクトの二つの種類がある。基本空間オブジェクトは、文字や数値データなどをモデル化した空間オブジェクトで、データベース管理システムの実装によって定義される。複合空間オブジェクトは、基本空間オブジェクトにcartesian, quotient, sequenceという構成子を適用して生成される空間オブジェクトである。例えば、図3の空間オブジェクトCUTは積空間オブジェクトで、cartesian構成子によって空間オブジェクトtimecode(連番)、movie(映像データ)、title(タイトル)の直積として定義されている。空間オブジェクトCUT/titleは、quotient構成子によって生成された商空間オブジェクトである。CUT/titleの要素は、空間オブジェクトtitleの要素毎にCUTの要素を集めた空間オブジェクト[title]_CUTである。[title]は、空間オブジェクトtitleの点オブジェクト

を表し、'仕切','対戦'などに対応する。空間オブジェクト大相撲放送は系列空間オブジェクトで、sequence構成子によってCUTの系列の集まりと定義されている。

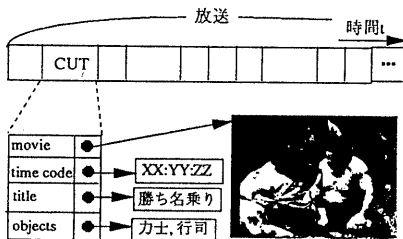


図3 大相撲放送とカットの概念

また、select式による問い合わせの結果として得られる空間オブジェクトを仮想空間オブジェクトと呼ぶ。例えば、取組単位や図4のあるダイジェスト要求「若花田の取組から対戦、決着、札、勝ち名乗り、力水の場を取り出せ」によって得られる結果は仮想空間オブジェクトである。この例のような要求を簡潔に記述するために、MeSODモデルでは新たに条件の繰返しを表現する正規表現を導入している。従って、取組のダイジェストを指定する条件は (CUT.title="対戦")+(CUT.title="決着")+(CUT.title="札")+(CUT.title="勝ち名乗り")+(CUT.title="力水")+ のように書ける。この表現はタイトルを指定した論理式をそれに続くカットについても繰返し適用することを表す正規表現によって、各動作が何回か連続しているようなカット系列を指定している。

```
select 取組.勝ち力士='若花田'
select sequence 取組 CUT by CUT.id {
  (CUT.title='対戦')+(CUT.title='決着')+
  (CUT.title='札')+(CUT.title='勝ち名乗り')+
  CUT.title='力水'+
} 大相撲放送
```

図4 若花田が勝つ取組のダイジェスト作成要求

2.3 不完全質問処理、意味制約、書き換え戦略

2.2の条件の正規表現によって取組条件を簡潔に表現できるが、後者の問題は依然として残る。そこで、問い合わせ条件に対する許容条件(意味制約)を与えられるような問い合わせ処理(不完全質問処理と呼ぶ)を提案する。不完全質問処理は与えられた意味制約を満たすように問い合わせ条件を書き換えた条件によって元の問い合わせの候補を得る。即ち、与えられた問い合わせ条件と意味的に同じである複数の条件を生成し、それらによって検索されたデータを候補データとする。

この不完全質問処理は条件の書き換え操作、書き換え操作の意味制約、そして書き換えの評価基準を使って書き換えを生成する(図5)。条件の書き換え操作は、条件の中に含まれる値を書き換える操作と条件を削除する

る操作からなる。書き換え操作の意味制約は書き換えられた条件が満たさなくてはならない二種類の意味制約からなり、元の問い合わせ条件の意味を損なう書き換えを抑制する。一つは値を書き換える際に使える値の範囲を制限する制約条件で、もう一つは条件に対する削除操作が可能であるための制約条件である。MeSODモデルでは前者を点オブジェクト間の距離を用いた近傍制約で表し、後者を空間オブジェクト間の依存を表す存在可能性制約で表す。存在可能性制約は直観的には複数の属性を持つ実体について、ある属性の属性値の指定の誤りが検索にとって致命的であることを表す。書き換えの評価基準は、意味制約を満たす書き換えの中からより良い書き換えを得るために、距離値に関する空間オブジェクト間の半順序として与える。この半順序は重要な属性を含む条件ほど書き換えコストが高いことを意味するので、コストの安い書き換えを良い書き換えとすれば極少コストの書き換えが得られる。

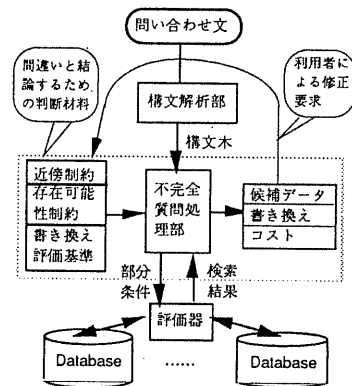


図5: 不完全質問処理の実装モデル

不完全質問処理によって、例えば、仮想空間オブジェクト取組の問い合わせ条件を元に実際の放送から取組単位とみなせるカット系列を取り出す場合は以下のとおりである[3][4]。2.2の取組条件は力士の動作とは無関係なカットが混入された実際の放送を受理しえない。そこで不完全質問処理はまず、正規表現に対する書き換え操作によって、指定した動作のカットが連続するという条件を緩和してカットの一つ先や二つ先に同じ動作が存在しているという条件に変える。その結果、図6のように仕切中の放送に対して仕切の条件を放送に合わせて書き換えると、その条件に一致しないカットは読み飛ばされる。同様の書き換えを各動作条件に対しても施すことによって、指定した動作に沿わない場面が一部混入しているような放送の中からも取組に対応するカット系列を取り出せる。また、ある動作が抜けているような取組放送に対しては、不完全質問処理は抜けているタイトルカットに対する条件を削除する書き換えを施す。例えば、決着カットや札カットが抜け

ている放送の場合には決着や札の動作に対する条件を削除する。その結果、ある動作が抜けているような放送からも取組に対応するカット系列を取り出せる。

この例の近傍制約は、系列空間オブジェクトにおける近傍制約であり、連続して読み飛ばせるカット数の限度を制御している。即ち、書き換え前と書き換え後の二つの系列間の距離が連続して異なる項の数で定義されているので、近傍制約による距離の制限は連続して読み飛ばすカットの数を制限することに対応する。また、存在可能性制約は仮想空間オブジェクト取組に対して与えられており、空間オブジェクト対戦_CUTを指定する。実際、取組中には空間オブジェクト対戦_CUTの要素(対戦カット)が含まれていなくてはならない。以上の意味制約により必要以上の不用カットの混入や、仕切や勝名乗りや力水カットだけからなる無意味なカット系列を取り出すような書き換えの生成を回避できる。

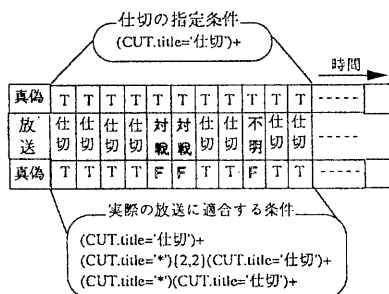


図6 仕切の指定条件と実際の放送例

この例における書き換えの評価基準を図7の例で説明しよう。なお、図7ではカット系列条件CUT.title=[title]+で表す。図7では、書き換えは二通り考えられるが、対戦中に仕切が現れることはないから意味的に正しいのは上段の書き換えsの方である。そこで、仕切カットができるだけ長くなるような書き換えや動作の順を優先した書き換えの方が良いという評価基準を与えれば、意味的に正しい書き換えsを得られる。不完全質問処理では、このような書き換えの評価基準を距離値に関する空間オブジェクト間の半順序として与える。例えば、図7では本来の取組に登場する順に沿って、仕切系列条件を書き換えるコストの方が対戦系列条件を書き換えるコストよりも安価であるという半順序を定義すれば、下段の書き換えを選択することはない。その結果、[3][4]の実験では取組と見なせる系列を実際の放送に合わせて取り出せる。

2.4 不完全質問処理の意味論

不完全質問処理は、問い合わせ条件の書き換えについての非単調な理論における証明手続きである[5]。不完全質問処理は、問い合わせ条件における値や述語の

指定に誤りがないとするデフォルト理論[6][7]における信念において証明されるような書き換えを生成する。

即ち、与えられた意味制約を保存し、なおかつ元の条件に誤りがないという信念を満足するような書き換えを生成する。逆に、そのような信念を満足するような書き換えを全て得る。不完全質問処理では、近傍制約を満たす書き換えでも真となる条件を得られず、かつ存在可能性制約が真である時に限り、条件の削除が許される。大相撲ダイジェストの例では、混入による書き換えは終了しており、なおかつ対戦カットが存在することが保証されている時のみ条件を削除できる。従って、条件の書き換えによる問い合わせ処理の結果として得られたカット系列には対戦カットが存在することが保証されており、さらに元の取組条件に含まれる動作をできるだけ多く含むことも保証できる。また不完全質問処理は問い合わせ中の検索条件が満足されないときにのみ行なわれる。

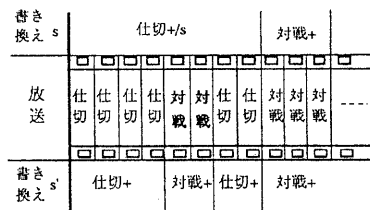


図7 カットのタイトル系列と書き換え例

3. MeSODモデルにおける不完全質問処理

この節では、MeSODモデルにおける不完全質問処理を形式的に定義する。そのための準備として、まずMeSODモデルの空間オブジェクトと大相撲ダイジェスト作成システムの例で導入した系列データに対する問い合わせ構文を説明する。次に不完全質問処理の書き換え対象と書き換え操作、そして意味的に許容できる書き換えを得るための意味制約を定義する。その結果、不完全質問処理は問い合わせ条件と書き換えに対する意味制約が与えられたときに、意味制約を満たすような書き換えを計算する手続きとして定義される。

3.1 MeSODモデルにおける空間オブジェクト

MeSODモデルにおける空間オブジェクトの概念は2つの実体間の距離値によって値の書き換えコストを計量する仕組をモデルの基本単位とするためにある。従ってMeSODモデルにおけるデータ定義/操作は空間オブジェクトの定義/操作であり、[1]では積空間構成子、商空間構成子といった空間構成子によって構成されたものの複合空間オブジェクトについても任意の2要素が距離値を持つような定義を与えている。この距離値は書き換

えの意味制約における近傍制約を定義するので重要である(3.3で詳述)。そこで、以下では積空間オブジェクト、商空間オブジェクト、および本論文で新たに追加した系列化構成子によって構成される系列空間オブジェクトの定義を示す。また、基本構成子と選択演算子を空間オブジェクトに適用して得られる空間オブジェクトを仮想空間オブジェクトと呼ぶ。

(1)積空間オブジェクト: 式 $\text{cartesian}[X][A_1, A_2, \dots, A_n]$ のように、 cartesian 演算子(積空間構成子)によって構成される空間オブジェクトを積空間オブジェクトと呼ぶ。積空間オブジェクト X の要素は空間オブジェクト $A_1, A_2, \dots, A_n$ の直積の要素である。 X の因子空間オブジェクト A_i における要素を参照するには、 $'$ 記号を使って $X.A_i$ と記述する。積空間構成子によって定義される距離関数は X の因子空間オブジェクト A_i における距離関数の直積距離がデフォルトである。ただし、空間オブジェクト定義に従って、ユーザ定義によって上書きすることもできる。大相撲放送の例では、 CUT が積空間オブジェクトの例である。

(2)商空間オブジェクト: 式 $\text{quotient}[X/Y] X/Y$ のように、 quotient 演算子(商空間構成子)によって構成される空間オブジェクトを商空間オブジェクトと呼ぶ。商空間オブジェクトは、特に定義しないかぎり $'X/Y'$ で参照でき、その要素は空間オブジェクト $[Y]_X$ である。 $[Y]_X$ は、空間オブジェクト X を空間オブジェクト Y の要素 $[Y]$ によって分類した空間オブジェクトであり、互いに素な空間オブジェクトである。例えば、空間オブジェクト 'CUT/title' は仕切_CUT, 対戦_CUT, 決着_CUT, 札_CUT, 勝名乗り_CUT, 花道_CUT, 不明_CUT 空間オブジェクトを要素に持つ。また、いずれか空間オブジェクトの一つに、どんな CUT も属することを保証する。商空間構成子によって定義される距離関数は空間オブジェクト Y の距離関数がデフォルトである。ただし、空間オブジェクト定義に従って、ユーザ定義によって上書きすることもできる。大相撲放送の例では、 CUT/title が商空間オブジェクトの例である。

(3)系列空間オブジェクト: 式 $\text{sequence}[X][A_1, A_2, \dots, A_n]$ by $A_i.Y$ のように sequence 演算子(系列空間構成子)によって構成される空間オブジェクトを系列空間オブジェクトと呼ぶ。系列空間オブジェクトは、 $A_1, A_2, \dots, A_n$ の共通の因子空間オブジェクト Y について系列化した空間オブジェクトである。なお空間オブジェクト Y はその値によって整列化されていなくてはならない(任意の2要素の大小が比較できる)。空間オブジェクト '大相撲放送' の定義では空間オブジェクト CUT の要素の系列が大相撲放送の点オブジェクトで、空間オブジェクト CUT.timecode によって系列化されている。二つの系列間の連続して相異なる項の数の最大値を $t_{\max}$ 、系列長の最大値を $s_{\max}$ とすると、距離関数は $t_{\max}/s_{\max}$ がデフォルトである。ただし、空間オブジェクト定義に従って、ユーザ

定義によって上書きすることもできる。

(4)仮想空間オブジェクト: 仮想空間オブジェクトは、上述の構成子と select 演算子(選択演算子)を組み合わせた問い合わせの結果として得られる空間オブジェクトである。例えば、図1で取組空間オブジェクトは、仮想空間オブジェクトである。 $\text{select}[X] \text{condition } Y$ のように select 演算子によって空間オブジェクト Y から condition を満たす点オブジェクトの集まりとして取り出した結果 X を仮想空間オブジェクトと呼ぶ。この空間オブジェクト X の距離関数は、空間オブジェクト Y の距離関数で定義できる。大相撲放送の例では、取組が仮想空間オブジェクトの例であり、距離関数は空間オブジェクト大相撲放送のそれをデフォルトに持つ。

3.2 問い合わせ条件と書き換え操作

$\text{select}[X] \text{condition } Y$ なる問い合わせ式に対して、不完全質問処理は偽となる condition を真とするように書き換え操作を施す。以下では、不完全質問処理の対象となる問い合わせ条件と条件の書き換え操作を定義する。

(1)問い合わせ条件 condition と書き換えの対象

condition は、 $\text{key } \theta \text{ value}$ の形をした論理式を以下の定義によって組み合わせた式であり、特定の空間オブジェクトを取り出すための条件である。

i) オペランドは、空間オブジェクト(参照)と点オブジェクト(参照)である。

ii) 比較演算子は、 $=, <, >, \neq, \leq, \geq$

iii) 論理演算子は、 $\text{and}, \text{or}, \text{not}$

以上が、論理式の定義であるが系列空間オブジェクトの部分系列を指定するための条件として以下の条件を置く。

iv) f が論理式である時、 $f^*, f+, f(n, m)$ は condition である。 f^* は f を任意回真とする系列を、 $f+$ は f を一回以上任意回真とする系列を、 $f(n, m)$ は f を n 回以上 m 回以下だけ真とする系列をそれぞれ表す。

key は空間オブジェクトを表し、 value は点オブジェクトもしくは点オブジェクト参照である。書き換えの対象となる条件式は、 $\text{key}=\text{value}$ の形をした論理式とその組み合わせである。また、書き換え対象 condition は、連結標準形に変換された条件とする。 $\text{key}=\text{value}$ の形をした素論理式が偽となるのは、 value の指定、 key の指定、もしくは論理式そのものの設定に誤りがある場合である。なお論理演算子は書き換えの対象ではない。

(2) value の書き換え操作

value から value' への書き換えを $\text{value}/\text{value}'$ と書く。このときの書き換えコストは、空間オブジェクト key での value と value' との距離値である。

(3) key の書き換え操作

key から key' への書き換えを key/key' と書く。書き換えコストは、 $\text{key1}, \text{key2}$ を含む商空間オブジェクトにおける key1 と key2 との距離値である。ただし、同一の論理

式に対してkeyの書き換えは値の書き換えが失敗している時に限る。

(4) 論理式の削除

条件Cからの部分式fの削除する操作をdelete(C,f)と書く。つまり、この操作は元の条件Cに含まれる論理式fを無視した条件を作り出す。書き換えコストは、削除された論理式の個数を削除コストとして計上する。ただし、同一の論理式に対して削除による書き換えはvalueの書き換えも述語の書き換えも失敗している時に限る。

(5) 正規表現の書き換え

任意のオブジェクトにマッチングする式を'で表すと、 $f^*, f+, f[n,m]$ のそれぞれの書き換えは以下の通りである。 $f^* \rightarrow (f.[0,\varepsilon])^*$, $f+ \rightarrow (f.[0,\varepsilon])^+$, $f[n,m] \rightarrow (f.[0,\varepsilon])[n,m]$ 。なお、 ε は近傍制約で指定された距離値である。

(6) 局所的最小距離書き換え操作

上述の削除を除く書き換え操作において、各空間オブジェクトで最小の距離値を返すように値を書き換える。

(7) 書き換え操作以外のメタ操作

式の評価eval: eval(文字列)のように記述する。文字列で表された問い合わせ式を評価し、その結果が空でなければ、真をそうでなければ偽を返す。

3.3 意味制約と真理値空間オブジェクト

意味制約は、書き換えられた後の条件が満たすべき制約条件である。意味制約は書き換えに使える値を制限する近傍制約と条件の削除ができるためのメタ条件である存在可能性制約からなる。また、書き換え操作の回数や論理式の正規表現を含む条件の書き換え操作を意味制約で制御するための特殊な空間オブジェクト(真理値空間オブジェクト)を定義する。これらの制約や特殊な空間オブジェクトを定義する目的は、元の条件と明らかに異なる書き換えであると判断できる材料を不完全質問処理に与えることである。

(1) 近傍制約: 空間オブジェクト毎に、書き換えに使用できる値の範囲を距離値で制限する。その結果、値や項目の書き換えの際に距離がある値以上になるような書き換えはできない。近傍制約は空間オブジェクトAの距離関数 d_A に対して、 $N(d_A, \varepsilon)$ と書く。

(2) 存在可能性制約: 複合空間オブジェクトとそれを構成する因子空間オブジェクト間の制約である。空間オブジェクトYの因子空間オブジェクトXについて、Xについての条件の書き換えの存在がYについての条件の書き換えの存在の必要条件になっているとき、XからYへの存在可能性制約があるといい、 $\text{exist}(X) \rightarrow \text{exist}(Y)$ と書く。この制約が満たされていないとYについての条件を削除する書き換えは許されない。直観的には、 $\text{exist}(X) \rightarrow \text{exist}(Y)$ は、ある属性Xの書き換え失敗が実体集合Yに被検索実体が存在する可能性を否定することを表す。大相撲ダイジェストの例では取組は対戦カット

系列だけは必ず含まなければならないから、存在可能性制約 $\text{exist}(\text{対戦_CUT}) \rightarrow \text{exist}(\text{取組})$ がある。その結果、他のどのタイトルカットについての書き換えが成功しても、対戦カット条件に対する書き換えが失敗した系列は取組にはなり得ない。逆に対戦カット系列が存在する系列に対しては他のタイトルカット系列を指定するための条件の削除による書き換えが可能になる。

(3) 真理値空間オブジェクト: 問い合わせ条件が複合条件の場合、偽となる部分式の数やその数と部分式の総数との割合で完全な間違いと結論することもある。これを近傍制約によって表すために、各部分式の真理値を値とする真理値空間オブジェクトを定義する。論理式を連結標準形に変換するとconditionの形は、 $f_1 \wedge f_2, f$ の正規表現であるから、この二つの条件の形に対応する真理値空間オブジェクトを基本空間オブジェクト $B = \{T(\text{真}), F(\text{偽})\}$ を用いて定義する。即ち、論理式が $f_1 \wedge f_2$ の形であれば、 $B \times B$ の積空間オブジェクトを生成し、fの正規表現であればBの系列空間オブジェクトを生成する。それぞれの空間オブジェクトでは、conditionが真となるような書き換えに対するコストを計上する。コストをFの数で定義すれば近傍制約によって書き換え回数を制御できるし、また真理値の数に対するFの数の比で定義すれば誤りの割合で書き換えを制御できる。例えば、select [X] condition Y なる問い合わせ式に対してconditionが、(a) $f_1 \wedge f_2$ の形の時: eval("select f_1 Y") と eval("select f_2 Y") の真理値を $I(f_1, Y)$ で表すと $I(f_1, Y), I(f_2, Y) > \langle F, T \rangle, \langle T, F \rangle$ の時にconditionは偽となる。conditionを真に書き換える書き換えコストを、ある定数Nに対して $d(\langle F, T \rangle, \langle T, T \rangle) = 1/N$, $d(\langle F, T \rangle, \langle T, T \rangle) = 1/N$, $d(\langle F, F \rangle, \langle T, T \rangle) = 2/N$ とすると、Nが項数であれば割合が、それ以上ならば書き換え回数が距離値として意味を持つ。なおNは距離値を区間[0,1]に正規化するための定数である。

(b) fの正規表現形の時: 論理式の正規表現では、空間オブジェクト B^* における f^* と T^* との距離が書き換えコストである。これを系列空間オブジェクトでは、書き換えコストを f^* を T^* に変える際にFからTへ連続して書き換える回数の最大値/Nと定義している。定数Nは(a)と同様である。

(4) 書き換えの評価基準

書き換えの評価基準は距離関数の集合をDとしたとき、距離値に関する空間オブジェクト間の半順序 $\geq_D$ である。一般に二つの相異なる空間オブジェクトの距離関数で計量した距離値の大小は意味を持たない。しかし、複合空間オブジェクトや問い合わせ条件に現れる空間オブジェクトについては、書き換えコスト(距離値)についての重要さは異なる。例えば、二つのカットにおいてはmovieの違いよりはtitleの違いの方が間違いとしては致命的かも知れない。この場合、距離値に関して $\text{title} \geq m$ movie なる半順序を定義できる。このような半順序は、3.2の局所的距離値最小化書き換え操作との組み合わせで、

よりコストの安い書換えを得るために用いられる。

3.4 不完全質問処理

以上の定義により不完全質問処理を正確に定義できる。まず、以下の議論で用いる各用語の略記法を次のように定める。

$q(C)$: C を条件式とする問い合わせ

$O(C)$: 書き換え対象、即ち条件式 C に現れる空間オブジェクト参照、点オブジェクト参照、素論理式の集合

s : 書き換え、即ち書き換え操作の組 $s_1, \dots, s_n$

C/s : 書き換え s の操作 s を C に同時に適用した後の条件式

Σ : 書き換えについての意味制約(近傍制約, 存在可能性制約)の集合

$\langle C, \Sigma \rangle$: 条件 C と書き換えについての意味制約の集合 Σ の対を不完全質問制約式

$\geq_p$: 書き換え評価基準(空間オブジェクト間の半順序の集合)

$d(q(C/s))$: s のコスト

定義 不完全質問制約式の解と不完全質問

不完全質問制約式 $\langle C, \Sigma \rangle$ の解とは、 C と Σ の組に対して $q(C/s)$ が Σ を満たすような結果を導く s のことである。 $\langle C, \Sigma \rangle$ が解を持つような C を不完全条件と呼び、 $q(C)$ を不完全質問と呼ぶ。逆に、 $\langle C, \Sigma \rangle$ が解を持たない時は C は、完全に誤った条件である。また、不完全質問制約式を解くことを不完全質問処理、書き換えられた条件 C/s による問い合わせ $q(C/s)$ の結果を候補と呼ぶ。不完全質問制約式 $\langle C, \Sigma \rangle$ の解を求める問題は、書換え対象 $O(C)$ に対して制約条件 Σ を満たすようにデータベース中の値を割り当てる方法を求める問題である。

大相撲の取組要求例では C と Σ は以下になる。
 $C = (\text{CUT.title} = \text{'仕切'}) + (\text{CUT.title} = \text{'対戦'}) + (\text{CUT.title} = \text{'礼'}) + (\text{CUT.title} = \text{'勝ち名乗り'}) + (\text{CUT.title} = \text{'力水'}) + (\text{CUT.title} = \text{'花道'}) +$
 $\Sigma = \text{真理値系列空間オブジェクトの近傍制約 } N(d, \epsilon), \text{ exist}(t(\text{対戦_CUT})) \rightarrow \text{exist}(\text{取組})$

この時、 $\langle C, \Sigma \rangle$ の解 s が存在すれば各タイトルカット系列について正規表現の書き換えを ϵ 単位以下に抑え、なおかつ、対戦カットが存在することを保証するような書き換えである。なお、完全一致を前提とした従来の問い合わせ処理では、距離値0の近傍制約が全ての項目に対して付けられており、また存在可能性制約が複合空間オブジェクトのあるゆる因子空間オブジェクトについて付けられた不完全質問処理として位置付けられる。

4 不完全質問の候補と書き換えの評価基準付の不完全質問処理

3節の不完全質問処理の定義から明らかなように、不完全質問処理の結果として得られる書き換えによる候補を最終的に評価できるのは利用者自身である。その一方で、2.3で説明した図7の例のように応用上は望ましくない書き換えは排除したい。そこで、書き換えの評価基準によって、複数の書き換えの中からさらにいくつかの性質を持つような解だけを得る方法について議論する。以下では、評価基準付の不完全質問処理を定義した後、ある性質を持つ書き換えのクラスを定義し、その定義に基づく書き換えがある評価基準の不完全質問処理によって得られることを示す。

定義 評価基準付の不完全質問処理

評価基準付の不完全質問制約式 $\langle C, \Sigma, \geq_p \rangle$ の解とは、 $d(q(C/s))$ が極小となる s のことである。また与えられた評価基準 $\geq_p$ に対して $\langle C, \Sigma, \geq_p \rangle$ の解を得る手続きを評価基準付の不完全質問処理と呼ぶ。

(1) 真部極大の戦略に基づく解

連結標準形に変換された条件を仮定したとき、偽となる条件について論理式を一つずつ削っていった、結果が空でなくなる部分条件を極大の真部と呼ぶ。また条件から極大の真部を取り去った残りの条件部を偽部と呼ぶ。極大の真部を書き換えない解によって得られる候補は、直観的には元の条件の中で当たっている条件を信用する戦略に基づく書き換えである。このような書き換えを真部極大の戦略に基づく解と呼び、以下のように定義する。

定義 真部極大の戦略に基づく解

$\langle C, \Sigma \rangle$ の解集合 S とした時、 C/s が極大の真部を書き換えない解集合 $S_p \subseteq S$ の要素 s_p を真部極大の解と呼ぶ。ただし、極大の真部は複数存在しうるので解も複数存在しうる。

定理 真部極大の解を与えるような評価基準が存在する。

条件に含まれる全ての空間オブジェクト X_i に対して真理値空間オブジェクト $\geq X_i$ とすれば良い。この評価基準によれば、真理値空間オブジェクトにおける書換えコストが極少化となる書き換えより良い書換えはないから、極大の真部を書き換えない書き換え以外に良い書き換えはない。

大相撲ダイジェストの例では、各タイトルカットを指定する正規表現によって得られる解は真部極大の解である。実際、図6のように制限内のノイズカットを許容し、仕切カットの数を極大にするような系列を取り出す。この解釈は仕切カット系列条件が無制限の"仕切"系列を表していると考えるとわかりやすい。つまり、制限内のノイズカット含み、仕切カット数が極大の系

列を取り出すことは、無限個の"仕切"を要求している条件に対して極大の真部を返す系列だからである。

(2)優先順位付の書き換え戦略に基づく解

真部極大の戦略に基づく解では書き換える順序が規定されていないから、取組条件中の各タイトルカットの条件を大相撲カット系列に並列に適用すると、図7のようなカット系列に対して仕切カット系列条件を書き換える解 s も、対戦カット系列条件を書き換える解 s' も含まれる。しかし、書き換え s' は対戦中に仕切が行われるような書き換えであるから、「"仕切"の後に"対戦"が行われる」という意味を正しく反映していない。そこで、仕切カット系列条件についての書き換えるの後に対戦カット系列条件の書き換えを行えば、直観的に正しい書き換え s が得られる。このように書き換える順序は、それ以後の書き換えで利用できる値を限定するので重要である。そこで、書き換える順序を与えるような戦略に基づく書き換えとして、優先順位付の書き換え戦略に基づく解を導入する。

定義 優先順位付の書き換え戦略に基づく解

ある連結標準形の条件 C に含まれる部分条件節 f_i, f_j について f_i の優先順位が f_j より高いことを $f_i > f_j$ で表す。条件の中にいくつかの半順序がある時に、各半順序についての極大の論理式を最初に書き換えて、ついで次の順序の論理式を書き換えるという手順をとるような戦略に基づく解を優先順位付の書き換え戦略に基づく解と呼ぶ。この解では、真部極大の戦略に基づく解とは異なり、必ずしも真部の書き換ええないとは限らない。

定理 優先順位付の書き換え戦略に基づく解を得るような評価基準が存在する。

優先順位の順に空間オブジェクトの半順序を定めれば良い。

大相撲ダイジェストの取組要求例では、この書き換えを求めれば、仕切中の"先場所の取組"のVTRや"仕切直し"を対戦カット系列に間違えることは事実上ない。

以上の議論より、二つの戦略に基づく書き換えは評価基準付の不完全質問処理の結果であることが得られる。実際、大相撲ダイジェストの例題において真部極大の解でも優先順位に基づく解でもあるような解を得るような評価基準は、真理空間オブジェクト $\geq$ 仕切_CUT $\geq$ 対戦_CUT $\geq$... $\geq$ 花道_CUTである。従って、取組の概念的な繰返し構造を条件とし、意味制約とこの評価基準を与えるだけで不完全質問処理であれば十分に実際の放送に対応できる。しかし、原理的に完全一致しか許し得ない従来の問い合わせ処理では、このような簡単例も扱い得ない。

5. 不完全質問処理と他の関連研究

本論文で提案した不完全質問処理に関連した研究として、利用者の問い合わせに含まれる誤りを関係データベースに対する問い合わせインタフェースで修正する試みがある[8]。この方法では、問い合わせに含まれた文法的な誤りの修正の手助けやデータベースのスキーマグラフから得られない無意味な問い合わせの排除と意味のある問い合わせへのガイドが中心である。また、問い合わせ条件がデータベースにおいて偽である場合は、条件の削除や大小比較条件において比較値の増減を行った結果を調べて、偽となる原因の条件の候補を提示する機能もある。つまり、これらの機能は本質的には目的のデータに対して完全一致の条件を利用者が作るためのインターフェースに留まっている。

これに対して不完全質問処理は利用者から見た時に「問い合わせ条件を手がかりとして渡すから、後は臨機応変に探してきて欲しい」というような問い合わせを記述できるような仕組みである。つまり、本質的に完全一致条件でないような問い合わせ条件(不完全条件)を対象としている。完全一致を望む場合には利用者が提示すべき問い合わせ条件に対するメタな要求(意味制約や書き換え評価基準)でそれを指示する(3.4参照)。ただし、明示的に指示するのは不完全質問処理の方である。このように問い合わせに不完全質問を前提とした場合にはその問い合わせ処理はデータベース管理システムが持つべきであり、そのためのデータベースモデルがMeSODであり問い合わせ処理が不完全質問処理である。

6. あとがき

本論文では、先に提案したデータモデルMeSODに系列データの部分系列を指定する方法に条件の正規表現を導入し、問い合わせ条件に対する許容条件を与えられる問い合わせ処理である不完全質問処理を提案した。部分系列の指定条件に正規表現を含められると動画像データベースから場面の属性の移り変わりをキーに部分系列を取り出すような問い合わせが簡潔に記述できる。例えば、大相撲放送データベースにおいて取組に対応する部分系列を取り出す条件を力士の動作の移り変わりで指定できる。一方、不完全質問処理は力士の動作の移り変わりを表した取組条件を元に力士の動作とは無関係な場面が含まれたり、ある動作映らなかった放送からでも取組と見なせる系列を取り出せる。不完全質問処理に特徴的なことは、問い合わせ条件に許されるあいまいさを意味制約によって制御する仕組みを与えている点である。即ち、条件の書き換え操作に対する意味制約によってデータベースの構造的な制約(系

列データであれば、順序構造や存在従属関係)やユーザ定義の制約を満たすような書き換えを得る。その結果、一つの条件から派生可能な条件でも検索することによって候補を提示できる。また、距離値に関する空間オブジェクト間の半順序を書き換えの評価基準として与えれば良い書き換え(書き換えコストの安い)を得られるので、重要な条件とそうでない条件とを差別化した書き換えが得られる。

本論文で扱っていない問題として、不完全質問処理のどのような結果も空間オブジェクトとして定義できるかどうかという問題がある。不完全質問処理は、直観的には、元の問い合わせ条件から派生する複数の条件に基づく検索結果の集まりであるから、従来のサブスキーマの更新と類似の議論ができよう。例えば、系列データの部分系列を指定する不完全質問は、[9]における区間質問の議論と関連するであろう。

参考文献

- [1]田淵,村岡:McSODモデルにおけるオブジェクト概念,信学論D-I,Vol.J74-D-I,No.4,Apr.1991.
- [2]Muhammud,田淵,村岡:大相撲対戦からの認識に基づく内容識別法,情処第43回全国大会,5B-1,Mar.1992.
- [3]田淵,村岡:テレビ放送の知的録画,情処研究会資料91-IM-4-5,Nov.1991
- [4]田淵,村岡:大相撲ダイジェスト作成システムにおける不完全質問処理機構,情処第43回全国大会,5B-2,Mar.1992.
- [5]田淵,村岡:McSODモデルにおける不完全質問の意味論,情処研究会資料91-DBS-94-31,Jun.1991.
- [6]Reiter,R.:A Logic for Default Reasoning, Artif. Intell. 13, 1/2, pp.81-132 (1980).
- [7]Etherington,D.W:A Semantics for Default Logic, Proc. IJC AI-87, pp.495-498(1987)
- [8]A.Motoro:'FLEX: A Tolerant and Cooperative User Interface to Databases',IEEE Trans. on Knowledge and Data Engineering, VOL.2, No.2 June 1990.
- [9]田中克巳:組系列にもとづく履歴データベースモデルとその完全性制約,情処論文誌,Vol.26, No.11,pp.1273-1280.