

地理情報の詳細度を考慮した移動オブジェクト群への情報配信

羅 勇[†] 天笠 俊之[†] 吉川 正俊^{††} 植村 俊亮[†]

[†] 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科 〒 630-0101 奈良県生駒市高山町 8916-5

^{††} 名古屋大学 情報連携基盤センター 〒 464-8601 名古屋市千種区不老町

E-mail: [†]{la-yu,amagasa,uemura}@is.aist-nara.ac.jp, ^{††}yosikawa@itc.nagoya-u.ac.jp

あらまし モバイル端末を対象とする情報配信手法が近年よく研究されている。その多くは、モバイル端末の消費電力、CPU 能力、メモリ容量などの制約のもとで効率的な情報配信を行う研究である。一方、我々は移動オブジェクトの特性に注目して、移動オブジェクトをグループ化することで効率的な情報配信を行う手法を提案してきた。本論文はさらに地理情報に詳細度 (Levels of Details; LoD) の概念を導入し、地理情報と移動オブジェクトの距離に応じて異なる粒度の情報を提示することにより、情報配信のさらなる効率化を目指す。さらに、移動オブジェクト速度を考慮した配信データのスケジューリングおよび、近隣する配信データを連続して配信できるようなスケジューリング方法を提案する。

キーワード 移動端末, LoD, 位置情報, 地理情報, 配信データ, 配信スケジュール

Broadcasting Geographic Information with Levels-of-Details to Moving Objects

Yong LUO[†], Toshiyuki AMAGASA[†], Masatoshi YOSHIKAWA^{††}, and Shunsuke UEMURA[†]

[†] Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology
8916-5 Takayama, Ikoma, Nara 630-0101, Japan

^{††} Information Technology Center Nagoya University
Furo, Chikusa, Nagoya 464-8601, Japan

E-mail: [†]{la-yu,amagasa,uemura}@is.aist-nara.ac.jp, ^{††}yosikawa@itc.nagoya-u.ac.jp

Abstract In recent years, information broadcasting techniques for moving objects have been studied well. Most of them concern efficiency of information broadcasting under restrictions, like power consumption, CPU capability, and memory capacity of mobile terminals. On the other hand, we have been working on a technique for performing efficient information broadcast by grouping moving objects considering the characteristics of such objects. This paper aims at further improvement of efficiency in information broadcasting by introducing the concept of LoD (Levels of Details) into geographic information, in that geographic data are represented with distinct granularities depending on distances between the data and moving objects. Furthermore, we propose two algorithms for scheduling broadcasted geographic data; One is based on speeds of moving objects, and the other is based on continuity of geographic data.

Key words Moving Object, Broadcast, Positional Information, Geographic Information, Grouping, LoD, Levels of Details, broadcast Schedule

1. はじめに

計算機の小型化、高性能化と無線ネットワークの普及にとともに、無線ネットワークを介した移動端末に対する情報配信が注目されている。今後は情報配信を受ける端末の数が急速に増加することが予想されるため、多数の端末に一括して情報を配信することのできるデータ放送が有効な配信手段である。例えば、さまざまな情報が地域全域に分布し、これらをデータ放送

により地域全体向け配信するという状況は今後一般的になると予想される。従来の研究では、(1) その地域に存在するすべての情報を配信することを想定し、放送の効率を上げるために配信する情報のスケジューリングを行う [3]~[5], (2) 移動オブジェクト側が配信された情報を受信する際、所望の情報だけを効率よく取り出す方法などが提案されている [2], [6].

しかし移動オブジェクトの観点からは、その近傍に関する情報だけが有用である。すなわち、すべての地理情報の中で移動

オブジェクトにとって必要であるのは一部だけである。よって移動オブジェクトに対してその近傍情報だけを放送すれば、十分であると同時に、放送側から見ても、配信すべきデータの量を削減することができ、結果として放送の周期を短縮することができる。このため我々は移動オブジェクトのグルーピングと、グループに基づいた情報配信手法を提案した [1]。

本論文では地理情報に、新たに詳細度 (Levels of Details; LoD) の考えを導入し、配信環境での更なる効率的な配信を目指す。具体的には、あるグループに配信する地理情報を考える場合、そのグループから近い位置にある情報は詳細に記述する。一方、そのグループから遠い情報に関しては詳細度を下げ、大まかな情報のみを配信する。これにより配信情報の効率化を図ることができる。

また、本論文では近傍情報を配信データとしてスケジューリングする 2 つのアルゴリズムを提案する。1 つはグループの移動速度を考慮したスケジューリングである。すなわち、高速に移動しているグループではデータ配信の遅延が大きなペナルティとなるので、このようなグループに対しては優先的なスケジューリングを行う。2 つめは同一のグループに配信すべき地理情報をできるだけ連続して配信するスケジューリングである。これにより、移動オブジェクトは自分が受信すべきデータを常に受信する必要がなくなり、消費電力を節約できるなどの利点がある。

本論文の構成は以下の通りである。2 章は本論文の基礎となっている前の研究 [1] を説明する。3 章で地理情報の詳細度を実現する手法を説明し、続いて 4 章は詳細度を導入した配信データの構築を述べる。そして配信データをスケジューリングする 2 つのアルゴリズムを 5 章に記述する。6 章は、主に 2 章で紹介した移動オブジェクトのグルーピングを検証評価する。7 章はまとめである。

2. 移動オブジェクトのグルーピングに基づく情報配信

我々の研究では、移動オブジェクトに対する情報配信環境の要件として以下の 2 つを仮定する。(1) 情報配信サーバは常に移動オブジェクトの位置、移動速度、移動方向の情報を得ることができる。仮に、ある時刻におけるデータが取れない場合、直前の時刻のデータを用いて推定することができる。(2) 移動オブジェクトは、情報配信サーバにより配信された地理情報に対してその地理情報を解析し、受信すべきかどうかを判断できる機能を持つとする。

[1] では移動オブジェクトの近傍に存在する地理情報を効率良く配信するため、移動オブジェクトを位置、移動方向、移動速度をもとにグループ化する手法を提案した。図 1 は提案手法による移動オブジェクトの管理方法を示している。もし移動オブジェクト間の距離関係だけに注目すれば、図 1(a) のように時刻 T_i において、2 つのグループ $\{a, b, c, d, e, f\}$ と $\{h, k\}$ に分けられる。しかし (b) が示している時刻 T_j ($T_i < T_j$) になると、グループ $\{a, b, c, d, e, f\}$ は大きく広がってしまい、それ以上一つのグループとして $\{a, b, c, d, e, f\}$ を管理することが難

くなる。むしろ各移動オブジェクトの向きと速度を考慮して、時刻 T_i において $\{a, d\}$, $\{c, b\}$, $\{e, f\}$, $\{h, k\}$ とグループ化することが適当で、時刻 T_j になっても、グループの構成の変動を抑えることができる。

このため本手法では、移動オブジェクトに対して位置、速度、方向という特徴量でクラスタリングを行う。これにより、互いに近接し、似た速度と方向を持つオブジェクトを同じグループに分類することができる (図 2(a))。提案手法では、各グループが速度と移動方向を持っていることが特徴である。このため、グループの速度に応じて、移動方向にある近傍情報を多めにとるように楕円形の間合せ範囲を決定することができる (図 2(b))。検索して得られた地理情報は木構造に組織化され、配信される。このためのアルゴリズムも提案した。

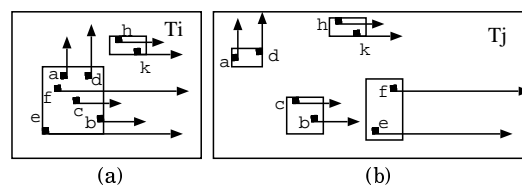


図 1 移動オブジェクトのクラスタリング

[1] では、移動オブジェクトのグループ化を行うには、時刻ごとに単純なクラスタリングを繰り返してグループ分けをするのではなく、クラスタ手法によって最初のグループ群を作成してから、その後の各時刻においては、グループ自身の面積による変化で、グループを維持更新していく方法をとっている。この方法に関する評価結果を 6 章に示している。

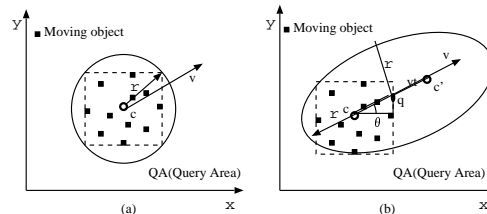


図 2 楕円間合せ範囲の生成

3. 地理情報への詳細度の導入

[1] では、あるグループに配信する地理情報をすべて同等に扱っていた。しかし、実際には地理情報の重要性はそれぞれ異なっていると考えるのが自然である。重要性の考え方には色々あるが、1 つの見方として距離を挙げることができる。すなわち、あるグループから近い位置にある地理情報は遠い位置にある地理情報に比べて、より重要であると考えられる。これは、3 次元グラフィックス分野における表示オブジェクトの詳細度 (Levels of Details; LoD) の考え方に似ている。このため、我々は地理情報の詳細度という概念を導入する。

具体的な例を図 3 に示す。図 3(a) の楕円はあるグループの間合せ範囲を示している。これを例えば、距離に応じた 3 つの区域に分けてみると、区域 “1” における地理情報は詳細度の最も

高いレベルで配信すべきであり、区域“2,“3”にいくにつれ、地理情報の詳細度を次第に減らして配信する。配信環境に詳細度を導入ことで、配信側から見れば、配信データ量を減らすことで配信周期の短縮につながる。移動オブジェクト側から見ても、遠くにある地理情報のデータ量が少ないので、端末の処理負担も減る。

図 3(a) の問合せ範囲は [1] に基づいているが、詳細度の考え方は、問合せ範囲の決め方とは無関係である。例えば図 3(b) は別の問合せ範囲を示している。このとき、区域“3”の面積が一番大きくなり、その範囲に含まれる地理情報の数が一番大きくなるのが予想されるが、詳細度を導入することによって、その量を抑えることができる。

ここでは、区域を 3 つのレベルに分けて説明したが、実際のシステム運用では、その区域の大きさ、提供する地理情報のデータ量、運用環境における移動オブジェクト側の処理能力などに応じて、区域の数を変更することが考えられる。

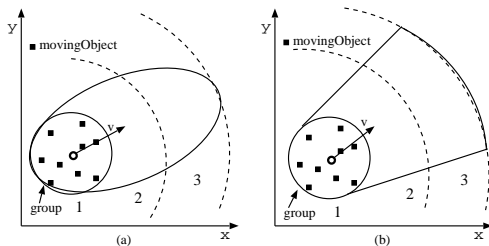


図 3 詳細度による地理情報の区域分け

3.1 実現方法

地理情報の詳細度を実現するためには、2 つの実現方法が考えられる。1) 予め地理情報を詳細度レベルに応じて準備して、地理情報データベースに格納しておく。2) 地理情報データベースには、オリジナルの地理情報と、詳細度に応じたデータを得るための変換手続きを格納しておく。

1) の方法では、最初に詳細度に応じたデータを作っておけば、後はデータベースから対応した詳細度のデータを取り出すだけでよいという利点がある。しかし地理情報自身や詳細度に頻繁に変更がある場合、その都度データを作り直す必要がある。2) の方法では、地理情報データをデータベースから取り出したとき、変換手続きを適用し、詳細度に応じたデータを動的に作る。サーバ側の負担が大きいかもかもしれないが、個々の詳細度に応じたデータを用意することを省ける上、データや詳細度の変更に対して柔軟性がある。

本論文では、2) の実現方法を念頭に説明を進めることにする。

3.2 記述方法

地理情報は XML 形式で記述され、データベースに格納されているものとする。このとき詳細度は以下の構造に従って記述する。

```
<!DOCTYPE LOD [
  <!ELEMENT LOD (level+)>
  <!ELEMENT level (#PCDATA)>
  <!ATTLIST LOD location ID #REQUIRED>
  <!ATTLIST level number CDATA #REQUIRED>
```

```
<!ATTLIST level type (XPath | XPath) #REQUIRED>
]>
```

変換手続きの中の level 要素には XPath 式、あるいは XPath 式を記述する。それらは詳細度に応じたデータを地理情報から取り出すための問合せ式である。各詳細度レベルのデータは、以下のようにして抽出する。

詳細度のレベルを $l = \{1, 2, \dots, n\}$ とし、詳細度 l の問合せ式を $q_l()$ とする。ここでは詳細度 l の地理情報を引数に取り、詳細度 $l+1$ の情報を返す関数として扱う。このとき、詳細度 l の地理情報 gd_l は、以下のようにして求める。

$$gd_l = q_{l-1}(\dots q_2(q_1(gd_1)))$$

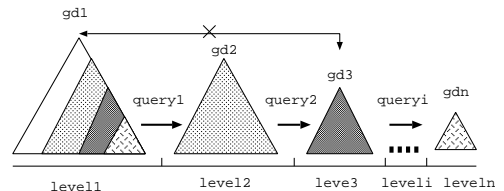


図 4 各詳細度の求め方

すなわち、図 4 が示したように、 gd_2 は、 $q_1(gd_1)$ により得られ、 gd_3 は、 $q_2(gd_2) = q_2(q_1(gd_1))$ により得られる。以下同様である。この規定により、ある特定の地理情報に関して、異なる端末が異なる詳細度のデータを要求する際に、要求されたものの中で最も詳細度の高いデータと、そこからの変換式だけを配信することによって、全ての要求に答えることができるという利点がある。

図 5 の地理情報を例にして説明する。これはある電器店に関する情報を表している。

```
<GeoInfo id="01">
  <ShopInfo>
    <shopname>奈良電器店</shopname>
    <address>生駒市高山町</address>
    <tel>(0743)72-XXXX</tel>
  </ShopInfo>
  <ItemInfo>
    <items name="CD">
      <Item>CD01</Item>
      ...
    </items>
    <items name="MD">
      <Item>MD01</Item>
      ...
    </items>
    <SaleInfo>
      <SaleItem>CD01値引き15%</SaleItem>
      ...
    </SaleInfo>
  </ItemInfo>
</GeoInfo>
```

図 5 sample.xml の地理情報

```
<LOD location="sample.xml">
  <level number="1" type="XPath">{
    /
  }</level>
  <level number="2" type="XPath">{
    FOR SInfo1 IN /GeoInfo/ShopInfo,
    SInfo2 IN /GeoInfo/ItemInfo
    RETURN
      (SInfo1)
      (SInfo2/items/@name)
      (SInfo2/SaleInfo)
  }</level>
  <level number="3" type="XPath">{
    FOR SInfo1 IN /GeoInfo/ShopInfo,
    SInfo2 IN /GeoInfo/ItemInfo
    RETURN
      (SInfo1)
      (SInfo2/SaleInfo)
  }</level>
</LOD>
```

図 6 sample.xml の LoD 記述例

この電器店に関する詳細度を次のように規定したとする。詳細度 1 では、店に関するすべての情報を提供すべく、店名、住所、電話番号及び商品に関する情報を配信情報とする。詳細度 2 では、店がある程度移動オブジェクトから離れているので、店名、住所、電話番号、商品の種類及びセールス情報に関する情報だけを配信すべき情報とすれば良い。詳細度 3 では、店名、住所、電話番号と客を引き寄せるためのセールス情報だけを配信すべき情報とする。

以上に基づき、図 6 のような記述ができる。ここで、詳細度

1の変換にはXPath式, 2,3にはXQuery式を記述している. 実際の処理の際には, データベースから, sample.xml とそれに対応する手続き式が一緒に取り出される. 図 3(b)の区域1内に位置している店の場合は, 詳細度1のlevel要素のXPath式をsample.xmlに適用し, その結果を配信データとする. 区域2, 区域3に位置していれば, それぞれ詳細度2, 3のlevel要素のXQuery式をsample.xmlに問合せして, その結果を配信データとする.

4. 配信データの構築

前節では, 地理情報の詳細度の実現方法および記述方法を述べた. ここでは, 実際に配信データを構築する方法について述べる. グループが複数である場合, 特に問題になるのは, グループおよびその問合せ範囲に重なり合いがある場合である. 図7に例を示して説明する. 図の中には3つのグループが含まれ, グループの問合せ範囲には重なり合いがある. 地理情報gi4はグループG1に対しては区域3に, グループG2に対しては区域2に位置する. 最も素朴な方法では, データgi4を2回配信すればよいが, 効率が悪くなる. 重なり度の合いが複雑になればなるほど非効率なのは明白である.

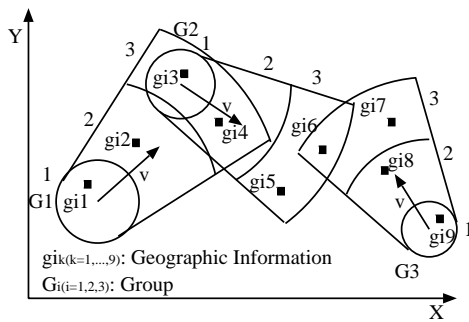


図7 グループの問合せ範囲の重なり合い

配信データの重複を解消するため, 次の方法を用いる. 各グループとその範囲内の地理情報との関係から表1の状態図を作る. これは各々の地理情報がどのグループ, どの区域に位置するかを表している. 次に表1に基づき, データベースから取り出された地理情報を次のステップで構築する.

表1 地理情報とグループ間の詳細度の対応

	G1	G2	G3
gi1	1		
gi2	2		
gi3	3	1	
gi4	3	2	
gi5		3	
gi6		3	3
gi7			3
gi8			2
gi9			1

(1) 地理情報が1つのグループにしか属さない場合, その詳細度に対応したデータに, グループの識別情報などを付加して配信データとする(図 8(a)).

(2) 地理情報が2つ以上のグループに属する場合, その中から一番高い詳細度の地理情報にグループの識別情報を付加した配信データに加えて, 必要な他の詳細度の情報を得るための手続きを付加する(図 8(b)).

そうすることで, 実際に配信されるデータ bgi1, bgi2, ... を得られる. 次の章で bgi1, bgi2, ... をどのようにスケジューリングするかについて述べる.

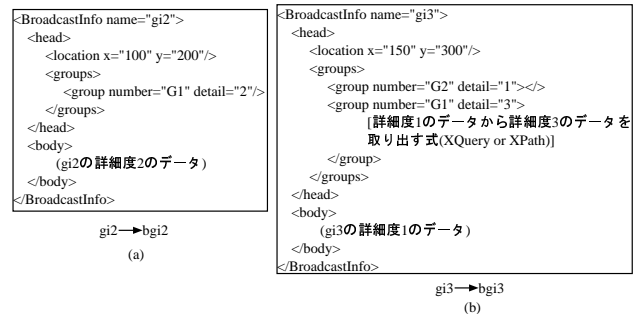


図8 配信データ

5. 配信データのスケジューリング

ここでは, 速度とデータの連続性の観点から2つのスケジューリングアルゴリズムを提案する.

5.1 速度によるスケジューリング

ある時刻の移動オブジェクトの位置に基づいて構築された近傍情報の配信が始められるとき, 速く移動する移動オブジェクトは, 自分がその位置からあまり離れていないうちに近傍情報を受信したいはずである. なぜなら, 移動オブジェクトがその位置から遠く離れていれば, その近傍情報は無意味なデータになってしまうからである. よって, 速度の速いものに対する配信データを優先的に配信することが速度によるスケジューリングアルゴリズムの基本的な考え方である.

(1) n 個のグループ $G_i (i = 1, \dots, n)$ の平均移動速度を $v_{ave}(G_i)$ とする. このとき, 最大の速度を $V_{max} = \max(v_{ave}(G_i))$ とする.

(2) $v_{norm}(G_i) = \frac{v_{ave}(G_i)}{V_{max}}$ を求める. 平均移動速度が最も大きなグループ G_i の $v_{norm}(G_i)$ は1で, 速度が低ければ低いほど, 1より段々小さくなる.

(3) このステップではグループ範囲内の配信データに対して重みを $v_{norm}(G_i)$ に基づいて与えるには2つの処理方法が考えられる. 1つは, 同一グループ範囲内であっても, 位置する区域により, 配信データに異なる重みを与える. これは, 同じグループ範囲内での配信情報に差別化を図るためである. 2つめは, 同一グループ範囲内のすべての配信データに同一の重みを与える.

(a) 同一グループ内に属するすべての配信データ $bgi_j (j = 1, \dots, m)$ には, bgi_j が属するグループ範囲内の区域により, 重みを

$bgi.weights = \{v_{norm}(G_i) * (1 + k * (1 - level)) \mid bgi \text{ が } G_i \text{ の詳細度の問合せ範囲に含まれる} \}$

により与える. ここで, $level \in \{1, 2, \dots, n\}, k < 1$ である.

これは同一のグループ内であっても、区域の差異により優先順位が付けられることを意味する。

(b) 同一グループ内に属するすべての配信データ $bg_{ij} (j = 1, \dots, m)$ には、

$bg_{i}.weights = \{w_{norm}(G_i) \mid bg_{ij} \text{ が } G_i \text{ の組合せ範囲に含まれる}\}$

により、重みを与える。

(4) よって、最終的に bg_{ij} の重み $w_{bg_{ij}}$ は、

$$w_{bg_{ij}} = H * \sum_{w \in bg_{i}.weights} w \text{ であり,}$$

H は、調節パラメータで、1 より小さい。つまり同時に幾つかのグループに属する bg_{ij} では、属するグループにおけるそれぞれの重みが合計される。

(5) 最後に、各配信データ bg_{ij} を $w_{bg_{ij}}$ でソートし、最も大きな値を持つものから順番に配信すれば良い。

以上のアルゴリズムによりスケジュールされた配信データは、速度の速いグループの範囲内の配信データであれば、優先的に配信されることが保証される。しかし、欠点としては、同一グループ内の配信データが配信周期内に分散してしまい、移動オブジェクト側が常に配信されるデータをチェックしなければならない。これは情報端末において電力資源の浪費を意味する。しかし、この欠点を改善することができる。すなわち、配信情報 bg を一定の長さを持つブロックに分ける。次に、各ブロックの前にそのブロックの配信情報が属するグループの識別情報を付加する。よって、移動オブジェクト側は、それぞれのブロック前の識別情報をチェックし、そのブロックを処理するかどうかを判断すればよく、全配信データをチェックする必要がなくなる。

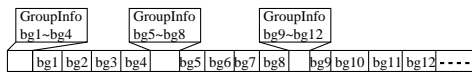


図9 配信情報の時系列

5.2 配信データの連続性によるスケジューリング

一方、同一グループ内に属する配信データであれば、できるだけ連続して配信することを実現するのが次のアルゴリズムである。図7を例にとりながら、アルゴリズムを説明する。

(1) 4章では、各地理情報とグループ $G = \{G_1, G_2, \dots, G_n\}$ との相関関係についての状態表を作ると述べた。その状態表から地理情報 $gi = \{gi_i \mid i = 1, \dots, m\}$ が属するグループの情報を統計する。 $gi_i \rightarrow \{G_j \mid gi_i \in G' = \{C_1, \dots, C_k\}\}$ 、ここに、 $G' \subseteq G$ である。よって、 G' は、属するグループの組合せの種類を表している。図7であれば、9個の地理情報に対して所属するグループの組合せには、(G1), (G1,G2), (G2), (G2,G3), (G3) の5つの組合せがあることが分かる。この情報をもとに、表2を得る。“1”のセルはそのグループに属していることを意味する。“0”のセルはそのグループに属さないことを意味する。

(2) 次に $G' = \{C_1, \dots, C_k\}$ の要素である各組合せ間のハミング距離 $D = \{d_{C_1 \& C_2}, \dots, d_{C_{k-1} \& C_k}\}$ を求める。表2のようである。 $V = (C_1, \dots, C_k)$ を頂点とし、 $E = (D)$ を各辺

表2 組合せの数と状態

	G1	G2	G3
(G1)	1	0	0
(G1,G2)	1	1	0
(G2)	0	1	0
(G2,G3)	0	1	1
(G3)	0	0	1

の重みとして、完全グラフ $Graph = (V, E)$ を構築する。図10は、図7の例を表現している。

(3) D から、距離が最も離れている2つの組合せから、1つを始点とし、完全グラフ $Graph = (V, E)$ の最短路を求める。例えば、図10の場合、(G1)を始点とすれば、最短路は、(G1) \rightarrow (G1,G2) \rightarrow (G2) \rightarrow (G2,G3) \rightarrow (G3)となる。最後に図11のような木構造を持った配信データソースを構築する。木構造であるので、移動オブジェクトが相応のノードを探索すれば、自分の近傍情報を取り出せる。配信側から見れば、同一グループに属する配信データを高い確率で連続配信することができる。(図11)

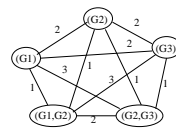


図10 組合せの完全グラフ

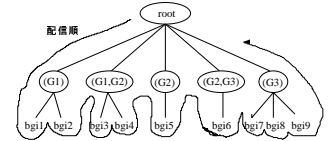


図11 Tree 構造をもつ配信データソース

実際に図11の木構造の葉に並んでいる配信情報に対しては、並び方をもっと最適化を図ることができる。それは、前節で配信データに与えた数値を用いて、各組合せノードの下に入っている配信データを数値順で並べれば、速度の速い移動オブジェクトから優先的に配信できるようになる。

6. 端末のグループ化による効果の検証

2章で説明した端末のグループ化手法を実装して効果を検証したので、ここではその実験結果について報告する。

6.1 移動オブジェクトモデル

本実験では、移動オブジェクトを以下のように想定した。ある一定範囲の地域を仮定し、移動オブジェクトはその領域に、ランダムに入ったり、出たり、そしてその地域内に突然現れたり、消えたりする。これは、端末の電源のON/OFFに対応する。オブジェクトの移動方向はランダムに設定し、その速度は、低速、中速、高速(それぞれ、歩行者、自転車、自動車を想定)の三段階とした。

6.2 パラメータ

実験では、国土地理院が発行した空間データ基盤“数値地図2500”(奈良)を用いて、12km \times 12km 大きさ実験用の区域とした。12km \times 12km の正方形は、奈良市の大半、天理市の一部を含めることができるので、地理情報配信エリアとして、その大きさは適当と考える。地理オブジェクトの配置も、このデータに従った。

区域内の移動オブジェクトの行動は、前述の移動オブジェク

トのモデルに基づきシミュレートした。なお、移動オブジェクトの最大速度は 40m/s である。またすべての移動オブジェクトは同時に生成されたのではなく、ランダムに異なる時刻に生成、消滅させた。実際に我々は、 $movingobjects = \{100, 500, 1000\}$ の 3 つのセットで、移動オブジェクトを生成し、実験を行った。図 12 は、3 つのセットが実際にグループを生成する時点におけるオブジェクト数の変化を表している。図からも分かる通り、ある時点ですべての移動オブジェクトが現れているとは限らない。

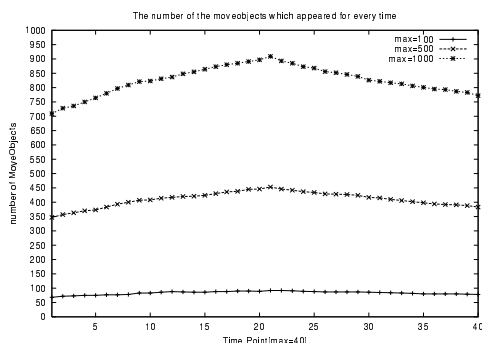


図 12 グループ生成時刻における移動オブジェクトの数

移動オブジェクトの軌跡データは、位置情報、速度、方向値をデータベースに格納しておく。実験では、10 単位時間ごとにグループ形成を行った。グループ化を行う回数は 40 回とした。その根拠は、領域を 12km に設定していると、いったん出現した移動オブジェクトが高い確率で領域外に出ていくことが観察されたためである。なお、今回の実験では、一旦区域を出たオブジェクトが再び領域内に戻ってくる状況は考えていない。

6.3 評価

単純なクラスタリングの繰り返しでグループを生成すると、計算コストが高いばかりでなく、グループそのものを維持していないために、グループを新たに生成するたびに、端末が所属するグループが変わる可能性がある。よって、移動オブジェクトに割り当てたグループ識別などの情報も更新頻度が高い。これは情報を配信する側、移動オブジェクトの側の両方の負担になると考えられる。このような観点から、一旦形成されたグループに大きな変化が生じなければ、そのまま維持していくことが望ましいと考え、我々は、グループを包囲する MBR(Minimum Bounding Rectangle) 比較によるグループ維持更新手法を提案した [1]。図 13 が MBR による比較を示している。つまり次のグループを生成する時点 t_2 において、もし t_1 ときの MBR より、あるしきい値を越え、大きくなれば、そのグループから、大きく外れた移動オブジェクトだけを取り除き、グループを維持する。前時刻のグループに含まれた移動オブジェクトがそのまま、グループ識別情報などを継承することができる。以降実際に MBR によるグループの維持更新が効率的かどうかを検証するため、単純なクラスタリング手法によるグループ化と MBR によるグループ維持更新手法を比較する。以下に、前者を CG(Grouping by clustering) 手法、後者を AG(Grouping by Area) 手法と呼ぶ。

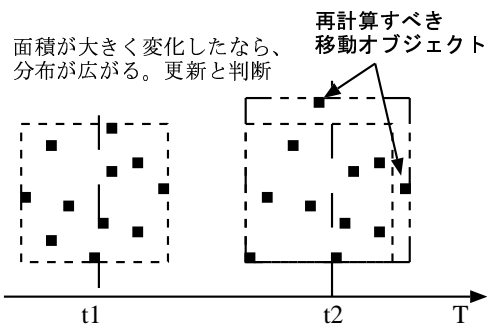


図 13 面積による更新の判断

(1) しきい値

まず、CG 手法について、しきい値を $THRE = \{0.1, 0.2, \dots, 1.6\}$ と変化させたときに生成された平均グループ数の変化を観察した (図 14)。

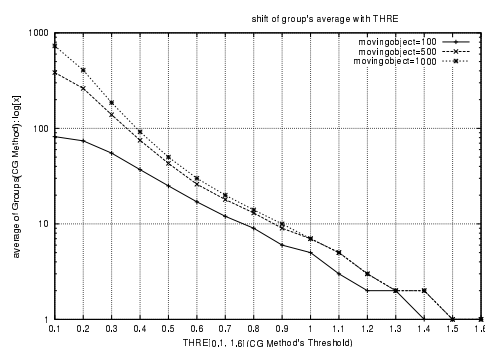


図 14 しきい値 THRE におけるグループ平均数の変化 (CG 手法)

THRE.0.1 のとき、形成されたグループ数はオブジェクトの総数とほとんど変わらず (図 12)、各グループには 1 つのオブジェクトしか含まれないことが分かる。すなわち、グループの効果がほとんどないことが分かる。THRE が増えるにつれ、グループの効果が現れるが、しきい値 THRE.0.6 からは、グループの数が極端に少なくなり、THRE.1.2 からほぼ 1 つのグループになってしまう。

ところで、我々が提案している AG 手法では、最初のステップにおいて CG 手法を利用したグループ形成を行っているため、適当なしきい値 THRE を決めることが重要である。さらに、AG 手法においてグループを更新する際にも、最も外れたオブジェクトを次にどのグループに所属させるかを判断するためにしきい値 THRE を利用しているため、THRE は慎重に選ぶ必要がある。

次は、異なる THRE で AG に対する影響を見る。ここで AG 手法における新たなパラメータを導入する。すなわち、グループを更新する際の MBR の面積比のしきい値 $THRE_{embr} = \frac{MBR_{t_i-1}}{MBR_{t_i}}$ である。ある時点における面積が、直前の時点に比べてしきい値以上に大きくなった場合に、そのグループを更新の必要ありと判断する。実験では $THRE_{embr} = \{0.1, \dots, 0.9\}$ を用いた。

THRE を $[0.1, 1.6]$ に変化させ、1 つの THRE に対して、 $THRE_{embr}$ を $[0.1, 0.9]$ の間に変化させて得られたのが図 15

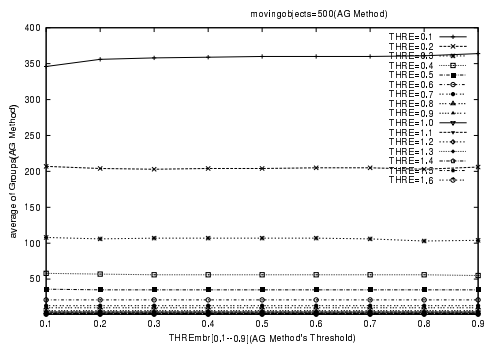


図 15 しきい値 THREmbr によるグループ平均数の変化 (AG 手法)

である．図から，いくら THREmbr が変化しても，グループの平均数はあまり変わらないが，THRE が小さくなるにつれ，AG 手法のグループの数が増える傾向にあることが分かる．このことから，CG 手法による最初のグループ形成は，AG 手法の後のグループ形成に影響していることが分かる．

一方，図 15 からいくら THREmbr が変わっても，グループの平均の数は，同一の THRE に対して，ほぼ同じである．このことから，いったん THRE によるグループ群が決められたら，AG 手法は，ほぼそのグループ数を維持していることが分かる．

以上のことから，AG 手法において重要な役割を果たすしきい値は THRE であることが示唆された．これは，グループに含まれる移動オブジェクトの数，グループがカバーする範囲の大きさに応じておおまかな値を決めることができる．

(2) グループ数の比較

図 16 では，同一のしきい値を与えた時の AG 手法と CG 手法とで生成されたグループ数の変化を示している．パラメータは $movingobjects = 500$ ， $THRE_{CG}$ が $[0.3, 0.5]$ ， $THRE_{mbr_{AG}}$ が 0.9 である．この図から分かるように，CG 手法と AG 手法では生成されたグループの数が異なる．時点 t_2 以降においては，CG 手法に比べ AG 手法の方ではグループ数が少なくなっている．

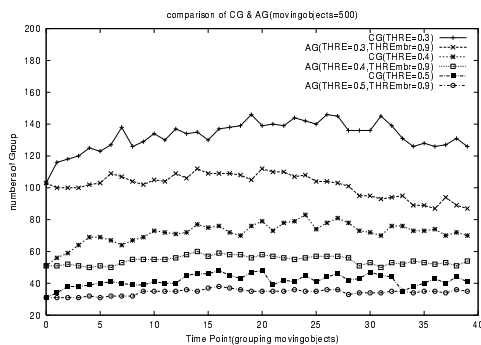


図 16 グループ数の比較 (CG : AG, movingobjects=500)

図 17 は図 16 と同じ条件設定の元で，生成された MBR の面積を比較したものである．AG 手法の方ではグループの平均 MBR が CG 手法より大きい．すなわち，AG 手法ではグループの数が少ない分，相対的にその平均 MBR が大きいと言える．

さらに詳しくデータを分析すると，CG 手法では，1 つの移

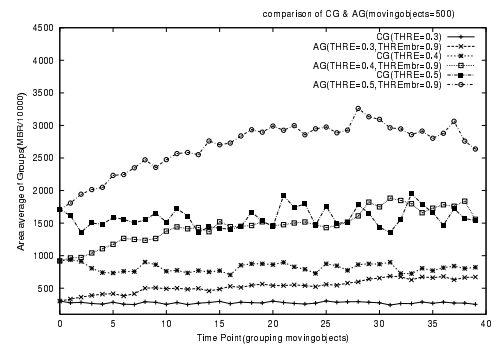


図 17 グループの MBR の比較 (CG : AG, movingobjects=500)

動オブジェクトをしか含まないグループの割合が，AG 手法に比べて多いことが分かった．オブジェクトを 1 つしか含まない MBR は面積が 0 であるため，MBR の平均面積の差がより顕著となる．表 3 に，移動オブジェクトを 1 つしか含まないグループ数を示した．

表 3 移動オブジェクト 1 つしかないグループの数 (CG : AG)

movingobjects=100	CG(total)	AG(total)
THRE.0.3, THREmbr.0.9	1330	795
THRE.0.4, THREmbr.0.9	515	319
THRE.0.5, THREmbr.0.9	207	130
movingobjects=500	CG(total)	AG(total)
THRE.0.3, THREmbr.0.9	1198	750
THRE.0.4, THREmbr.0.9	314	192
THRE.0.5, THREmbr.0.9	112	53
movingobjects=1000	CG(total)	AG(total)
THRE.0.3, THREmbr.0.9	957	647
THRE.0.4, THREmbr.0.9	222	155
THRE.0.5, THREmbr.0.9	65	62

この比較から，AG 手法では面積が 0 のグループの生成を抑え，他のグループに含める効果があることが分かった．これにより，わざわざ 1 つの移動オブジェクトしか含まないグループのために配信情報を用意するオーバーヘッドを避けることができる．

(3) AG 手法の維持更新

図 18 は，AG 手法において，グループの更新の際にグループからはみ出し，再計算により別のグループに吸収されたオブジェクトの数を示している．これは，グループ維持更新のコストを表していると考えられる．ここで，CG 手法ではグループの維持更新に特別な配慮をしていないため，全てのオブジェクトに関して再計算を行っている．パラメータは， $THRE.0.4$ ， $THRE_{mbr} = 0.1, \dots, 0.9$ である．

図より， $THRE_{mbr}.0.9$ のとき，すなわちグループの更新頻度が最も高い場合であっても，再計算される移動オブジェクトの数は，平均 34.5 個であり，最大のもときでも 53 個であった．移動オブジェクトの総数平均は 410 個に対して，再計算される移動オブジェクトの割合は，8.4% であるので，十分容認できる範囲と考えられる．しきい値 $THRE_{mbr}$ が 0.8 以下になると，再計算される移動オブジェクトの数に変化がなくなりほぼ一致し

てしまう。これは、しきい値が低くなると、グループの範囲が段々広くなるためである。提案手法において、累積面積が一方的に膨らむことを防ぐため、グループの面積が最初状態の1.5倍になったときにそのグループを再計算するようにしている。よって、 $1/1.5 \approx 0.6$ なので、THREmbrが0.6に達していなくても、グループを解散し再計算してしまうからである。

更新された移動オブジェクトの数が少ないことから、AG手法は効率良くグループを保つことができることが分かった。

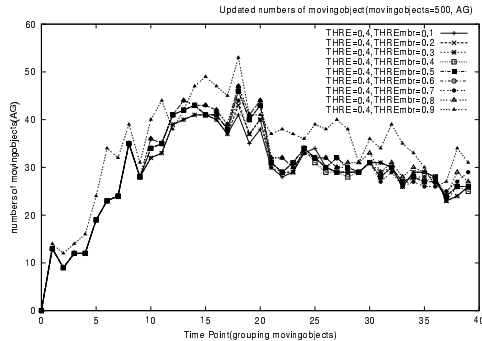


図 18 再計算の必要な移動オブジェクトの数 (AG 手法)

ここまで、例を挙げながら、CG手法とAG手法を比較した。 $movingobjects = \{100, 500, 1000\}$ の3つのデータセット全体において、以上に述べた傾向が見られる。

7. まとめ

本論文では、[1]で提案した移動オブジェクトのグループ化手法に地理情報の詳細度を導入した。さらに、移動オブジェクトの移動特性を考慮し、速度による配信データのスケジューリングと、各グループ範囲内に属する配信データの連続性を保つためのスケジューリングアルゴリズムを提案した。さらに、移動オブジェクトのグループ化手法を実際に評価し、その有効性を検証した。

今後は、今回提案した詳細度を導入した情報配信手法の実装、およびスケジューリングアルゴリズムの評価を行う予定である。

謝 辞

本研究の一部は、科学技術振興事業団 (JST) の戦略的基礎研究推進事業 (CREST) 「高度メディア社会の生活情報技術」プログラムの支援によるものである。ここに記して感謝を表す。

文 献

- [1] 羅勇, 天笠俊之, 吉川正俊, 植村俊亮, “移動オブジェクトに対する効率的な地理情報配信手法”, 電子情報通信学会 第13回データ工学ワークショップ (DEWS2002), 2002年3月4~6日.
- [2] Susanne Hambrusch, Chuan-Ming Liu, Walid G. Aref, Sunil Prabhakar, “Query Processing in Broadcasted Spatial Index Trees”, Advances in Spatial and Temporal Databases, 502–521, 2001.
- [3] S.-C. Lo, A.L.P. Chen, “Optimal index and data allocation in multiple broadcast channels”, Proceedings of 2000 IEEE International Conference on Data Engineering, pp.293–304, 2000.
- [4] 箱守聰, 田辺雅則, 石川裕治, 井上潮, “放送型通信とオンデマンド型通信を統合した情報提供システム”, 情報処理学会論文誌, Vol.40, No.10, pp.3772–3781, 1999.
- [5] chi-Jiun Su, Leandros Tassioulas, “Broadcast Scheduling for Information Distribution”, INFOCOM, pp.109–117, 1997.
- [6] Baihua Zheng, Wang-Chien Lee, Dik Lun Lee, “Search K Nearest Neighbors on Air”, MDM, 2003.