

## モバイル環境での空間索引木の利用に関する検討

村中 俊規<sup>†</sup> 玉置 和也<sup>†</sup> 小池 実<sup>††</sup> 蒲原 智也<sup>†</sup> 上島 紳一<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 関西大学総合情報学研究科 〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町 2-1-1

<sup>††</sup> 関西大学総合情報学部 〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町 2-1-1

E-mail: †{k550379,k711829,fa80174,fa8d001,ueshima}@edu.kansai-u.ac.jp

あらまし 本稿では、著者らが提案する空間索引木のモバイル環境での利用法について検討する。提案空間索引木では、ノードが道路網の部分領域を表し、領域の経路と拡がりに関する空間指標を持つ。ここでは、道路網内の最短経路探査や、店舗名や商品名などのオブジェクト情報に対する範囲問合せなどの空間問合せの問合せ処理を対象とし、利用者が小型端末で発行する最短経路探査や範囲問合せなどの空間問合せをサーバと小型端末と連携して処理する方法について議論する。実験システムは、小型端末として、スマートフォンのような一定の処理能力と通信能力を備えた端末を使用し、サーバは、空間索引サーバとオブジェクト情報集積サーバの2つのサーバを使用する。これにより、端末とサーバとにおいて処理を分散的に実行することによって、負荷分散を行うことができる。利用者は、空間問合せのような問合せ処理のみならず、利用者の所在する位置情報や、端末からの入力データなどを空間索引サーバに蓄積する対話的な利用法についても検討する。提案システムにより多くの利用者が情報提供と登録を繰り返すことで、実環境を反映した問合せ結果を得ることが可能になる。

キーワード 空間索引木, 小型携帯端末

## On Spatial Index Tree in Mobile Environment

Toshinori MURANAKA<sup>†</sup>, Kazuya TAMAKI<sup>†</sup>, Minoru KOIKE<sup>††</sup>, Tomoya KAMBARA<sup>†</sup>, and  
Shinichi UESHIMA<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Informatics, Kansai University  
2-1-1, Ryouzenji, Takatsuki, Osaka, 569-1095 Japan

<sup>††</sup> Faculty of Informatics, Kansai University  
2-1-1 Ryouzenji, Takatsuki, Osaka, 569-1095 Japan

E-mail: †{k550379,k711829,fa80174,fa8d001,ueshima}@edu.kansai-u.ac.jp

**Abstract** In this paper, the authors propose an experimental configuration where structural features of spatial index tree are employed in a mobile environmental context. In the tree, each node corresponds to a subregion of underlying road network, and has the spatial indices that consist of paths information in subregions as well as their MBR (Minimum Bounding Rectangle) information. The tree possesses spatial index in a spatially distributed manner, in the sense that subregions of the tree are disjoint and cover the entire road network in each layer. This feature of spatial index tree enables to realize load-balancing among servers and clients for spatial queries. Here the authors discuss a collaborative query processing scheme among servers and mobile devices, in order to solve spatial queries that users may issue by using mobile devices, such as shortest path search and spatial range queries to objects on the road network. In our configuration, mobile devices are ANDROID smart phones with processing and communication abilities, while two servers store spatial indices of the entire road network and object information, respectively. Further, a typical scheme is discussed to register/share user's location information and input data from mobile devices in spatial index server. By repeating register and share by many users, they can obtain query results that reflect the real world.



図 1 端末上での結果表示例

## 1. はじめに

本稿では、モバイル環境での空間索引木の利用について検討する。店舗名や商品名などのオブジェクト情報に対して、スマートフォンなどの小型端末とサーバを連携して、最短経路探索やネットワーク距離に沿った範囲問合せなどの空間問合せを実行するシステムを検討する。

空間索引木 [1] は、道路網をグラフとみなし、ネットワークポロノイ分割で得られる部分グラフをノードとして見る。このノードのみで構成したグラフを再び分割し、統合を繰り返しながら上位の部分グラフのノードをボトムアップに構成する。

また、道路網の部分グラフは部分領域を表すため、上位層ノードがより広い部分領域を示す。各ノードは、対応する領域に関する領域内の経路長と領域の拡がりを示す空間指標を持つ。

本稿では、Android 端末とサーバを用いたプロトタイプシステムを提案する。システムは、グラフ化された道路網に対して構築した空間索引木を格納するサーバ、店舗や商品などのオブジェクト情報を格納するサーバ、そして利用者が空間問合せを実行する Android 端末から成る。

システムの流れは利用者の現在地を始点、特定の店舗・商品を終点とし、終点までの経路を探索する条件を入力することから始まる。空間問合せを実行する際、Android 端末は問合せ内容に沿った情報を引き出すためにサーバへアクセスし、サーバは問合せに対する結果のみを Android 端末へ返す。得られた結果を元に Android 端末が実際に最短経路探索や範囲問合せなどの空間問合せの解経路を求める。

空間問合せにおいて、空間索引木により局所的な処理を可能とし、Android 端末とサーバの連携による分散を実現する。

季節・時期により状態や値が頻繁に変化するオブジェクトを変動的オブジェクトと呼ぶ。例えば、所在地が固定される店舗などの建築物は静的なオブジェクトであるが、店舗で販売している商品の在庫や価格は変動的オブジェクトである。

変動的オブジェクトに対しても、空間問合せを実行するには対話的な登録が必要である。本システムでは、問合せのみならず、情報提供と登録も行うことができる。

利用者が実際に店舗で販売されているオブジェクトの状態を確認し、データ内容を更新することは、利用者の本システムにおける情報提供にあたる。また、システム上に存在しない新規

のオブジェクト情報を追加することは、利用者の登録処理にあたる。多くの利用者がシステムを利用して、実際の店舗に存在するオブジェクトの状態を確認し、その時点でのオブジェクトの状態を更新する作業を繰り返すことで、変動的オブジェクトに対しても最新の問合せ結果を得ることができる。

## 2. 研究背景

### 2.1 要件

本稿で提案するシステムにおいて必要な要件を以下に示す。

- (1) オブジェクト情報には、店舗などの静的な情報だけでなく、商品の価格などの変動的な情報も含まれる
- (2) (1)のため、オブジェクト情報は頻繁に更新される
- (3) 利用者は、空間に対する問合せを発行する
- (4) 利用者の端末より、位置情報や端末の向きなどの情報を得ることができる
- (5) 道路網のノードやエッジに関係なくオブジェクトが存在する

(1)(2): 店舗などと違い、店舗で販売されている商品や価格は季節時期によって変化する。そのため、商品の登録情報は頻繁な更新を必要とする。

(3): 道路網内の最短経路探索や、店舗名や商品名などのオブジェクト情報に対する範囲問合せなどを指す。

(4): 端末の情報は、結果を表示するために必要である。また一部計算を負担することで、サーバにかかる負荷を軽減できる。

(5): 店舗やそこで販売されている商品などの情報は、利用者が登録するために、必ずしもオブジェクトと道路網に関連付けられていない可能性がある。

### 2.2 本稿でのアプローチ

前節で述べた要件に対する本稿でのアプローチを述べる。

(1)(2): 季節・時期により多様に变化する変動的オブジェクトは、利用者の情報提供による対話型の処理を用いることで常に最新の状態に保つ必要がある。

(3): 利用者は、任意の条件に応じた空間問合せを実行できる環境が必要である。

(4): Android には、端末の位置情報や向きを取得することができる他、高い演算機能を備えている。提案システムにおいても、これらの性能を活かす。

(5): 空間索引木は道路網をグラフ化することで得られる。ゆえに、頻繁に状態が変化しない道路網は静的であり、変動的オブジェクトとは関係ないと言える。

### 2.3 想定環境

本節では前節で述べた要件を満たすためのシステムとして、以下のように環境を想定する。

(1)(2): オブジェクト情報集積サーバ(以下、オブジェクトサーバ)を用いて、オブジェクト情報の管理を行う。

(3): 利用者が発行した空間問合せの表示は、Google API を使用して Google Maps 上に表示する。問合せや部分木の抽出範囲の詳細は 4 章で説明する。図 1 に範囲問合せを実行し、最も近いオブジェクトへの最短経路を画面に出力した例を示す。

(4): 利用者が使用する小型端末には、空間問合せの一部を実

行するだけの演算能力と GPS が必要となる．この二つの条件を満たすスマートフォンを使用する．

(5) : オブジェクトサーバは，オブジェクトの詳細な情報をもつが，道路網にオブジェクト情報を関連付ける必要がある．そのために道路網より空間索引木を構成し，空間索引木を格納するサーバ (以下，空間索引サーバ) にオブジェクトの数量などの概要情報とオブジェクトの識別子を持つ．

### 2.4 特徴・利点

本システムでは以下の特徴や利点を持つ．

- 2種のサーバと Android などの小型端末の自律性を用いて処理を実行するため，サーバ処理とクライアント処理に分けて実行できる．

- － 問合せに対する解が，端末内のデータのみを用いて可能となる処理

- － 利用者同士が待ち合わせ場所を決めるなどの複数の端末を用いた連携処理

- － 現在地から最寄駅への最短経路を求めるなどの利用者の位置に応じた局所的な処理

- 既存の他サイトの情報も自由に利用できる．
- 道路網とオブジェクトを分離することは，距離・範囲・オブジェクト検索などの複合的な検索が可能となる．
- 変動的なオブジェクトに対して，呼出し・更新の対話的な利用を繰返すことで，最新の結果を得ることができる．

## 3. 空間索引木

本章では，利用する空間索引木の構成方法と 4 章で述べるように，グラフ上での最短経路探索と範囲問合せを効率的に実現するための各種指標について述べ，提案システムにおける空間索引木の特徴について言及する．

### 3.1 空間索引木の構造

[グラフ構造] : 空間索引木は道路網を重み付きグラフ ( $G_{i_0}$ ) として見る．交差点をノード，交差点間の道路片をエッジとみなす．この時，道路片のもつ距離などの値を重みとして持つ．

グラフに対して，確率的に母点を決定する．グラフを母点以外の各ノードに対して最も近い母点 (ノードの所属母点) を決定する．この決定は，ノードネットワークポロノイ分割を実行できる．すべてのエッジも同様にエッジネットワークポロノイ分割により母点ごとに分割できる．この時，エッジ上で母点が変更される点を境界点と呼ぶ．

[母点領域] : この母点ごとに分割された部分グラフを母点領域と呼び，各母点領域には，(1) 母点 (2) 所属するノード (3) 所属するエッジ (4) 境界点などの情報を持つ．

[詳細度別グラフ] : 各母点領域をノードとして扱うことで，母点領域の隣接関係を抽出することができる．この隣接関係より，母点のみで構成されたグラフ ( $G_{i_1}$ ) を生成できる．この  $G_{i_1}$  に対しても同様にネットワークポロノイ分割を実行することができる．この分割された母点ごとに母点領域の統合を行う．これは，各ノードが領域を示すため，2つ以上のノードを統合すれば，より広い領域を示すノードを生成できることによる．

$G_{i_2}$  より上位の階層を生成する場合と同様に，分割と統合を

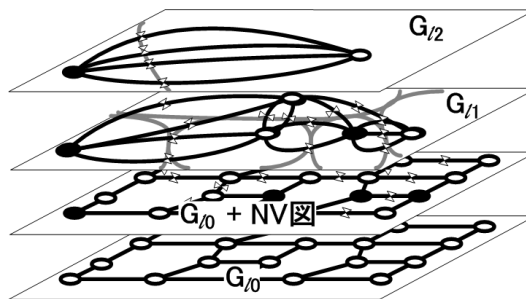


図 2 空間索引木の階層構造

構造化情報	<b>Node</b>	NodeID 母点nodeID 母点への 一歩先のnodeID 母点への距離・経路 LV	<b>Edge</b>	EdgeID 母点nodeID-境界点ID or 境界点ID-境界点ID 距離・経路 所属母点 LV	オブジェクト 情報 種別・個数 LV1では 識別子
	<b>Generator</b>	母点nodeID $\Delta$ $\delta$ MBRのXY座標 LV	<b>Boundary</b>	境界点ID 母点nodeID1 母点nodeID2 母点への距離 LV	
原地図	<b>Node</b>	NodeID X座標 Y座標	<b>Edge</b>	NodeID1 NodeID2 距離	

図 3 データ構造

繰返すことで，包含関係を維持した木構造をボトムアップに生成することができる．以下，全領域を包含するノードが発生するまで，上位層の生成を繰返す．空間索引木の階層構造例を図 2 に示す．

### 3.2 空間指標

空間索引木の母点領域は空間索引として 3 つの指標を持つ．  
[母点領域の大きさの指標] : 母点領域の大きさを示す指標として，各階層の各母点領域において，その母点領域を横断する最短経路長及び最大経路長の二つの指標を用いる．この母点領域を横断する経路は，異なる母点領域をつなぐ経路である．すべての境界点間の組合せのなかで最大の距離を  $\Delta$  とし，最小の距離を  $\delta$  とする．

[拡がりの指標] : 拡がりの指標として，母点領域の Minimum Bounding Rectangle(MBR) をもつ．この MBR は，各母点領域のノードの座標・エッジの線分を構成する各節点・境界点の位置などから XY 座標において最大・最小値を取ることで構成される．

[オブジェクトの指標] : オブジェクトの指標は，空間索引木の構造化情報において，商品名や店舗名などのオブジェクト情報を付加するための指標として扱われる．オブジェクト指標は，図 3 に示すように構造化情報の一部に付加する形で取り扱う．

階層によって持つ指標が異なり，原地図より生成した  $G_{i_1}$  では，オブジェクト種別の個数とオブジェクトの識別子を持ち， $G_{i_2}$  以上では，オブジェクト種別の個数のみを持つ．

[注] : 空間指標と空間索引木は，母点によるデータ構造ごとに保存するファイルを分けている．

### 3.3 空間索引木の特徴

空間索引木は以下の特徴を持つ．

- 数値地図に対応しているため，任意の地域のデータを自由に利用することが可能．
- 節は原地図の部分領域を示し，領域間の位置関係と距離

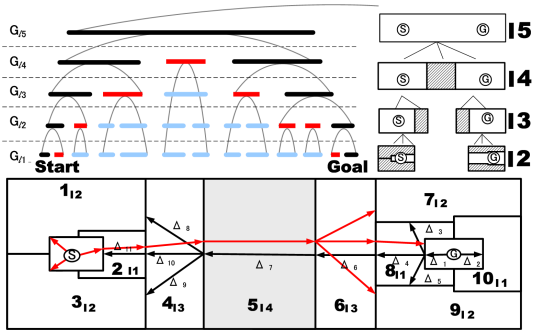


図 4 木構造を用いた最短経路探索

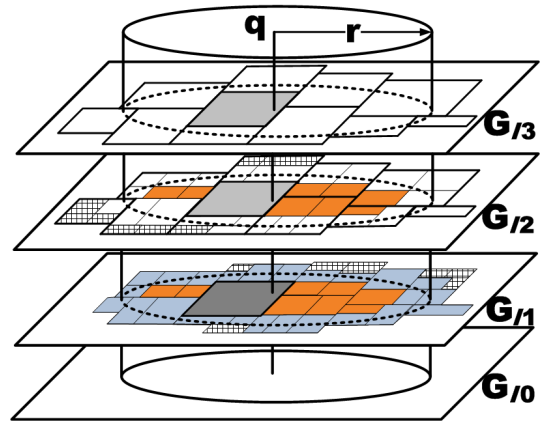


図 5 DRQ における MBR を用いた階層ごとの領域刈り込み

関係を保持した複数の詳細度別のグラフからなる．提案システムは，必要となる節までの部分木を抽出するだけで空間問合せを実行できる．

- 枝は領域の包含関係を示し，また下記の領域を持つ属性を包含する上位の領域へ集約されることが可能になる．オブジェクト情報にも同じことがいえる．

- 各階層でノードは空間索引として，道路に沿った領域内の複数の横断経路と距離，領域間の隣接関係に基づく位置関係，領域の最大・最小横断距離，領域の地図上での拡がりなどの空間指標を持つ．空間指標は空間問合せにおける実行時に利用され，構造化情報にオブジェクト指標を付加することができる．

- 原地図から，ノードを選択してボトムアップに木を構成しているため，平面上の道路の分布の粗密に依存せず，平衡木の性質を持つ．空間問合せにおける部分木の抽出においても，抽出する節の次数がほぼ一定であり，各節が示す領域内の道路片数がほぼ一定となる．

#### 4. 空間索引木を用いた問合せ処理の切り分け

利用者が発行する条件などの空間問合せを実行する際，まず，空間索引サーバ内で必要となる部分木を演算し，Android 端末に送る．端末では，送られた部分木から空間問合せを実行し結果を表示する．

最短経路探索手法では，探索時に始点と終点が与えられる．

範囲問合せでは，オブジェクト集合  $D$  が与えられる． $D$  に対して空間索引木の構成情報を用いて，空間索引木内での母点領域内にオブジェクト指標を埋め込む．また範囲問合せ手法では，問合せ地点  $q$  と探索半径  $r$  が与えられる．探索対象オブジェクトへの距離は，ネットワーク上を経由した経路長とする．

##### 4.1 最短経路探索

[事前探索 (サーバでの処理)] : 空間索引木において始点と終点をともに含む葉に近い節 (母点領域) を，包含関係を用いて，葉より順に上方に探索する．その結果，始点と終点が同一の母点領域に含まれる最も低い階層 (第  $i$  層とする) とその母点が判明する．図 4 では第 5 層がそれにあたる．

発見した母点領域より，第  $i-1$  層での所属関係を抽出する．始点と終点を含む母点は，所属関係の抽出を繰り返し，含まないノードは，母点領域の構成情報を取り出す．

この始点・終点を含まない領域をすべての階層で取り出したとき，それらを境界点で接続することができ， $G_{i_1}$  での始点と

終点を含む領域を追加すると一枚の平面図を得ることができる．図 4 下では平面図があたる．この母点領域を中心とした平面図より，母点の隣接関係図が生成できる．母点の隣接関係図のエッジの長さに，各母点領域の大きさの指標を用い，終点よりダイクストラ探索法を行い，終点を根とした木構造を構成する．図 4 下では黒矢印がそれにあたる．大きさの指標を用いたダイクストラ法により，各領域は，終点を持つ母点領域までの領域を渡る経路と見積り距離を保持することができる．

終点から終点の母点を持つ境界点と始点から始点の母点か境界点までに対して経路探索を行う．この時，始点または終点が母点である場合既知であるので探索を行わない．

[本探索 (端末での処理)] : 事前探索によって求められた終点から始点の探索木を用いて，始点から終点に向かい，領域をつなぐ経路を大きさの指標を用いた経路から，境界点の情報を用いた実際の経路に置き換えていく．

境界点ごとに見積り距離と実際にその境界点に至る経路を計算しリスト化する．(1) そのリストより最も見積り距離と実際の距離の合計より最も距離が短いものを選択する．(2) その境界点より展開できる境界点をリストに追加する．展開した境界点はリストから削除する．(1)(2) の手順を繰り返すことで終点の領域まで辿る事ができる．

終点の領域にある境界点まで展開されたとき，終点と境界点の経路の合計が最も短いものが解の経路となる．

##### 4.2 範囲問合せ

[部分木の抽出 (サーバでの処理)] : 円  $C$  をユークリッド距離での  $r$  で描く．ネットワーク距離  $r$  で到達可能な地点はすべて円  $C$  内に存在する．この円  $C$  を用いて空間索引木より必要部分木を抽出する．空間索引木の最上位層より母点領域の持つ MBR と円  $C$  の関係を判定することにより，この処理はなされる．この時判定するのは (1) MBR が円  $C$  に完全に包含される (2) MBR が円  $C$  に完全に包含はされないが，MBR と円  $C$  は一部重複する (3) MBR と円  $C$  は排他的である．(2) に該当する母点領域は，下位の層でも判定を行う．この判定を第 1 層まで行うことで，中心に近い母点領域の階層は高く，円の縁に近い部分の階層は低い部分木を得ることができる．この部分木は，最短経路探索手法で得た部分木のように，境界点で連結するこ



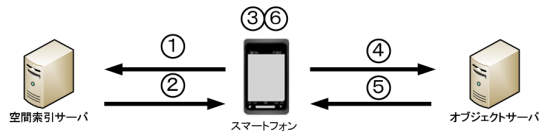


図 6 データ利用の流れ



図 7 データ登録の流れ

とができ、一枚の平面図として見る事ができる。

図 5 の  $G_{l_3}$  は色つきの部分を完全に包含される領域である。また、他の MBR は (2) にあたる。また、 $G_{l_2}$  や  $G_{l_1}$  での網掛けの部分は (3) にあたる。

[ 距離指標を用いた粗査 (サーバでの処理) ] : 部分木の抽出で得られた平面図に対して、問合せ点より領域の大きさの指標を用いてダイクストラ探索を行う。この処理により、ネットワーク的に隔絶した母点領域を知ることができる。また、ネットワーク距離  $r$  で到達不可能な母点領域を判断することができる。

粗査を行う事で、明らかにネットワーク距離  $r$  で到達する母点領域も判定できる。この母点領域内にあるオブジェクトは、境界点までの距離を合計しても  $r$  以内かを判定するのみでよい。

[ 精査 (端末での処理) ] : 粗査を行い、詳細なオブジェクトの位置を必要とすると判定された母点領域に対して、最短経路探索の本探索と同様の処理を行い、オブジェクトまでの距離を出す。この処理中に実際の距離が  $r$  以上になった境界点は、次の展開を行わないことで、処理を抑えることができる。この処理で、ネットワーク距離  $r$  内にあるオブジェクト集合を解として求めることができる。

[ オブジェクト情報の展開 ] : 空間索引木のある階層において、範囲問合せの指定範囲内にふくまれる母点領域がもつオブジェクトの種類・個数が判明した場合には以下のようにしてオブジェクトの詳細情報を展開する。

(端末での処理) :  $G_{l_i}$  で母点領域が確定した時、オブジェクトの詳細を知るための必要な識別子は、 $G_{l_1}$  に持つためそままで木構造を辿る必要がある。このとき  $G_{l_{i-1}}$  での母点がノードとなり、 $G_{l_i}$  での母点領域を形成しているため、 $G_{l_{i-1}}$  での母点領域は容易にわかる。この時オブジェクトを持つ領域は一つに限定される、 $G_{l_{i-1}}$  でオブジェクトを持つ領域が判明する。同様に  $G_{l_{i-1}}$  でも展開できるので、 $G_{l_1}$  まで容易にわかり、オブジェクトの識別子まで到達できる。

(サーバでの処理) : 端末で取り出した識別子に対して、オブジェクトサーバが、詳細情報を検索し端末に返す。

## 5. 提案手法

### 5.1 オブジェクト情報の利用

本節では、利用者が目的のオブジェクトまでの経路探索の処理について述べる。図 6 は、2 種のサーバと Android 端末 (以下、端末) が利用者の問合せに対する処理の流れを示している。

- (1) 問合せの発行 引数 : String 型 in Line
- (2) 部分木の抽出 引数 : String 型 in File
- (3) 問合せの実行
- (4) オブジェクト情報の要求 引数 : String 型 in Line
- (5) オブジェクト情報の返信 引数 : String 型 in Line

### (6) 問合せの実行結果の表示

(1) : 利用者は端末に検索する商品名と条件 (結果表示数、検索する範囲など) を入力する。入力された内容は端末の現在地座標が付加され、テキストファイルにまとめられる。ファイルは問合せ内容として、String 型の文字列で空間索引サーバに送信される。

(2) : 空間索引サーバは、受信した問合せ内容に対して必要となる部分木の抽出と事前探索を行う。部分木の情報は、端末に送信する。

(3) : 端末は、入力された条件に沿って空間問合せにおける本探索・精査を行う。また、抽出した部分木から必要となるオブジェクトの識別子を検索する。

(4) : 検索したオブジェクトの識別子をテキストファイルとして、オブジェクトサーバに送信する。

(5) : オブジェクトサーバは、受信したオブジェクトの識別子に応じたオブジェクトの詳細情報を検索し、テキストファイルにまとめて端末に送信する。

(6) : 端末は、受信した詳細情報を表示する。

### 5.2 オブジェクトの対話型登録

本節では利用者がオブジェクト情報を登録する際の処理について述べる。図 7 は、2 種のサーバと端末が利用者の情報提供に対する処理の流れを示している。

- (1) オブジェクト情報の入力 引数 : String 型 in Line
- (2) オブジェクト識別子の生成
- (3) オブジェクト識別子の送信
- (4) 部分木の加工更新

(1) : 利用者は、端末に店舗名や商品名などの登録するデータを入力する。入力されたデータは端末の現在地座標が付加され、String 型の文字列でテキストファイルにまとめられオブジェクトサーバに送信される。

(2) : データを受信したオブジェクトサーバは、登録するオブジェクトの識別子を作成する。

(3) : 入力内容と識別子をオブジェクトの詳細情報としてオブジェクトサーバに格納する。また、現在地座標と識別子を空間索引サーバに送信する。

(4) : 空間索引サーバは、受信した現在地座標を元に空間索引木の支配関係にある MBR を含むノードまで検索し、登録するオブジェクトの識別子を持たせる。その後、空間索引木の支配関係を用いてボトムアップにオブジェクトの数量を変更する。

データ登録は、オブジェクトの追加だけでなく削除や更新などでも処理手順は同様である。オブジェクトの削除は、空間索引サーバに格納されている識別子とオブジェクトサーバに格納されている詳細情報を削除する必要がある。この手順は、登録時と同じである。

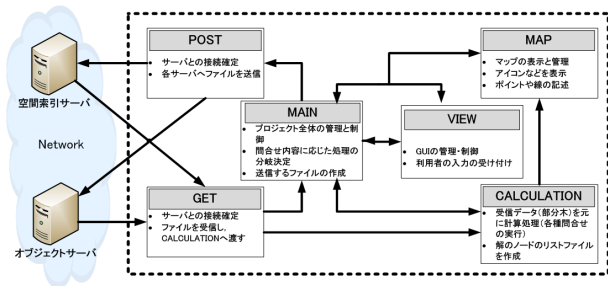


図 8 端末でのクラス構成

オブジェクトの更新は、更新内容をオブジェクトサーバに送信し、詳細情報を更新する。

多くの利用者が情報提供と登録されたデータを利用する操作を繰り返すことにより、オブジェクト情報は常に最新の情報に更新される。この対話型の処理によって、より新しいオブジェクト情報の利用が可能となる。

## 6. プロトタイプシステム

空間索引木を利用したシステムの概要について述べる。

### 6.1 空間索引サーバ

空間索引サーバには、空間索引木の構造化情報と店舗名や商品名などのオブジェクト情報の識別子が格納される。空間索引木を構築する際、母点領域を構成する Node, Edge, Generator, Boundary ごとに格納するファイルを分散する。ファイルを分散することで空間問合せの実行時における処理時間と演算コストを削減することが可能である。

図 3 が、空間索引サーバが格納するデータ構造である。各ファイルは、母点自身の ID と階層数を持った情報を保持する。  
 [Node]: 空間索引木における木構造を構成するデータを格納する。原地図上における母点までの距離・経路も保有する。  
 [Edge]: 空間索引木における一つ下の階層での経路集合を格納する。

[Generator]: 母点領域の大きさの指標、拡がりの指標 (MBR) などの母点領域それ自身に関連する情報を格納する。

[Boundary]: 境界点の情報である母点の隣接関係とその距離を格納する。

6.2 オブジェクトサーバ

オブジェクトサーバはオブジェクトの詳細な情報を格納する。格納するオブジェクト情報は (1) 業態, (2) 店舗名, (3) 商品ジャンルなどのカテゴリに区分けする。例えば, (1) はデパート・コンビニなどの店舗のサービス形態に分け, (2) は店舗名・チェーン店名で分け, (3) は雑貨, 飲料などの商品群に分けられる。ファイルに格納するオブジェクト情報は, (4) 以降のさらなる区分けによって, オブジェクトを特定できる最小単位 (商品名) まで分割する。最小単位でのプロパティに, 価格や在庫量などの詳細情報と GPS による店舗 (商品) の位置を格納する。

区分けされたカテゴリは ID を持つテーブルごとにまとめられ, 商品そのものの詳細なデータはリスト形式で格納する。

### 6.3 小型携帯端末のプロジェクト構成

本節では, 端末でのプロジェクト構成について述べる。プロ

ジェクトは以下の構成要素からなる。

[MAIN]: 端末でのプロジェクト全体 (図 6 の点線内) の制御と管理を行う。利用者が入力する内容に応じて処理の分岐 (オブジェクト情報の利用・オブジェクト情報の登録) を行う。また, 位置情報と入力内容を含むテキスト形式のファイルを作成し POST へ送る。

[VIEW]: 端末でのインターフェイスの制御やラジオボタンなどの表示を行う。

[POST・GET]: 端末と各サーバ間におけるデータの通信を行う。POST はサーバへファイルを送信し, GET はサーバからファイルを受信して MAIN または CALCULATION へ送る。送信・受信は, HTTP プロトコルを用い, UTF-8 でエンコードされたテキスト形式のファイルである。

[CALCULATION]: 空間索引サーバから, GET を通じて受信した部分木データを元に各種問合せを実行する。最短経路探索の場合, サーバで処理した事前探索による結果を用いて, 本探索を行い経路を探し出す。範囲問合せの場合, 端末で精査を行い範囲内にあるオブジェクト集合を解として求める。どちらの場合も各問合せを実行した結果を元に, リスト形式に格納されたノードデータのファイルを作成する。この作成したファイルは MAP へ渡される。

[MAP]: ここでは Google Maps の表示と制御を行う。MAP は CALCULATION から送られた問合せ結果を Google Maps に表示する役割を持つ。MAP はさらに 3 つの役割に分かれる。

- (1) Google API を用いた Google Maps の表示
- (2) Google Maps 上に図やアイコンなどの表示
- (3) ポイントや線など地理空間情報の描画

CALCULATION から送られてきた, ノードデータのファイルを読み込みノードのみを取得する。取得したそれぞれのノードをラインで結ぶ処理を繰り返し, Overlay を用いて GoogleMaps 上に描画し経路を作成する。

[プロジェクトの流れ]: 利用者は端末に検索する商品名や条件など VIEW を用いて入力する。入力内容に対し, MAIN は位置情報を付加し, 問合せ内容となるファイルを作成し POST がサーバへ送信する。サーバで問合せに沿った処理が行われ, GET がその結果を受け取る。結果は CALCULATION による問合せに応じた計算処理を実行し, MAP が端末に表示する。

## 7. おわりに

本稿では, サーバとスマートフォンなどの小型端末を用いて空間索引木の利用法について検討した。検討した利用法は端末やサーバに過剰な負荷をかけずに各空間問合せを実行することができる。

今後の課題として, 端末の向きを考慮したインターフェイスやアクセスの競合を考慮した実装が考えられる。また複数の端末を用いた待ち合わせに対する問合せ処理を検討する。

### 文 献

- [1] 蒲原智也, 上島紳一: 道路網応用のための空間索引木の提案と最短経路探索への応用, 情報処理学会論文誌データベース, Vol.2, No.2, pp.10-28 (2009).