

時空間管理のための地理情報システム STIMS

根岸 幸生† 青木 秀晃† 笠原 直† 郭 薇† 川崎 洋†
大沢 裕†

† 埼玉大学工学部情報システム工学科

要旨

STIMS は空間情報に加えて、地物の存在時間を管理できる GIS である。本システムはトポロジー暗示方式という地図データ管理操作方式を採用することにより、上記の機能を実現している。従来の GIS では地図のトポロジー情報をデータとして保有していたが、本方式では必要に応じて空間演算によりトポロジーを復元する方式である。本稿では、STIMS の構成、STIMS で用いられるファイルの構成などを中心に本システムの全体について述べる。更に、地図描画機能について述べる。

A Geographic Information System for Spatio-temporal data management: STIMS

Yukio Negishi† Hideaki Aoki† Nao Kasahara Guo Wei†
Hiroshi Kawasaki† Yutaka Ohsawa†

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

Abstract

STIMS is a geographic information system which can manage not only spatial data but also existing time assigned for each entity. Conventional GIS possesses topological information as description. This system, however, restores it by spatial calculation when it becomes necessary. This paper describes STIMS focused on the structure and file organization, then describes map drawing facilities.

1 はじめに

現在, 地理情報システムは自治体業務において急速に普及しつつある. また, 携帯電話による位置情報サービスやカーナビなど民生品としての広がりも見せている. 政府による地理情報システムの実証実験でも, 3次元化や Web によるサービスの研究が広く行われている. しかし, GIS において地物毎の時間管理に関しては多くの研究がなされているとは言いがたい.

この理由の一つとして, 従来の GIS で広く採用されていた線の連結関係の記述方式が時間を扱うことに適していなかったことがあげられる. 例えば市町村などの領域を記述する場合に, 線同士の接続関係や面同士の隣接関係(これを GIS では狭い意味のトポロジーと呼ぶ)をデータとして表現していることがあげられる. 時間経過に合わせて地物に動きがあった場合に, このデータをその動きごとに多数保持している必要があり, この為データ管理が非常に複雑なものとなっていた.

一方, 従来このトポロジーを必要に応じて演算により求める方式, トポロジー暗示方式と呼ぶ方式があり, それに依ればトポロジーをデータとして保持する必要が無い. しかし, この方式ではトポロジーの算出に長い処理時間を必要とすることから, 従来は現実的な方式とはされてこなかった. 一方, この方式を採用することにより時間軸を有する GIS, 即ち時空間情報システムの構築が容易となることが認識されていた [1].

その後, コンピュータの急速な処理速度の向上や, 各種高性能な多次元データ管理構造の研究成果により, 現在トポロジー暗示方式を用いても現実的な処理速度での空間演算が行える環境が整ってきた. 本稿では, このトポロジー暗示方式をベースに開発した時空間情報管理システムについて述べる. 本稿で述べるシステムは

STIMS(spatio-temporal information management system) と名づけられたシステムであり, 本エンジンを用いて種々の実用システムが稼動している. また, STIMS は埼玉大学のホームページからフリーソフトとしてダウンロード可能である [2].

本稿では, まず 2 において, 時空間地理情報システム STIMS の特徴である, 暗示的トポロジーと時間モデルについて述べる. 3 においては, STIMS で用いられる時空間データのファイル構成について述べる. 4 において, 様々な GIS アプリケーション構築を可能とするため, STIMS のコア部分である GIS エンジンのコンポーネント化とその構成について述べる. 5 では, STIMS が高度化する中で適用したグラフィックス表示機能の拡張について述べる. 最後に, 6 で本稿をまとめ, 今後の発展に関して述べる.

2 STIMS の特徴

STIMS は, 従来の GIS が扱ってきた 2次元(または 3次元)の位置情報に, 時間軸を加えた時空間データを扱うことができる地理情報システムである. STIMS の特徴を以下にあげる.

- (1) トポロジーの記述方式としてトポロジー暗示方式を適用
- (2) 時空間データを管理可能
- (3) 地図データの編集結果を「長いトランザクション」により管理し, 差分ファイルとして提供できる.
- (4) 外部 RDBMS を用いた属性管理
- (5) 空間データ管理構造に GBD 木を適用し, 高速な空間演算が可能

まず, (1) のトポロジー暗示モデルの採用により (2) 及び (3) が可能となっている. (2)

は現在主流となっている商用 GIS では困難な機能であり, STIMS の大きな特徴となっている. 通常の GIS で (3) の地図編集機能は有しているが, トポロジー暗示方式では地図の編集集中に完全性のチェックを容易に行える特長を持つ. また, 変化分のみを記述した差分ファイルにより分散配置された GIS データの同期を取ることができる. STIMS は空間情報の内, 地図図形を扱うシステムである. 属性情報は外部 DBMS とコネクタというデータを用いて対応付ける. トポロジー暗示方式ではトポロジーを明にデータとして持たないため, 多くの空間演算を必要とする. これを高速に実行するために GBD 木という空間インデックスを採用している.

各機能の詳細は別文献 [1][4] に譲り, 以下ではトポロジー暗示方式と STIMS における時間情報管理について述べる.

2.1 トポロジー暗示方式

STIMS では, トポロジーを保持する方式として, トポロジー暗示方式を適用している. これは, 従来の GIS で適用されてきたトポロジー明示方式では, 時空間データを管理することが困難なためである. そのため, STIMS と同様に時空間データを扱うことができるシステム, ATOM[5] や DiMSIS[6] でも, トポロジー暗示方式が適用されている. 時空間データを管理する上で, トポロジー暗示方式が有利な理由は次に述べる通りである.

トポロジー明示方式では, トポロジーを保持するために, 各地図オブジェクトの ID やポインタが用いられ, トポロジーが明に記述されている. トポロジーを明示的に記述するデータ構造としては, アークノードデータ構造 [7] や DIME 構造 [8] がある. 例えば, あるネットワークトポロジーについて考えてみる. 図 1 のようにノード N にお

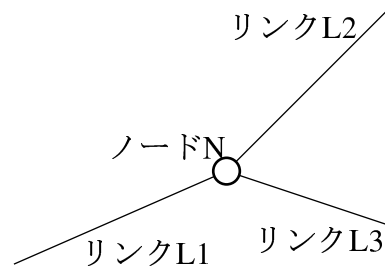


図 1: ネットワークの例

いてリンク L1, L2, L3 が接続しているとき, 多くの GIS で適用されているアークノードデータ構造では, ノード N はリンク (アーク) L1, L2, L3 の ID (またはポインタ) を持つ. また, リンク L1, L2, L3 もそれぞれ端点のノードとしてノード N の ID (またはポインタ) を持つ.

このようにトポロジー明示方式では, ID やポインタなどを用いて各オブジェクトが複雑に結び付き合っている. そのため, ID やポインタをたどることによって容易に (かつ高速に) トポロジーを取得することができる. その反面, 地図オブジェクトが削除や追加されたりしたときには, それに関係するトポロジーデータを全て更新しなければならない. 時空間情報管理システムでは, このような更新履歴を全て管理する必要があるため, トポロジー明示方式では時空間情報システムを実現することは非常に困難である.

一方, トポロジー暗示方式では, トポロジーを地図オブジェクトが持つ座標値と, 存在時間, 及び主題 ID の組により保持する. 例えば, ネットワークのトポロジーを保持する場合, リンクの端点の座標値を一致させる. 図 1 のようなネットワークでは, リンク L1, L2, L3 の端点の座標値としてノード N の座標値を保持する. このように端点の座標値が同じリンク同士は, その位置において互いに接続すると見なされる. そのため, トポロジーが必要なときには, これ

を演算により復元する必要がある。例えば、図1において、ノード N でリンク $L1$ と接続するリンクを求めるためには、ノード N の座標値をキーとした空間検索を行う。

このように、トポロジー暗示方式では各地図オブジェクトの位置・形状(座標値データ)を用いてトポロジーを暗示的に保持する。そのため、トポロジーが動的に変化する場面、例えば時空間情報管理システムへの適用に有利である。その一方で、トポロジーが必要なときには、これを演算により復元しなければならないため、トポロジー明示方式に比べて演算コストが大きくなる。

STIMS では空間データ管理構造の工夫やトポロジーのキャッシュ化により、この問題を解決している。

2.2 時間モデル

STIMS では、地図オブジェクトに時間情報を持たせることにより、時間管理を行う。地図オブジェクトは、2つもしくは4つの時間情報を持つ。時間情報が2つの時、地図オブジェクトが持つ時間は生成時刻 S と消滅時刻 E である。このとき、地図オブジェクトが存在する期間(存在期間)は、 S から E までの間となる。時間情報が4つの時は、地図オブジェクトが持つ時間は生成開始時刻 SS 、生成終了時刻 SE 、消滅開始時刻 ES 、消滅終了時刻 EE である。このとき、地図オブジェクトの存在期間は SE から ES の間となる。また、 SS から SE の間はその地図オブジェクトの生成期間、 ES から EE の間は消滅期間となる(図2)。生成期間とは道路や住宅の建設期間などであり、消滅期間はそれらの取り壊し期間などである。

地図オブジェクトに与えられる時刻は、全て基準時間からの相対時間として与えられる。基準時間は各データセット毎に決め

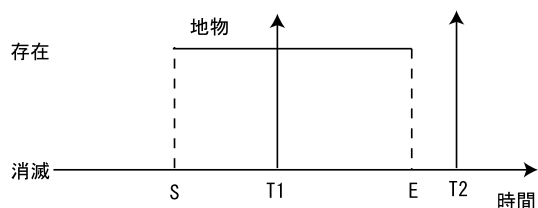


図 2: STIMS における時間モデル

られる。

STIMS では、トポロジー暗示方式の採用により、地物毎に与えられた存在時間を参照して、指定時間に存在している地物からトポロジーを復元することにより、時空間情報システムを実現している。

3 STIMS のファイル構成

STIMS では多数のファイルにより、時空間情報の管理を行っている。それらを図3に示す。STIMS のファイルは、空間情報ファイル、種々の定義ファイル、マルチメディアオブジェクトなどの補助ファイルに分類される。これら STIMS で参照する全てのファイルは STIMS 定義ファイル中で定義されている。

空間情報ファイルは線オブジェクトや、注記オブジェクトのファイル、属性情報とのリンクのためのコネクタファイルなどが含まれる。これらのファイルは高速な空間検索が必要となり、そのために各オブジェクトに対して GBD 木 [9] で構成される空間インデックスがつけられている。

地図描画の際の線種、太さ、色、面塗りの有無などの情報は、凡例定義ファイルに記述されている。このファイルは XML 形式で記述されている。

STIMS はトポロジー暗示型という構造をとっているため、トポロジー情報を必要な都度定義に従って復元する。このために必要な情報は主題定義ファイルに記述され

ている。ここで主題とは、トポロジー復元の対象となるレイヤの集合である。例えば、最短経路探索を行う場合、一般道のみで経路を探したいときもあり、高速道路を通っても最短の経路を探したいときもある。そのような検索の対象となるレイヤの集合を主題と呼んでいる。

主題は以下に示すようにレイヤの要素の集合の集合の形式で記述される [3]。

主題名 = [{ レイヤ 1, レイヤ 2, …, レイヤ n } , { レイヤ 1 ', レイヤ 2 ', …, レイヤ n ' } …]

この順序は、トポロジー復元の際に探索する優先順位を表している。先に記述されている要素ほど高い優先順位をもつ。また中括弧で囲まれているレイヤ同士は同一の優先順位をもつ。

信号機、市役所などの地物位置を示すアイコンなどはシンボル画像ファイルに管理されている。また、STIMS では地図の背景に航空写真やスキャナーで入力したビットマップの地図などを重畳表示することができ、これらのファイルも補助ファイルとしてシステム定義ファイル中に記述されている。

4 STIMS のコンポーネント化

従来の STIMS では、GBD 木 [9] をデータ管理の中核に置きオブジェクト管理機能と空間演算機能を持つ GIS のコア部分と、ユーザからの操作を受け取り各種情報の表示を行う GUI 部が密に連携していた。このため、GUI を特定の分野に対応したものに適応させることや、GUI の機能を削減し、計算機を詳しく理解していないユーザにも使いやすいインターフェイスを構築することが困難であった。こうしたことから、著者らは GIS のコアと GUI インターフェイ

スの分離を進めてきた。

現在の STIMS の構成図を図 4 に示す。STIMS では GIS の基本部分は libstims と呼ばれる DLL (Dynamic Link Library) に統合されている。このコアは、暗示的トポロジーに関する演算や GBD 木、トランザクション編集などの機能を持つ GIS のエンジン部である。各機能は低レベル API で呼び出され、内部機能と直結しているモジュールである。また、描画の指示や、エラーメッセージなどはすべてコマンド番号と、コマンド番号に対応したデータを持つコールバック関数により通知されるため、通常のプログラミングに関する知識のほかに、STIMS の知識と、STIMS 内部構造を理解している必要がある。こうしたことから、libstims をより簡単に扱えるよう、ラッパーモジュールを作成し、このモジュールを GUI のプログラムを行ううえでのインターフェイスとして公開している。

このラッパーモジュール (Stims VCL) は、当研究グループでは GUI 開発言語として RAD 開発環境である、Borland Delphi を利用しており、ラッパーモジュールである StimsVCL は Delphi 言語でコーディングされている。このモジュールにより、STIMS の基本機能を GUI アプリケーションから簡単に利用できるようにしている。Stims VCL では、DLL の API をラップすると共に、GUI に近いグラフィックスの機能や、描画制御などの機能を提供している。また、後述する XML データフォーマットに関するモジュールやオブジェクトバッファなどの機能に関しても、このモジュールが管理している。

現在 STIMS では 2 つの VCL が公開されている。1 つは埼玉大学により提供されている VCL (赤 VCL) であり、他の 1 つは J-時空間研究所から提供されている VCL (青 VCL) である。前者は研究開発により機能追加が頻繁に行われたり、インターフェイスが変更される場合がある。この動きを吸収す

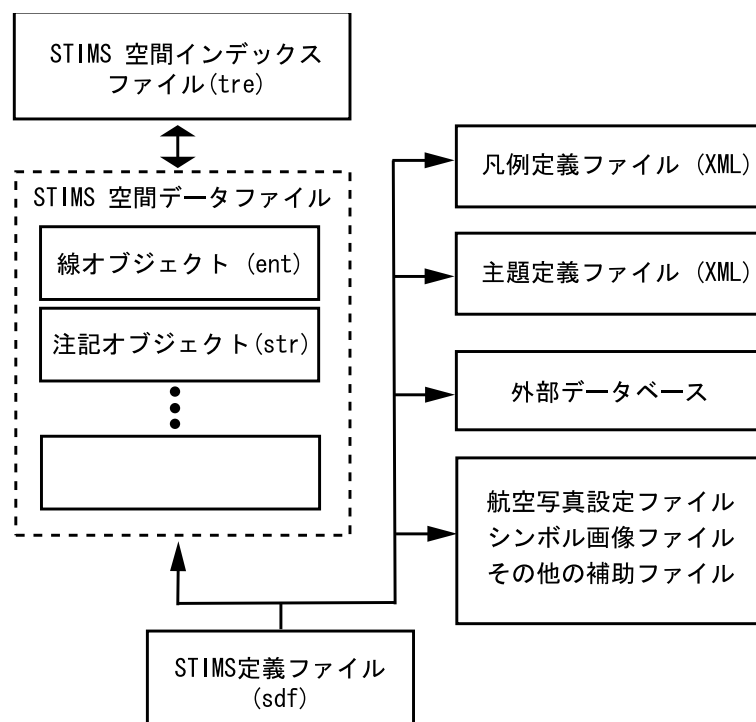


図 3: STIMS のファイル構成

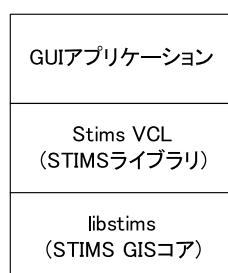


図 4: STIMS のモジュール構成

るために、更にラップしたものが商用システムとして提供されている。

5 グラフィック表示機能の拡張

地理情報システムでは、道路、河川などの線情報の表示以外に、地物の名称を表示するためのテキストデータである注記、マルチメディア情報が登録されている位置を示

すアイコン、各種シンボルの表示など、様々な画像を画面上に表示する。このため、時空間データを管理している GBD 木の検索を行い、検索結果を単純にそのままの順番で描画を行うと、画面のシンボルのアイコン上に線を描画してしまうケースや、注記の文字が、アイコンなどに隠されて表示されないといった、描画順の問題が発生する。これらの問題に対応するため、以下のような手法を用いて描画順の制御を行うことで上記のような問題を解決している。

1. コールバック関数により描画の指示が DLL より通知される。
2. 通知を受けた際、直接画面に描画せず、一度、描画内容を記録するリストに描画するデータを挿入する。
3. このとき、線オブジェクトならば、線の描画内容を格納するリストに、注記ならば、注記の描画情報を格納するリストに挿入する。

4. コールバック関数がすべて呼ばれ、描画情報が完全に取得できた後、リストからデータを取り出し、線、シンボル、注記のようにオブジェクトごとに描画を行う。

上記の手法により、オブジェクトの種類ごとに描画順の制御を行なっている。また、この手法を用いることで、当初、カラー情報や描画時のペンの太さ情報などをコールバック関数で別途通知していたが、線の描画時にデータと同時に通知することで、データの管理面と関数の呼び出し回数を減らしている。同時に多重注記の間引き処理 [10] も行っている。また、シンボルオブジェクトのアイコンは表示個数が多く、同じ画像を数多く表示するため、STIMS 定義ファイルにシンボルの画像が格納されているディレクトリを記述しておき、システム起動時に画像ファイルイメージリストに取り込み描画の高速化を図っている。図5はこれらの機能を用いてシンボル、1文字ごとに回転角度が指定されている線状注記をもつデジタル地図を描画したものである。

さらに、シンボルオブジェクトは印刷時にメタファイルを利用した印刷にも対応するため、STIMS 定義ファイルにメタファイルの画像が格納されているディレクトリを記述しておき、印刷時にメタファイルを利用した印刷にも対応できる。

図6は時間管理の例を示している。まず、図6(a)は2002年の東京付近の道路ネットワークである。STIMS上で興味対象時間を現在に設定すると、この道路地図が処理の対象となる。一方、図6(b)は1930年における道路地図であり、STIMSのシステム時間を1930年に設定するとこの地図が表示される。この地図では、道路セグメント毎にその存在時間が記述されており、興味対象時間の設定により任意の時点での道路地図の表示ができる。また、2時点の比較を行う

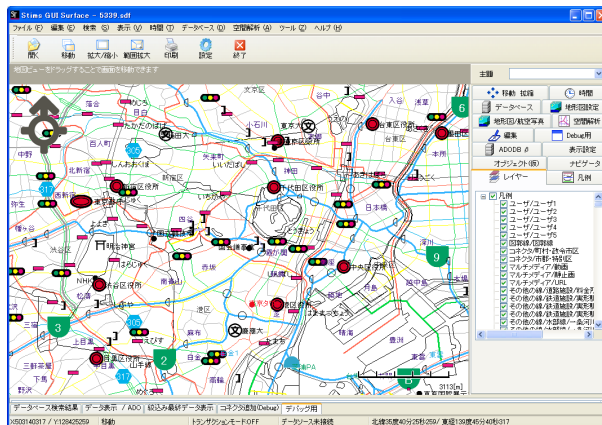


図 5: シンボルと注記の表示例

こともできる。

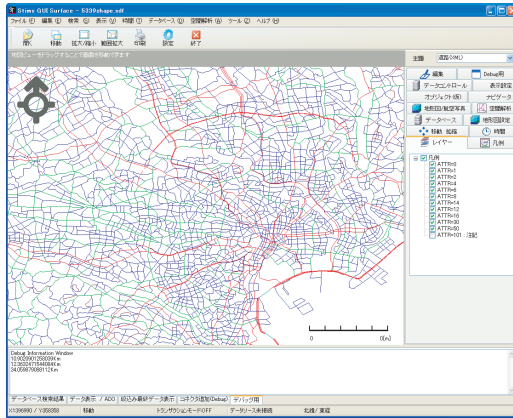


6 まとめと今後の展開

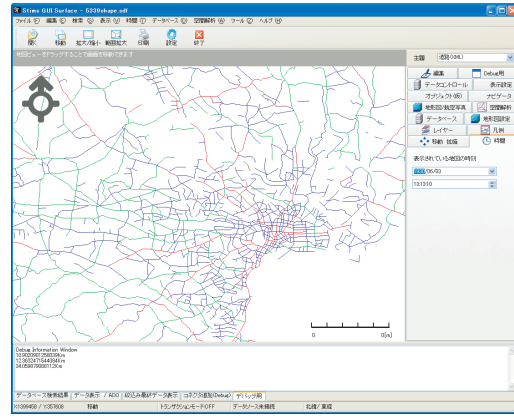
本稿では、埼玉大学で開発している時空間情報管理システム (STIMS) の構成について述べた。現在 STIMS は GIS の教育・家庭応用システム、林務管理、漁場管理、防災支援物資管理、などのシステムとして実用システムが構築されている。

本稿ではスタンドアロンシステムについて述べたが、Webサーバとしての STIMS も開発している。また差分ファイルを用いてファイルの同期をとるイントラネットでの利用を想定したシステムの開発も行っている。

先に述べたように、STIMS 自身は地図図形の管理を行うシステムであり、属性情報は外部の任意の DBMS と ODBC インタフェースにより協働するシステム構成をとっている。しかし、このように疎に結合された構成では、図形編集と属性編集を同時に行おうとする場合や、差分ファイルで図形情報と属性情報の提供を行う際に制約を受ける。STIMS の今後の課題としては、この属性情報データベースとのより強固な連携が課題である。また、トポロジー暗示型の特徴を生かした地図編集機能の充実を今後計る予



(a) 2002年の道路地図



(b) 1930年の道路地図

図 6: 2 時期の道路地図の比較

定である。

参考文献

- [1] Ohsawa, Y. and Nagashima, A.: A Spatio-temporal Geographic Information System Based on Implicit Topology Description : STIMS, *Proc.DMGIS2001*(2001).
- [2] <http://www.mm.ics.saitama-u.ac.jp/stims>
- [3] 大沢裕, 長島敦, トポロジー暗示型時空間情報管理システム: STIMS, 第 1 2 回機能図形情報システムシンポジウム講演論文集, pp. 27-36, 2000
- [4] 大沢裕: トポロジー暗示型時空間情報システム STIMS, 埼玉大学工学部情報システム工学科 大沢研究室 (2001).
- [5] 大伴真吾, 大沢裕: 移送構造を持たない地理情報システムに関する考察, 第 8 回機能図形システムシンポジウム, pp.55-62(1997).
- [6] 畑山満則, 松野文俊, 角本繁, 亀田弘行: 時空間地理情報システム DiMSIS の開発, *GIS — 理論と応用*, Vol. 7, No. 2, pp. 25-33(1999)
- [7] Star, J. and Estes, J.: *GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS: An Introduction*, Prentice-Hall(1990). 岡部篤行, 貞広 幸雄, 今井 修 訳: 入門 地理情報システム, 共立出版 (1992).
- [8] Burrough, P. and McDonnell, R.: *Principles of Geographical Information Systems*, Oxford University Press(1998).
- [9] 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, J-74-D1, 8, pp.467-475, 1991
- [10] 根岸幸生, 丸山達生, 青木秀晃, 大沢裕, 時空間情報システム STIMS を利用した, マルチメディアデジタルアルバム構築, 第 1 4 回機能図形情報システムシンポジウム講演論文集, pp. 61-68, 2003