

画像データベースの意味検索の試み

(1986. 1. 20)

— 道路地図データベースの略地図による検索 —

林 浩一 河合 和久 上原 邦昭 豊田 順一

(大阪大学産業科学研究所)

1. はじめに

情報化社会の進展により、データベースシステムによる大量データの効率的な運用は一層その重要性を増してきている。しかしながら、現在のデータベース技術で効果的なデータ管理が実現できるものは、数値、文字データに限られている。数値、文字データ以外にデータベース化を必要とされているものに、画像、音声、文書等のデータがある。データベースシステムの今後の課題の一つは、人間の情報伝達の媒体のうち、従来扱うことの困難であった、これらのデータをも運用できるマルチメディアデータベースの実現である。これらのデータを扱うためには、より知的な検索手法が必要になる。特に、画像データを扱うためには、座標値や要素名による通常の検索機能に加えて、画像の内容、意味を指示することで画像データを検索する意味検索機能が必要である。概略図に対応する画像データを画像データベースから検索するスケッチ検索機能は、このような意味検索の一つとして早くからその重要性が指摘されていたが、種々の問題からこれまで実現されていなかった。本論文では、概略図ならびにデータベース内の画像データの持つ意味構造を知識表現形式で記述し、両者のマッチングによってスケッチ検索を実現する手法について述べる。マッチングは「含まれている」という集合関係を用いて統一的に表現され、省略等に対して人間の行う検索をシミュレートできる枠組みを与えている。検索機能はオブジェクト指向型プログラミングの手法に基づき、リスブマシン symbolics 3600上でエキスパートシステム開発支援ツールK E Eを用いてインプリメント中である。

2. 画像データベース

2. 1. 画像データの特徴

通常、一枚の画像は画素の集合として表現される。一枚の画像に含まれる画素の数は膨大である(数10Mバイト)。そのため他のデータに比べ、はるかに大きな記憶容量が必要になる。また、画

像データは抽象性を持ち、現在の画像処理技術では、人間の認識能力の助けをかりずに画像の持つ意味を判断することは不可能である。

それは、(1) 画像の持つ特定の意味を表わす特徴量が計算機処理可能な形態で表現できない。

(2) また仮に必要な特徴量が判明したとしても、一枚の画像データの持つ特徴を抽出するためには、画素レベルの計算が必要なため、処理効率が非常に低くなる。さらに、(3) 画像データの捉え方は多岐にわたるので、どの特徴を抽出すればよいのかわからない。(4) 従って、前もって取り出しておくことができない。という理由による。

これらの特徴は画像データを扱う全てのシステムで重要な要因になる。

2. 2. 画像データベースの問題点

画像データを扱うデータベースシステムは画像データベースシステムと呼ばれている。画像データベースシステムには画像データの性質に起因する次のような問題点がある。

(1) 検索キーの選択

従来の画像データベースでは個々の画像データの性質を示す文字データや、識別子である文字数値データをキーとして格納しておき、それらの文字数値データを介して画像データをアクセスしている。しかし、画像データの抽象性の問題のため、適切なキーの選択が困難である。

(2) ユーザの検索要求形態

計算機により取り出される特徴量(例えばフーリエ解析結果)と人間の認識規準との間には大きなずれがある。そのため、ユーザによる検索要求の表現が困難である。

(3) 部分検索機能

従来の画像データベースでは、検索されるデータの単位が一枚の画像である。その一部だけを検索したいような場合に対処できない。

3. 意味検索

3. 1. 検索キーとしての知識表現

一般に、特徴量を表わす文字、数値データをキーにした検索では、キーの記述力が、対応する画像データの記述力に比較してはるかに小さいため柔軟な検索が不可能となっている。知識工学の分野では、意味や知識といった高度に抽象的な事柄の表現方法が提案されている。これらの知識表現による、画像データ表現能力を持つ検索キーを設計することで、画像内容による検索や部分検索が実現できると考えられる。

3. 2. 画像によるデータベースの検索

画像データベースシステム向きの検索要求の方法としてはスケッチ検索と呼ばれる検索方法が提案されている。これは人間の描いた画像の概略図を検索キーとして、その概略図に対応する画像を検索する手法である。概略図もやはり画像で、その表現能力は通常検索キーに用いられている文字、数値データの組み合わせよりもはるかに大きく、ユーザに理解し易い。また目的となる画像データよりも特徴量が明確で、かつ少ないため、検索要求の形態としては望ましい性質を持っている。

地図、天気図、名刺等の画像データベースでこのようなスケッチ検索の実現が試みられている[1][2][3][4]。スケッチ検索の実現の際には概略図と画像データとの相互の対応づけの方法が問題になる。従来のスケッチ検索においては、画像相互の類似性を表わす尺度を設定し、その類似度によって検索を行っている。一般に、画像相互の類似性の定義は困難なため、限られた能力しか与えることができなかった。

そこで、筆者等はデータベース中に予め用意された画像内容を記述する知識表現と、スケッチから自動的に抽出される知識表現とのマッチングによって、検索を実行する手法を考案した。これによって画像内容を代表する知識表現の一致ということで、類似性の定義とすることができる。

反面、対象画像の種類によって、知識表現形式、画像からの知識抽出処理、マッチング処理等が異なるという問題がある。そこで、意味ネットの形式に可能な限りの汎用性を持たせ、意味ネット抽出処理、マッチング処理に各対象に関する知識ベースを用意することで汎用のスケッチ検索システムを構築することを目指す。そのためには、まずいくつかの具体例に対して研究を進める必要がある。

4. 道路地図検索システム

4. 1. 地図と略地図

画像データの中でも地図データは、非常に応用範囲が広く、道案内システムや不動産紹介システム等さまざまなデータベース応用システムが研究、開発されている。地図は現実の地理的情報を、選択、抽象化して利用者に示すものであるが、使用目的などの区別により多くの種類がある。使用目的などが異なれば抽出されなければならない意味も違ってくる。そこで筆者等は画像データとしてとくに道路地図(図1)を選び、略地図による検索手法を開発中である。

略地図にもやはり多くの種類がある。略地図としては広告等で我々が日常よく目にする図2のような案内図を扱うことにする。さらに、略地図に対して次のような仮定をおく。

(1) 略地図は利用者がある特定の場所へ誘導することを目的とし、利用者の持つ知識(常識)を仮定し、利用者を誘導するために最低限必要な情報が示されている。

(2) 利用者が地図を参照することを前提にして描かれている。

(3) 周辺の大まかな道路情報全体が描かれている。

(4) 間違っていて描かれていない。

(5) 地図に描かれていない道路や交差点は描かれていない。

4. 2. 略地図による検索

略地図は、地理要素の名称を示す地図部分、方位指示記号、目的地の指示記号、道順などの地理情報からなる。地図部分には変形、省略、縮尺の歪みの存在、部分検索であること等、スケッチ検索に共通の性質を持つ。そのため、地図画像と略



図1 道路地図

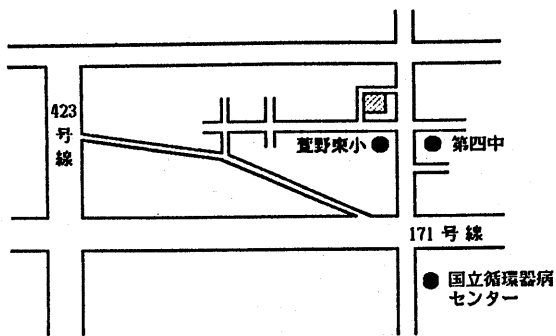


図2 案内図

地図画像とのマッチングは非常に困難である。

人間が略地図と道路地図を照らし合わせるときには、まず略地図中に明記されている道路名などを用いて大雑把に地図の範囲を決め、その中で交差点等の情報を用いて、目的地を探してゆく。また、河川の存在などその周辺で特徴的な事柄を見つけた場合には、優先的にその部分を見つけ、そこからたどってゆくという方法をとることもある。

略地図はこのような検索範囲の縮小、検索手順の最適化等を用いた対応づけに便利のように描かれているのが普通である。国道等の主要な道路には名前を記し、街路は目的地の周辺を除いては省略されていることや、交差点の情報が目的地に近いほど正確に描かれているのはこの理由による。計算機による検索を実現する際にも人間の行っている、このようなヒューリスティックな検索メカニズムを応用する必要がある。

略地図からは、地理要素の幾何学的関係、地理要素の名称、目標地点、主要な地点から目標地点への道順などの情報が抽出できる。それらのうち地図と略地図との間で保存されると考えられる情報によって意味構造を表現する。

4. 3. システムの構成

図3は略地図による意味検索を実現する画像データベースシステムの構成図である。各部ではそれぞれ次に述べるような処理を行う。

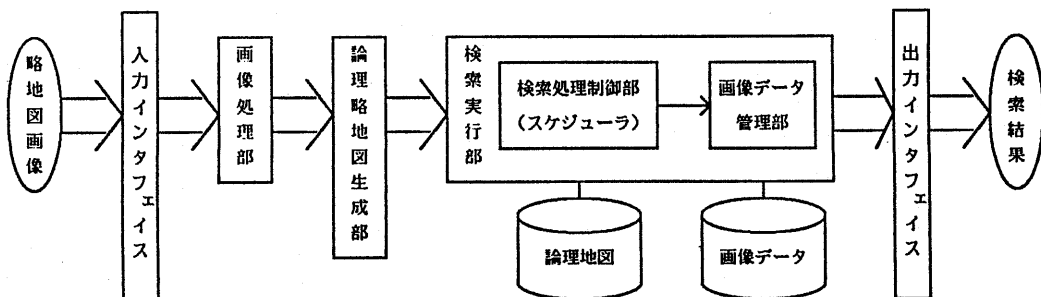


図3 システムの構成

(1) 画像処理部

入力インタフェースを通してシステムに入る略地図に対して線追跡、直線近似、文字認識、各地理要素へのクラスタリング等の低次画像処理を行う。

(2) 略地図画像解析部

略地図画像の画像処理結果から略地図の表現する意味構造を生成する。

(3) 検索実行部

略地図から取り出された意味構造を用いて、道路地図から対応部分を検索し、その結果を表示する。

以下、検索のための地図、略地図の知識表現モデルおよびそれらのマッチングのモデルを示した後、K E Eを用いた検索実行部の実現について述べる。

5. 知識表現モデル

5. 1. 道路地図の意味構造

道路地図の内容を図4に示す概念クラスによって表現する。これらのクラスはプリミティブ、構造、インデックスという3種類に分類できる。さらに、道路に関するクラスについては階層を持たせた。プリミティブなクラスの個々のインスタンスは階層、構造、インデックスに属するクラスの個々に含まれている。このことを「含まれている」という関係によって統一的に表現する。以下、それぞれのクラスについて説明する。

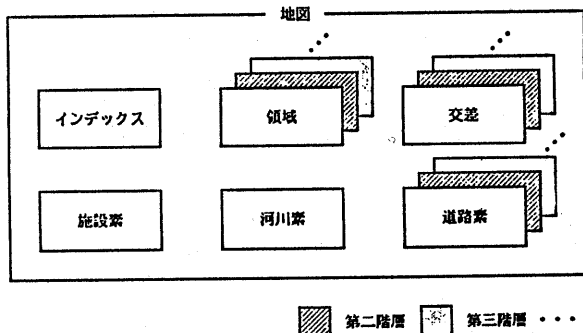


図4 論理地図の概念クラス

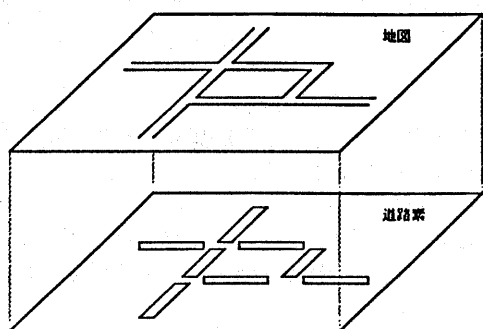


図5 道路素

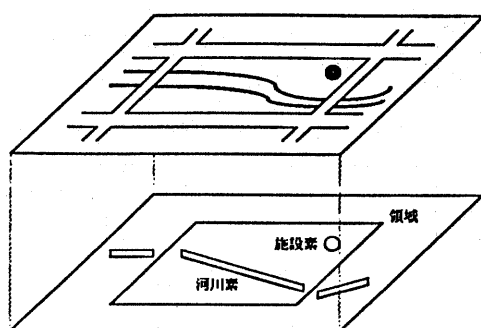


図6 河川素、施設素

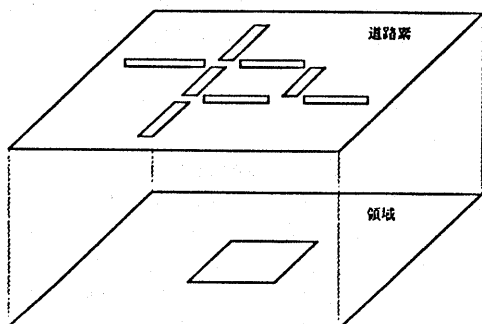


図7 領域

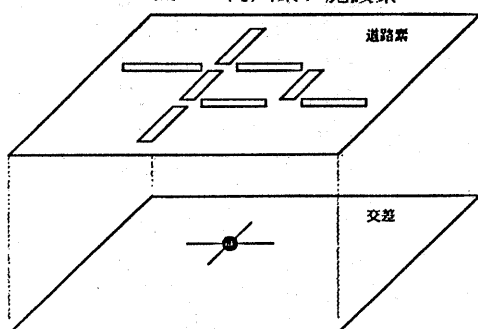


図8 交差

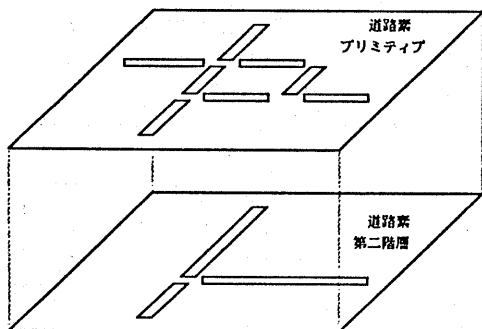


図9 道路素の階層

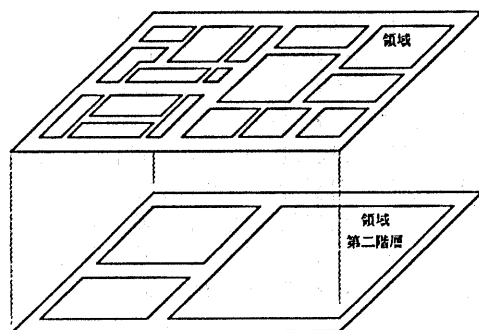


図10 領域の階層関係

(1) プリミティブ

プリミティブなクラスは道路や河川などの道路地図を構成している地理的対象物の最も基本的な単位をあらわす概念である。各クラスの個々のインスタンスは実際の地理的対象物に対応しており形状、位置、長さ、太さ、大きさなどの地理データを持っている。

(1-A) 道路素 (図5)

他の道路同士で分割される最少の部分道路を表わす概念である。

(1-B) 河川素 (図6)

河川素は河川のうち道路によって分割される最少の部分河川を表現する概念である。河川同士の

分割は関係しない。鉄道などのたの線形の地理的要素のプリミティブも同様に考える。

(1-C) 施設素 (図6)

施設素は施設を表現する概念である。

(2) 構造

構造に属するクラスは複数の道路素によって構成されたものを表わす。

(2-A) 領域 (図7)

領域は道路によって囲まれる最少の平面領域を表現する概念で、道路素の集合として表わされる。領域クラスの各インスタンスとそれを構成する道路素クラス、および、その領域に含まれる河川素クラス等道路素以外のプリミティブのインスタ

スの間を「含まれている」という関係でリンクする。

(2-B) 交差 (図8)

交差は地図平面内の道路の交差点を道路素の接続を表現する概念で、道路素の集合として表わされる。交差クラスの各インスタンスとそれを構成する道路素クラスのインスタンスの間を「含まれている」という関係でリンクする。

(3) 階層

(3-A) 道路素の階層 (図9)

略地図における省略に対応するために道路をその重要さを規準に分類する。道路の重要度が高いということはその道路が省略されにくいということの意味する。例えば、国道などは重要度が高く、路地は重要度が低い。これらの重要度は道路地図上で太さによってある程度判別することができる。このような重要度によって道路素を階層化する。階層数は地図の規模により、適当にとればよい。重要度の最も小さいプリミティブな道路素のインスタンスは重要度の大きい道路素のインスタンスを構成している。これらを「含まれている」という関係で表わす。

(3-B) 各階層における領域と交差

プリミティブな道路素に対する領域、交差と全く同様にして重要度の異なる階層の道路素に対しても領域及び交差が定義できる。

(3-C) 領域の階層関係 (図10)

重要度の異なる階層で定義された領域と交差のうち領域については、階層の異なるインスタンス間に「含まれている」という関係を与える。

(4) インデックス

道路名や河川名、施設名が記されているものに対するインデックスを与えるクラスで、名前に対応する道路素、河川素クラスの集合との間を「含まれている」という関係で表現する。

図11の地図に対して以上のような意味構造を抽出すると、図12のようになる。

5. 2. 略地図の意味構造

略地図の意味構造の考え方は、基本的に道路地図のものと同じであるが、その性質上プリミティブなクラスしか用意できない。これらのクラスの各インスタンスに次のような情報

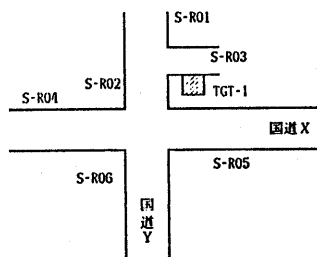


図13 略地図

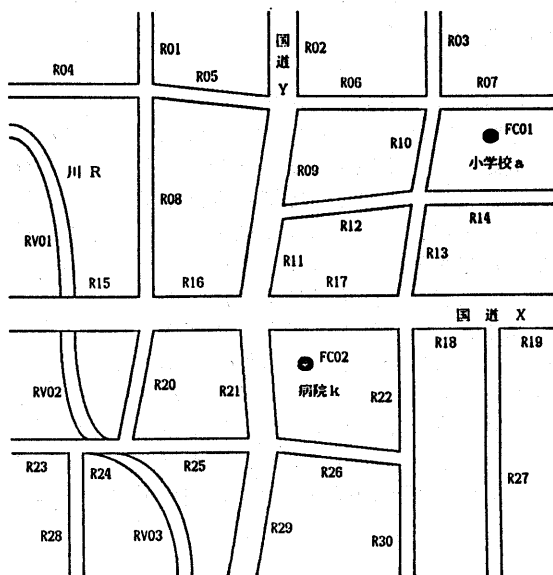


図11 道路地図

を持たせることで道路地図との整合性を図る。

(1) 領域と交差

略地図には領域、交差は正確に描かれていないのでこのような構造化を行うことは無意味である。そのかわり、プリミティブなクラスの各インスタンス同士の間に関連に存在する、接続しているという関係を持たせる。

(2) 道路素の階層

論理地図における重要度による階層化は人間の判断規準で行われる。略地図の意味構造抽出は計算機処理によることを前提としているため、階層化は不可能である。対応する関係も用意しない。

(3) インデックス

論理地図に用意されているインデックスを利用するために、各インスタンスに名前を格納している。

(6) 目的地

施設素と全く同様に扱われる。

図13の略地図に対して意味構造を抽出すると

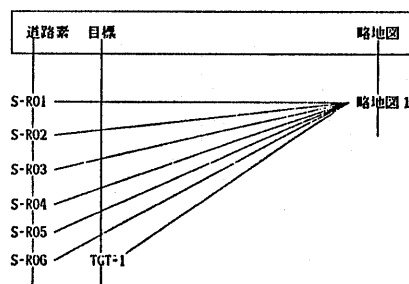


図14 略地図の意味構造

図14のようになる。

5. 3. マッチングの定義

道路地図に存在しない略地図は描かれないという仮定から、略地図のプリミティブクラスの個々のインスタンスによって道路地図のプリミティブクラスのインスタンスが構成されていると考えることができる。略地図プリミティブクラスの個々のインスタンス間の関係と、道路地図プリミティブクラスのインスタンスから構成される各種構造の「含まれている」という関係を用いてこのような対応づけを求めることが検索になる。リンクでたどれるプリミティブという形で検索範囲の縮小をシミュレートでき、個々の略地図のプリミティブに対する個別の操作を単位に検索順序を制御できる。

6. 検索実行部の実現

6. 1. KEEを用いた実現

略地図のプリミティブクラスのインスタンスに対する個別の操作には高度な操作モジュール性を

持つオブジェクト指向の概念を用いることが有効である。この場合メッセージ通信は地図構造の各インスタンス間、および略地図のインスタンスとの間で行われるが、特定のクラスのインスタンスはクラスのメソッドを継承する事になる。また地図構造の各インスタンスで起動されるメソッドは略地図と道路地図のプリミティブクラスの持つ地理情報の比較を行わなければならない。このためにはプリミティブインスタンスから構造クラスのインスタンスへ地理情報を継承させることが望ましい。以上のことより、オブジェクト指向による実行が可能で、かつ、メンバユニット（インスタンス）間での値の継承が可能なエキスパートシステム開発支援ツールKEEによって検索実行部を構成することにした。検索実行部は図15に示すような構成になる。

6. 2. 論理地図

論理地図は前節で述べた道路地図の意味構造をKEEの知識ベース上に構成したものである。各概念クラスとそのインスタンスは、クラスユニッ

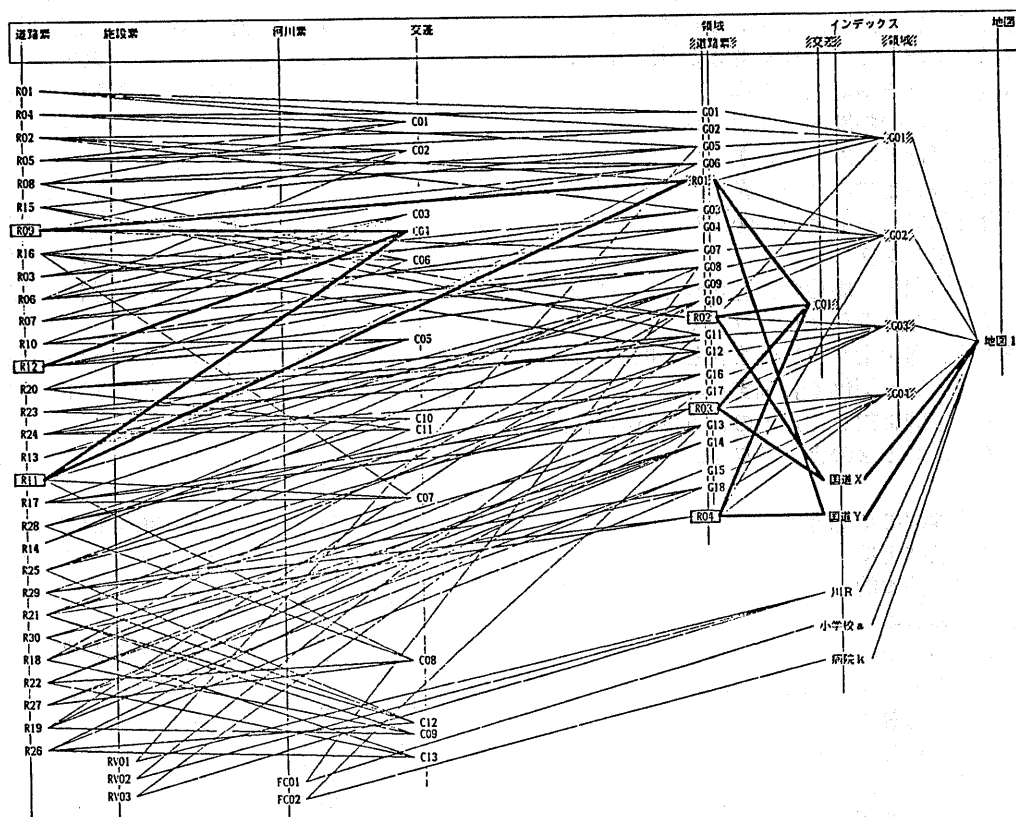


図12 道路地図の意味構造

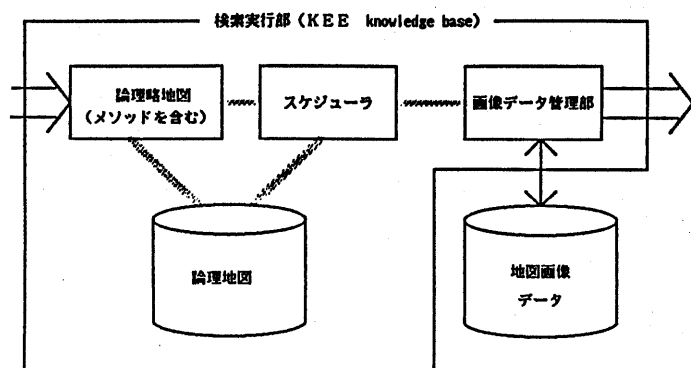


図15 検索実行部

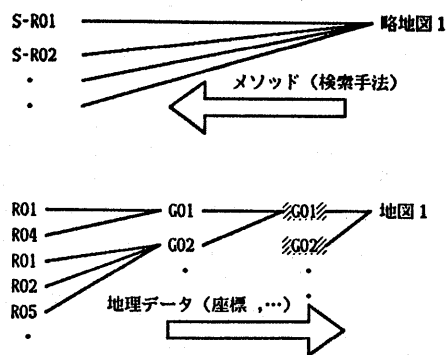


図16 インヘリタンス

トとそのメンバユニットとして実現する。「含まれている」という関係で結ばれたインスタンスは、ユニット間でのスーパークラス、サブクラスの親子関係として表現する。プリミティブなインスタンスに対応するメンバユニットが構造クラスのインスタンスに対応するメンバユニットの親となり、スロットに格納されている地理データの継承が行われる。（図16）

6.3. 論理略地図

論理略地図は略地図の意味構造を実現したもので、論理地図と同様にクラスユニットとメンバユニットによって表現される。近接している、接続している等のインスタンス間の関係はスロットで表現される。論理略地図を構成するプリミティブを表わすユニットは、自分自身と対応する論理地図のユニットを個別に検索する。そのための検索処理は略地図クラスユニットから継承される。（図16）

6.4. スケジューラ

検索動作は個々のユニットが局所的に行うが、これらの検索処理を大局的にモニタしておかなければならない場合がある。

例えば、局所的な検索の結果には検索結果が単一である場合と複数個になる場合の二通りある。略地図の省略に対処するために、後者の場合には結果集合の要素のうちどれが最も適切かどうかを決めるヒューリスティックな処理を行うメソッドを略地図ユニットに用意している。また、局所的な検索処理の適用の順序を管理する必要がある。

このような検索状態のモニタはスケジューラによって行われ、略地図の個々のユニットとスケジューラとのメッセージ通信によって検索処理が行われる。

6.6. 画像データ管理部

論理地図と画像データとの対応を管理しており、（g）スケジューラは全ての処理が停止状態であ

論理地図上での検索結果に対応する部分画像を選択し出力する。

6.7. 検索動作例

図11の道路地図に対して図13の略地図を与えたときの検索動作例を示す。

（a）スケジューラは略地図のS-R01からS-R06の全ての道路素ユニットに検索開始のメッセージを送る。各ユニットのマッチング候補を格納するスロットに地図1ユニットへのポイントがはいる。

（b）S-R04, S-R05, S-R01, S-R02, S-R06のユニットは、地図のインデックスクラスを利用するメソッドを適用し、国道Xユニット、国道Yユニットへのポイントが得られる。S-R03ユニットのマッチング候補は決定できないが、S-R03がS-R01, S-R02に接続していることからS-R01, S-R02が決定した後、検索処理を起動するようスケジューラにメッセージを送る。

（c）S-R02, S-R04, S-R05, S-R06では交差点についてのメソッド起動し、交差点を表わすC01ユニットをマッチング候補とする。S-R01のマッチング候補を縮小できないが、S-R02と同一の道路素に含まれることからS-R02のマッチする道路素が決定後、再び検索動作を起動するようスケジューラにメッセージを送る。

（d）S-R02, S-R04, S-R05, S-R06はそれぞれ交差点C01を構成するR01, R02, R03, R04の地理データを比較し検索範囲を決定する。S-R04, S-R05, S-R06ユニットは検索終了をスケジューラに伝える。

（e）S-R02の含まれる道路素R01が決定したのでスケジューラは国道Yにメッセージを送り、S-R01の検索範囲は、S-R02と同じ道路素R01になる。

（f）道路素R01では検索メソッドを適用するが、マッチング可能な道路素の組み合わせは二通りある。この決定のためのヒューリスティックなメソッドの起動を要求するメッセージをスケジューラに送る。

ることを確認した後、ヒューリスティックなメソッドを起動するメッセージをR01ユニットに送る。

(h) S-R01, S-R02, S-R03のヒューリスティックなメソッドは割り当て可能な交差C01, C02ユニットのうちC01を選択する。

(i) S-R01, S-R02, S-R03は、道路素の地理データを用いて交差C01を構成するR09, R11, R12に割り当てを行い、検索終了のメッセージをスケジューラに送る。

検索結果は図12の太線に示している。

6. 6. 画像データ管理

論理地図のプリミティブな地理データをあらわす線素は、道路素、河川素等の地理的データを代表している。地図画像をブロックに分け、各ブロックと線素とを対応づけておくことで選択された線素集合に対応する部分地図の選択がなされる。

7. おすび

以上、(1) 知識表現を応用した画像データベースのスケッチ検索の枠組み。(2) 道路地図の略地図による検索の際の知識表現手法。(3) オブジェクト指向の機能を利用した視点制御、検索範囲の縮小の実現。等について述べた。

今後、(4) 本プロトタイプシステムの完成。

(5) 地図以外の画像データへのモデルの拡張。を進めていく予定である。

参考文献

[1] Chang, N. S. and Fu, K. S.: Picture Query Languages for Pictorial Data-Base Systems, Computer, Vol. 14, No.5, pp.23~33 (1980)

[2] 吉田：天気図データベース・システムとその応用, 信学会情シ部門全大S4-11, pp.1-321~1-322 (1985)

[3] 大田他：漢字パターン列特徴パラメータによる検索—名刺画像における姓名の場合—, 信学会, Vol. J64-D, No. 11, pp.997~1004 (1980)

[4] 杉山他：濃淡画像の等高面度トリートとその地形図検索への応用、情処論、Vol. 25, No. 1, pp. 133~140 (1984)