

暗示的位相構造を考慮した差分空間データの配信方式

大島 雄太† 櫻井 政幸† 桑原 浩† 根岸 幸生†
川崎 洋† 大沢 裕†

† 埼玉大学工学部情報システム工学科

要旨

デジタル地図情報の新しい更新方式について述べる。本方式では、家や道路などの各地物毎に、その生成消滅を差分ファイルの形で記述し、提供するものである。本方式では、ベースとなる地理情報システムとしてトポロジー暗示方式によるものを想定している。そのような GIS と本方式を連動させることにより、地物毎の時空間管理を行うことが可能となる。差分ファイル自身は、XML 形式で記述されており、他の地理情報の標準とも親和性の良いものとなっている。

A Differential Script Discription Method Considering Implisit Topology Description Method

Yuta Ohshima† Masayuki Sakurai† Hiroshi Kuwabara†
Yukio Negishi† Hiroshi Kawasaki† Yutaka Ohsawa†

†Dept. of Information and Computer Sciences, Faculty of Engineering,
Saitama University

Abstract

A novel digital map renewal method is described in this paper. This method describes occurrence and disappearance of each geographic entity (eg. a house or a road segment) as differential script, and provides it for GIS. This method presupposes to be used on GIS based on implicit topology description model. Coopertating with such kind of GIS, this method can manage spatio-temporal information of each entity. Because of the differential script file is described by XML, the script file works well with other geographic data standards.

1 はじめに

近年、デジタル地図の整備が政府、自治体、民間により急速に進んでいる。しかし現在普及している地理情報システム (GIS) の運用においては、現実世界のスナップショット的なデジタル地図を整備し、年間1回程度の更新を行っているのが現状である。

筆者らは、地物毎にその存在時間を付与することにより、時空間管理が行える時空間情報管理システム (STIMS: spatio-temporal information management system)[1] の開発を行い、それをベースとした種々自治体応用や、家庭・教育応用のシステム開発を行っている。このシステムでは、設定された時点の世界を、地物毎に付与された存在時間を参照して復元でき、その時点での種々空間演算を行ったり、異なる時点の比較を行えるなどの特徴を有している。

デジタル地図において、市町村などの境界線や道路は、線が交差するノードとノード間を結ぶ折れ線列 (リンク) で構成されている。通常、各ノードではどのリンク同士が接続されているかをデータとして表現している。しかし通常用いられるこの方式は、2. で詳述する理由により時間管理を困難なものとしている。

一方、STIMS ではトポロジーデータをデータとして管理するのではなく、トポロジーの定義を参照して必要に応じてこれを算出する方式を採用している。これをトポロジー暗示方式と呼ぶ。トポロジー暗示方式は、設定された時点で存在している地図データから定義にあうデータを選択し、その都度トポロジーデータを復元する。これにより、データに動きのある場合の処理が非常に単純なものとなる特長を有している。

またこの特長により、トポロジー暗示方式ではデータの更新が非常に単純なもの

なる。後述のようにデータの更新の際には、トポロジーデータを配信する必要は無く、単に地物データをトポロジー復元が保障されるよう確認したうえで配信すればよい。この性質は本稿で述べる地物データのトランザクション管理においても有効となり、地図の編集システムに適した方式となっている。

本稿では、まずトポロジー暗示方式における差分ファイル配信の構造について述べる。次に、差分ファイルを用いた地図データのトランザクション方式について述べる。更に、XML 形式の差分ファイル記述について述べる。

2 トポロジー暗示方式

現在の多くの GIS では Tiger または DIME[2] と呼ばれるデータモデルが用いられている。これは図 1 に示すように、ノードとリンク、及び各領域に ID を付与し、この ID で管理する方式である。リンクには方向性を持たせ、開始ノードと終了ノードの ID、そのリンクが分ける左右 2 つの領域の ID の情報を付与する。また各ノードには、そのノードで互いに接続している全てのリンクの ID を持たせる。先に述べたように、この様なデータモデルを本稿ではトポロジー明示方式と呼ぶ。

このトポロジー明示方式は、現実世界のスナップショットを管理するシステムとしては優れており、現在の多くの GIS ではこの方式が採用されている。しかし、本稿で扱うような各地物にそれぞれの存在時間を付与して管理しておき、必要に応じて指定された時点の世界で各種空間演算を行うようなシステム、即ち時空間情報管理システムにおいては、データ管理が複雑なものとなる。

例えば、図 2 に示すように、ある時点に

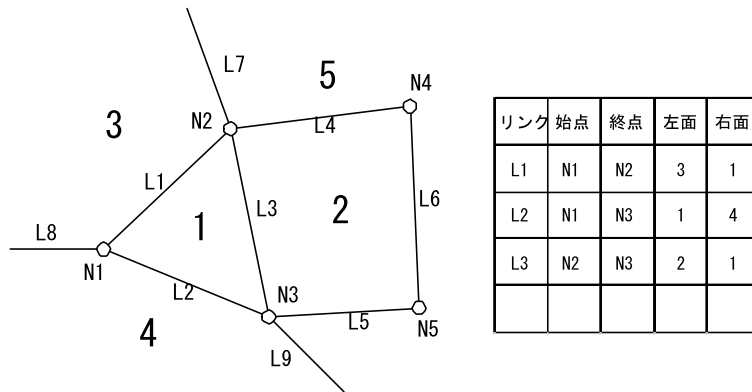


図 1: DIME 構造

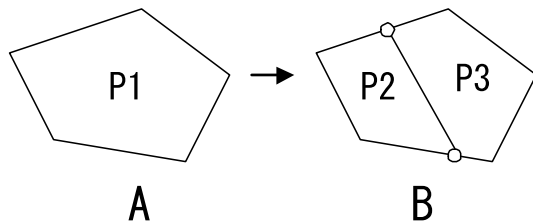


図 2: 時間経過にともなう領域分割

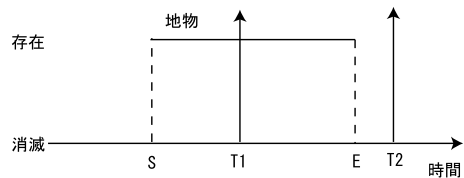


図 3: 地物への時間情報の付与

において1つの領域が2つに分割した場合、その時点を経として2つのトポロジーデータを管理する必要が生じる。分割が起こった時点以前はトポロジー A を以後ではトポロジー B を用いて演算を行う必要がある。この状況は領域の合併においても生じる。例えば土地の分筆・合筆などの管理において、このようなデータ管理の要求は高い。また、市町村の合併においても、道路やライフラインなどのネットワーク管理においても同様な状況が生じる。

トポロジーを必要に応じて復元して利用する方式、トポロジー暗示方式ではこの管理が非常に単純なものとなる。図 3 に示すように、各リンクに対してその存在時間（開始時間 S と、終了時間 E）を付与しておく。指定された領域形状の復元に際しては、指定された時刻に存在しているリンクのみを対象として領域復元処理を実行すればよ

い。即ち、データに動きのある対象に対して適した方式であるといえる。一方、トポロジー暗示方式は、トポロジーの復元に際して、同じ始点または終点座標を持つリンクを高速に検索する必要があり、先に述べたトポロジー明示方式に対して長い処理時間を必要とすることから、従来はあまり用いられてこなかった。しかし、この問題は近年のコンピュータの性能向上により、または空間データ構造の進歩や1度復元したトポロジーデータをキャッシュしておく方式の採用 [3] などにより、実用上十分なスピードでトポロジー復元が行えるようになり、大きな問題ではなくなってきた。

例えば市町村の境界や、トラックが通行可能な道路のように、検索や空間演算を行う対象となるデータの集合を主題と呼ぶ。通常のデジタル地図では、地物が道路、行政界、海岸線など、地物の属性によって分類されており、このような分類をカテゴリとよぶ。主題は、このカテゴリの集合と

いえる。トポロジーの復元に際しては指定されたカテゴリの地物を対象として実行する。従って、主題の定義を変更すれば、検索対象となるカテゴリも変えることができ、例えば道路の最短経路探査においても、一般道のみ経路探査や、高速道路を含む経路の探査なども主題を変更することにより、容易に実行することができる。トポロジー明示方式では、主題ごとにトポロジーデータを必要とするため、主題を自由に変更することは不可能であった。

3 GISにおける図形編集

3.1 図形編集の概要

地理情報を現実世界と同期させるためには、日々の業務の中で地図データを更新できる仕組みが重要である。地図データの変更は、ディジタイザやマウスなどのポインティングデバイスを用いて、会話的に行われる。

図4は地図の変更の1例を示している。(a)は変更前の地図を示している。ここには線で囲まれた領域Rが存在する。トポロジー暗示方式では、領域は領域境界線と図中に黒丸印で位置を示すコネクタから構成される。コネクタとは領域の代表点であり、領域形状復元の際に処理の種となる点である。また、コネクタは存在する座標位置と、その領域の存在時間、及びその領域が属す主題の情報からなる。コネクタは、属性情報データベースとの接合にも用いられる。即ち、属性情報データベースを検索する際に、コネクタが持つ情報をキーとして、その領域の属性が検索される。

いまGIS上で、この領域を2つの領域に分割する必要が生じたとし、その処理過程を述べる。図4(a)に破線で示すリンクL5により、L1~L4で囲まれている領域を2

つの領域に分割するものとする。この処理は、追加する線がL1と交わる点AとL2と交わる点Bを指定し、破線で示すような境界線を入力する。GISの編集システムは、L1をA点において2つのリンクL11とL12に分割する。また、L2をB点においてL21とL22に分割する。そして、L5の形状を入力する。更に、新しく生じた2つの領域のコネクタR1とR2を追加する。

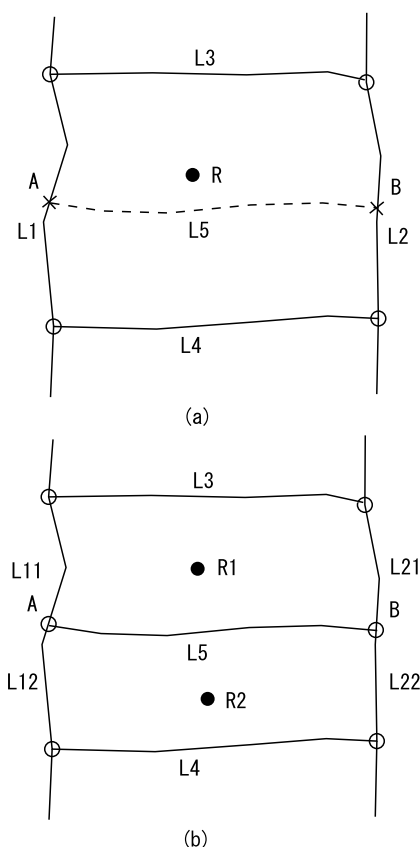


図4: GISにおける図形編集の例

時空間管理を行うSTIMSでは、更に元のリンクL1及びL2の存在終了時間を現実世界においてこの分割が必要となった時点で設定する。また、元の領域のコネクタの存在時間も同様に設定する。更に、分割で生じたL11~L22までの4つのリンクと新しく追加されたリンクL5、及びコネクタR1,R2の存在開始時間をこの分割が行われた時点で設定する。その際に、これらの終

了時間は不明であるため、それらには通常 $+\infty$ が設定される。

以上はトポロジー暗示方式による修正過程であるが、一方トポロジー明示方式で時間管理を行おうとすると、(a)のトポロジーと(b)のトポロジーをデータとして両方記述管理しておく必要がある。トポロジー暗示方式では各リンクやコネクタにそれらの存在時間を記述するだけですむ。それらの選択は検索の実行時に指定された時刻を参照し、その時刻に存在しているリンクやコネクタに対してのみトポロジーの復元演算を行えばよい。

3.2 図形編集のトランザクション

GISにおいて図形を編集する際に、長時間を要することが多い。トポロジー暗示方式において、例えば土地の筆を編集する場合に、編集箇所が多数あった場合には、まず全ての筆の形を分割や併合を行うなどの操作により変更し終わってから、次に新しく生じた各筆にコネクタを配置し、更に分割前のコネクタの終了時間を設定し、最後に属性データベースの変更を行う、というように同一作業を連続して行うのが作業効率上良い。これらの1連の処理を完了するのに長い時間を要する。この間、変更はトランザクションに記述されている必要があり、全ての作業が終了しチェックを行った後コミットが行われる。

即ちGISでは通常のDBMSに比べて長い期間にわたってトランザクションを管理し、データの完全性のチェックなどをトランザクション上で行う必要がある。STIMSではこのような「長いトランザクション」を可能とする機構を備えている。

3.3 図形トランザクションの管理

トランザクションを長期間にわたって管理する為には、ディスク上のファイルで保存しておく必要があり、また、完全性のチェックを行うために、トランザクションファイルに対する空間検索が行える必要がある。STIMSでは、大量の地図オブジェクトを効率よく管理するために、空間管理構造としてGBD木を採用している。GBD木では木における位置が地図上の位置と対応する形で管理されているため、空間検索が行いやすい。そこで、トランザクションを図形データ同様GBD木によって管理することにより、空間検索を行えるようにする。また、空間検索を行う際には、元の図形データと混合した検索が必要となり、図5のようにトランザクションを管理するGBD木と図形データを管理するGBD木が同一形状を持つことが望ましい。したがって、図形データのGBD木をコピーすることになるが、データもコピーしてしまうと無駄が多いため、GBD木の分割構造のみをコピーしたトランザクションGBD木を用意し、これによりトランザクションを管理する。

空間検索を行う場合は、この2つのGBD木を並列にたどり、葉ノードまで到達すると、トランザクションGBD木が保持する編集コマンドをメモリのバッファ上で適用し、適用した結果に対して空間検索を行う。

3.4 トランザクションのコミット

空間検索を行い、編集処理の完全性をチェックした後、トランザクションを地図データに対してコミットする。これにより、地図データが実際に変更されることになる。

コミットを行う際には、トランザクション木を検索し、各葉ノードが保持する編集コマンドをGBD木が保持している地図オブジェクト、及びそれが格納されている

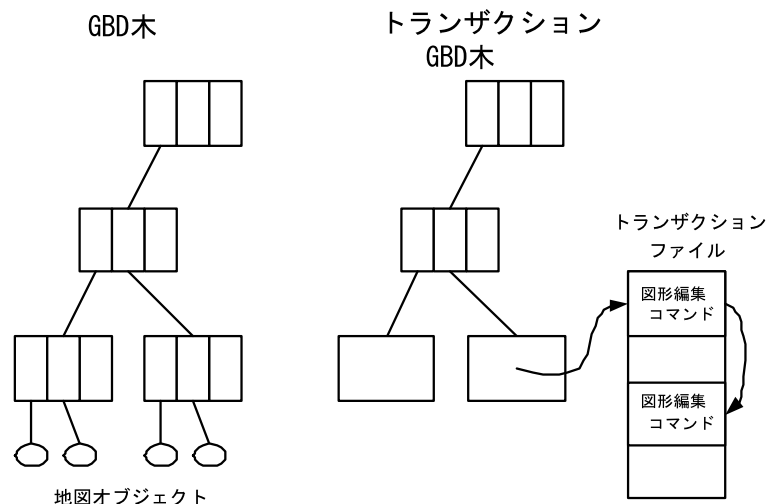


図 5: GBD 木とトランザクション GBD 木

データファイルに対して直接適用する。追加の場合は単純に GBD 木への追加を行い、削除の場合は対象となる地図オブジェクトに対して削除フラグを設定する。地物の存在時間設定の場合は対象となる地図オブジェクトに対して一旦削除フラグを設定し、新しい時間情報を持つ地図オブジェクトを追加する。

4 差分を用いたデータ更新

4.1 差分記述ファイルの概要

差分記述ファイル (GDSF) とは、地図の図形編集などで生じた変更点を記述したファイルであり、STIMS ではこれにより分散配置されている地理情報データベース間の同期を取っている。地図における地物の変更には、(1) 発生、(2) 消滅、(3) 削除、(4) 変更の 4 種類がある。まず、(1) の発生とは建物が建設されるなど、今まで存在しなかった地物が現れる事象である。(2) の消滅は今まで存在していた地物が破壊などにより存在しなくなる場合である。(3) の削除は、地図作成上の過誤により存在してい

た地物を取り消す場合である。STIMS の内部では削除に対しては、その地物を記述していたレコードに削除フラグを立てる (即ちデータベース中から削除する) 処理で実行される。(4) の変更の例としては、道路が拡幅されたり、位置が動くという場合が対応する。また、建物の名前が変更されたなどの場合もこれに該当する。STIMS は時空間データ管理システムであり、以前の状況もタイムプリントと共に残しておく必要があるため、これらの変更は消滅と発生の組み合わせで記述する。

以上を整理すると、STIMS の差分記述ファイルには発生、消滅、削除の 3 つの事象を記述する必要がある。また、差分記述ファイルでは 1 つの地物の動きが、追加と削除が組み合わせられて表現されることが多い。例えば、先に示した図 4 では、(b) に示すリンク L5 で 2 つの領域に分割する際に、リンク L1 と L2、コネクタ R は消滅し、リンク L11 ~ L22 及びコネクタ R1, R2 が発生している。

差分記述ファイルは、このような地図の修正に伴う変化を XML で記述された編集コマンド群で表現するものである。また、その構成法としては、次の 2 つが考えられ

る。1つは、上述のように、1つの修正により発生する全ての変更をコマンド形式で記述する方式であり、他の1つは図形操作コマンドで記述し、その結果発生する変化は、GDSFを受け取ったシステムで発生させる方式である。本稿では、ファイルの冗長さを避けるため、後者の方式によりGDSFを記述する。

この方式では図4に示した例は、以下のコマンド列で記述できる。但し、現実世界においてこの変更が時刻Tに起こったものとする。

- (1) L1を時刻TにA点で分割する
- (2) L2を時刻TにB点で分割する
- (3) A,B点を結ぶL5を時刻Tで追加する
- (4) Rの終了時間を時刻Tに設定する
- (5) R1とR2を時刻Tで追加する。

(1)のコマンドを受け取ることによりSTIMSはL1の終了時間を時刻Tに設定し、L1をA点で2つに分割してL11とL12を生成し、更にそれらの発生時刻を時刻Tに設定する、という1連の処理を行う。(2)についてもL2に対して同様な処理を実行する。(3)以降は、上記の方式と同じである。これにより、コマンドを簡潔なものにすることができる。

4.2 図形編集コマンドをベースとする差分ファイル

地理情報においては、編集に必要なGDSFのコマンドの種類は限定されている。またこれらは2つのカテゴリーに分類できる。1つは、図形の編集に関連するコマンドであり、他の1つは属性情報の編集のためのものである。

まず、図形編集に関しては、以下の操作が必要となる。

- (a) 指定された点におけるリンク（折れ線列）の分割
- (b) リンクの追加
- (c) リンクの時間情報設定
- (d) コネクタの追加
- (e) コネクタの時間情報設定
- (f) 点オブジェクトの追加
- (g) 点オブジェクトの時間情報設定

まず、(a)のリンク分割には、その分割が起こった時刻が指定される。このコマンドにより上述(1)や(2)の1連の処理が行われる。(b)の追加は上述の(3)に対応するものである。(c)によりリンクの発生時間や消滅時間が設定される。リンクの発生の場合には(b)で行われるため、(c)は主として消滅時間の設定に用いられることが多い。(d)は領域が分割された場合にそれぞれの領域にコネクタを追加するためのものである。(e)は主としてコネクタの消滅時間の設定に用いられる。(f)は注記、シンボル、マルチメディア等、点によって表現されるデータの追加を行うものであり、(g)はこれら点オブジェクトに対する消滅時間の設定に用いられる。

一方、属性の編集に関しても図形の場合と同様に(1)新規地物への属性の追加、(2)地物の消滅による属性の消滅、(3)誤りの訂正、(4)属性の変更、が考えられるが、図形の場合と同様に(4)は追加と修正により実行される。また、誤りの訂正のうち、地物自身が存在しなかった場合の訂正では属性がデータベースから消去される。それ以外は(4)と同様に処理される。

属性情報のGDSFは、基本的に

テーブル名 キー {属性 実現値}* S E

の形式で記述される。但し、SとEは開始及び終了時間である。

5 差分ファイルを用いたデータ更新の実際

差分入出力は編集機能と密接な関係があるため、図形データの差分入出力では、システムに備わっている図形編集機能を利用し、属性データの差分入出力では属性編集機能を利用する。属性編集機能が未実装のため、今回は図形編集機能を利用した図形データ差分入出力に関する説明を行う。

差分入力を行う場合、図形編集機能に用意されているデータの追加、削除、時間設定(消滅)の3つの編集処理関数を利用する。差分コマンドにおける追加、削除、時間設定はこれら3つの関数をそのまま利用することにより実現できる。また、線分割を行う場合は差分入力を行う際に、線の分割を行っておき、もとの線に終了時間を設定し、指定した時間を開始時間とする分割した2線分を追加することにより実現する。

差分出力を行う場合は、編集処理において、追加、削除、時間設定、線分割を行った時点で差分コマンドを生成し、一時保存ファイルにXML形式で保存しておく。実際の差分ファイルは、編集処理に対するコミットが行われた時点で規定フォルダ内に出力される。

STIMSでは差分記述ファイルのスキーマをW3C XML Schema[5]で定義している。その詳細については、紙面の都合で割愛する。

6 おわりに

時間情報を扱うことに非常に適した管理構造であるトポロジー暗示方式に関する説明を行い、トポロジー暗示方式を利用したシステムにおける図形編集の概要、および図形編集のトランザクションについて説明した。この図形編集によって生じた差分データの記述法を提案した。また、差分入出力の実装方式を説明した。

このようにして図形編集により生じた差分データのやりとりの基盤となる差分データ入出力が実現し、異種システム間でも差分データのやりとりが可能となる。

しかし、現在は属性データの差分記述法が決定しておらず、属性差分に関する検討が今後の課題となる。

参考文献

- [1] 大沢 裕、「トポロジー暗示型時空間情報管理システム：STIMS」、埼玉大学工学部情報システム工学科大沢研究室、2001.6
- [2] Burrough, P. and McDonnell, R., “Principles of Geographic Information Systems”, Oxford University Press, 1998
- [3] 笠原直、野中秀樹、大沢 裕、「時空間情報システム STIMS におけるトポロジーデータのキャッシュ方式」、地理情報システム学会講演論文集、Vol.10, pp.9-12, 2001
- [4] 大沢 裕、坂内正夫、「2種類の補助情報により検索と管理性能の向上を図った多次元データ構造の提案」、電子情報通信学会論文誌 D-I, Vol.J74-D-I, No.8, pp.467-475, 1991.8
- [5] <http://www.w3.org/XML/Schema>