

屋内ナビゲーションのための地図データのレイヤ化

Layering of Map Data for Indoor Navigation

埜口 良太[†]

Ryota Noguchi

原田 史子[†]

Fumiko Harada

島川 博光[†]

Hiromitsu Shimakawa

1. はじめに

近年、高性能な携帯端末の普及により、携帯端末を利用したナビゲーションシステムが実用されつつある。このような状況の中、より充実したナビゲーションシステムの実現としてコンテンツの豊富さが重視されている。

実際の利用場面では、歩行者ナビゲーションシステムのユーザは車の移動と異なり、周囲の状況変化に敏感に反応すると考えられる。また携帯端末の急激な普及に従って、ユーザが計算機の扱いに不慣れな子供や高齢者までに広がり、よりきめ細かなサービスへの要望が高まっている。そこで、ユーザの目的や状態の変化を考慮した経路探索を行うことが求められている。

既存研究においても、災害時やショッピング時など、状況が特定されている屋内ナビゲーションが研究されている。しかし、周囲の状況やユーザの目的や状態の変化を考慮した屋内ナビゲーションを行うのに、どのようなデータが必要か、さらにそれらを用いてどのように経路探索を行うかに関しては、ほとんど研究が行われていない。

本論文では、周囲の状況変化やユーザの目的や状態の変化に対応した屋内ナビゲーションを可能にするために、ナビゲーション時に必要なデータをレイヤの重なりとして実装する手法を提案する。本手法を用いた屋内ナビゲーションシステムでは、建物内にはユーザの位置を特定するための装置と状況を把握するためのセンサが設置され、センサのデータを管理するサーバがあり、利用者は携帯端末を所持している環境を想定する。センサから建物内の状況を取得し、ユーザの携帯端末からはユーザの状況を取得してくる。サーバは、周囲の状況やユーザの状況を把握し、現在ナビゲーションにどのデータが必要であるかを決定する。サーバで必要と判断された各データは、レイヤとしてユーザの携帯端末に送られ、ナビゲーションに用いられる。状況変化のたびに必要なレイヤのみをナビゲーションに反映させることで、状況に応じたナビゲーションが可能になる。

本手法がユーザの負担を軽減できているかを検証するため、評価実験を行った。その結果、静的レイヤに対しては総合時間で、動的レイヤでは総合時間と切替え時間の双方で有用性を見出すことができる結果となった。

2. 屋内ナビゲーション

2.1 ナビゲーションシステムの種類

目的地までの経路案内をするために、ユーザのもつ携帯端末を利用したさまざまなナビゲーションシステムが開発されている。ナビゲーションシステムは、大きく分けて屋外用と屋内用とに分けられる。屋外ナビゲーション

システムでは携帯電話などの端末に搭載された GPS 機能で現在地を取得し、ナビゲーションを行う。代表的なものとしてカーナビゲーションシステムや携帯電話による歩行者ナビゲーションシステム [1] がある。屋外に対し、屋内ナビゲーションシステムは位置特定技術が確立されてないため、研究段階である [2]。

2.2 問題点と関連研究

現在研究されている屋内ナビゲーションシステムの例として、災害時における避難誘導や、対象商品の販売店舗への誘導がある。避難誘導では経路の危険度、ショッピング時では混雑度のように状況によりさまざまなデータが地図上に表現される。

これらのナビゲーションは状況ごとに扱うデータやデータ形式が異なるので個別にアプリケーションが実装されている。そのためユーザは状況が変わると別のアプリケーションを起動しなければならず、ユーザの負担が大きくなる。屋内ナビゲーションのユーザは歩行者であることが多い。歩行者にナビゲーション情報を提供する端末は携帯型で、かつ、歩行の邪魔にならない小型のものであることが望ましい。したがって端末の計算能力やメモリ容量は小さいことが想定される。このような端末を使用する場合、ユーザの状況が変化するたびに別のアプリケーションを起動するには、多大な時間を要する。必要なデータのみを選択して利用しなければユーザの利便性は大きく低下する。ユーザのコンテキストを考慮した経路探索アルゴリズム [3] の研究はなされているが、現在どんな状況で、どのようなデータを考慮すべきかといった、必要なデータだけを利用する技術は研究されていない。

3. 状況に応じた地図データの構築

3.1 提案モデル

ユーザ自身が状況を把握しアプリケーションを切り替えなければならないという問題を解決するため、各種データをレイヤ化することで、災害発生などの周囲の状況変化やユーザの目的の変化に対応した屋内ナビゲーションを可能にする手法を提案する。屋内ナビゲーションシステムでは、状況によってナビゲーション時に考慮されるデータは異なる。そこで、ナビゲーション時に必要な各データを1枚のレイヤとして実装する。状況に応じて、経路図のみをもつ地図に、必要なレイヤを重ね合わせ、不要なデータのレイヤを外すことを考える。これにより状況の変化に対応可能なナビゲーションが可能になる。

大型ショッピングモールにおいて、状況に応じたナビゲーションを提供する流れを図1に示す。本手法では、建物内にはユーザの位置特定装置と状況を把握するためのセンサが配備され、センサのデータを管理するサーバがある環境を想定する。また、建物内にいるユーザは携

[†]立命館大学 情報理工学部[†]立命館大学大学院 理工学研究科

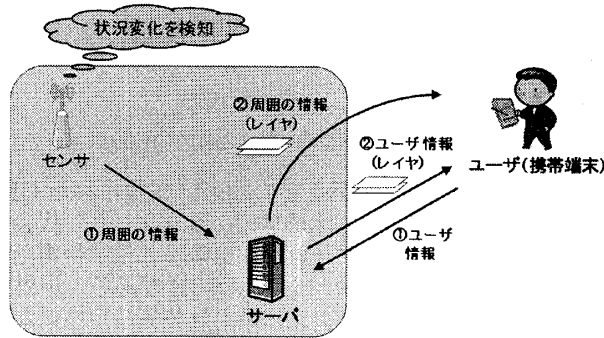


図1: モデル概要図

携帯端末を所持しているものとする。センサーで検知されたデータはサーバへ送られる。携帯端末はユーザの現在地を取得する。サーバでは、センサーから取得したデータやユーザの携帯端末から送られるデータを基に現在ユーザはどのような状況であり、どのようなデータがナビゲーションに必要なかを判断する。サーバで必要であると判断されたデータはレイヤとしてユーザの携帯端末へ送られる。経路探索時に、ユーザの携帯端末上で必要最小限のレイヤを用いて経路探索を行う。状況変化のたびに必要なレイヤのみをユーザの携帯端末に反映させることで、ユーザの状況に応じたナビが可能になる。

3.2 レイヤの種類と内容

本手法では、経路探索に用いられる各種データを地図に重ね合わせる1枚のレイヤとして考える。レイヤは地図レイヤと重みレイヤの2種類からなる。その概要を表1に示す。

レイヤの種類	レイヤの内容
地図レイヤ	建物見取り図を線分グラフ化
重みレイヤ	データの値が静的なもの
	データの値が動的なもの

表1: レイヤの種類と内容

● 地図レイヤ

地図レイヤとは、建物見取り図を線分グラフ化したものを指す。建物見取り図は通路とエリアからなる。エリアとは、部屋や店舗などの広さをもつ部分である。また、通路の交差部分も広さをもつエリアとして扱われる。建物見取り図の線分グラフ化の例を図2に示す。

線分グラフは3種類のノードとエッジで構築される。

- エリアノード…エリア内にひとつ置かれる
- エントランスノード…エリアの各出入り口にひとつ置かれる
- 通路ノード…通路上で、エリアの出入り口と接する位置に置かれる

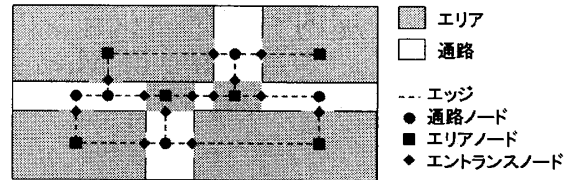


図2: 建物見取り図の線分グラフ化

通路やエントランスは幅を持たないノード、エリアは広さをもったノードとして区別される。

地図レイヤは、ユーザが建物内に入ったさいに取得される。

● 重みレイヤ

重みレイヤとは、経路探索時に考慮される通路の通りにくさを表現する。重みレイヤ内には、地図レイヤ上のノード間の各線分に対する重みが書き込まれている。各重みレイヤは、サーバで今現在必要なレイヤであると判断されれば、地図レイヤの上に重ねられる。例えば、買い物のためのナビゲーションのさいには、混雑度レイヤが必要であると判断され、地図レイヤの上に重ねられる。経路探索時に、重ねられた重みレイヤの重みを合成することで、最終的なノード間の重みを算出し、それを基にナビゲーションを行う。

重みレイヤは表1のようにデータの性質により、静的レイヤと動的レイヤの2種類に分けられる。

静的レイヤ

静的レイヤとは、重みに変化がないものである。スロープ、階段など段差情報や簡単な店舗情報などが例に挙げられる。静的レイヤはサーバに保持されていて、ユーザが必要に応じて取得する。

動的レイヤ

動的レイヤでは、その重みが時間とともに変化する。人の混み具合や災害時での経路の危険度などが例に挙げられる。センサーのデータからサーバが判断してレイヤを作成し、ユーザの携帯端末にこれを送る。

3.3 レイヤを用いた経路探索

経路探索時に、必要と判断されたレイヤは重ねられる。重みレイヤは、個人によってどの程度反映させればいいのか異なる。例えば、人の混み具合であれば、個人によって気にする度合いが異なる。このため、重みレイヤに柔軟性をもたせるために重要度を用いる。重要度は0~1の実数で表される。このように、重要度を持たせることで、人による補正を可能にする。また、重要度を用いることで、そのレイヤが必要であるかも表すことが可能である。重要度が0であれば必要でないレイヤであることを、重要度が0以外であれば必要であるレイヤであることを示すことができる。

各レイヤは経路探索の計算をするために、ひとつのグラフに合成される。本研究では、このグラフを経路グラフと呼ぶ。レイヤ i でのエッジ n に対する重みを w_{in}^i 、レ

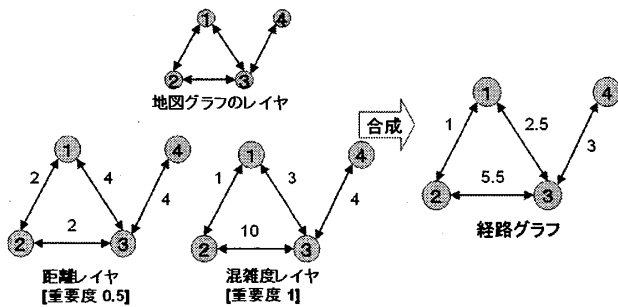


図3: 重みの計算

レイヤの重要度を l_i としたときの経路グラフ上のエッジ n に対する重みは (3.1) のように求められる。

$$\frac{\sum_{i=1}^k w_n^i l_i}{k} \quad (1)$$

図3は経路グラフへの合成方法の例を示したものである。図3では、距離レイヤと混雑度レイヤが重ねられている。このとき、距離レイヤ内のエッジ(1,2)の重みが2、重要度が1で、混雑度レイヤ内のエッジ(1,2)の重みが4、重要度が0.5であるとき、経路グラフのエッジ(1,2)の重みは $(2 \times 0.5 + 1 \times 1) / 2 = 1$ となる。

経路探索はユーザの現在地を始点、目的地を終点としてDijkstra法を用いて行われる。ユーザの現在地と目的地のノードの種類で始点と終点は変化する。目的地がエリアである場合、ユーザはそのエリアの出入り口まで案内される。ユーザの現在地がエリア内の場合、各出入り口から目的地までの経路探索が行われる。経路探索後、すべての出入り口からの経路に対する重みの和がユーザに知らされる。ユーザは経路と重みの和から任意の出入り口を選択する。

4. 評価

今回、ユーザがアプリケーションを手動で切り替える場合と、本手法のサーバ側で状況判断してレイヤを切り替える場合ではどちらが有用であるか検証する実験を行った。

今回の実験では、「ユーザの負担=切り替え時間」と考え、ユーザがアプリを手動で切り替える場合の時間とサーバ側で状況判断して動的にレイヤを切り替える場合の時間を計測した。計測した時間を比較することにより、本システムの有用性を検証した。

本実験では、状況が変化した時点からユーザに経路が提供されるまでの時間を計測した。本システムでは、静的レイヤと動的レイヤとではレイヤを取得する手順が異なる。このため、本実験では新たに必要になるレイヤが静的レイヤの場合と動的レイヤの場合の2つに分けて実験を行った。

4.1 静的レイヤ

シナリオとしてある利用者が、友達と待ち合わせをした後、友達と買い物をするを想定する。本シナリオでは、友達と買い物し始める瞬間から、ユーザに店舗案内

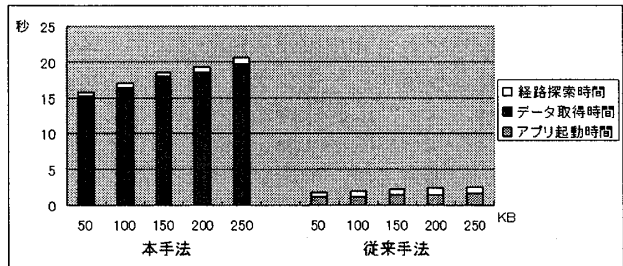


図4: 実験の結果1

内を行うまでの時間を比較した。サーバ側で状況判断してレイヤを切り替える本手法の場合では、地図レイヤ、距離レイヤを取得済みの状態から新たに店舗情報レイヤを取得して店舗案内をすることとなる。計測すべき時間は、ユーザが携帯端末からサーバへリクエストを送信してから、店舗案内が開始されるまでの時間となる。

ユーザがアプリケーションを手動で切り替える場合では、扱うデータが静的なデータのみであるため、すでに携帯端末のディスク内にあると考えられる。そのため、新たなデータを取得せず、携帯端末内にあるデータのみで店舗案内をすることとなる。ユーザがアプリケーションを手動で切り替える場合では、ユーザによる店舗案内ナビゲーションの起動から、店舗案内が開始されるまでの時間となる。これらの時間が建物のサイズによりどのように変化するか計測した。

4.2 実験結果

実験結果を図4に示す。図4は縦軸に切り替えにかかった総時間を、横軸に地図レイヤのサイズを表し、左側が本手法、右側が従来手法になっている。図4に示すように、本手法では新たに取得するレイヤ（店舗情報のレイヤ）があるため本手法がレイヤ取得時間の分、時間がかかったという結果となった。

図4は状況変化の際の切り替え時間のみを表している。このため、すでに携帯端末の内にデータが存在していると想定している従来手法では、状況変化の際に新たにデータを取得する必要はない。しかしながら、従来手法もあらかじめデータを取得する必要がある。図4の切り替え時間から従来手法のデータ取得を加えた総時間を図5に示す。総時間での比較では本手法の方が短時間なため、本手法は有用であるといえる。

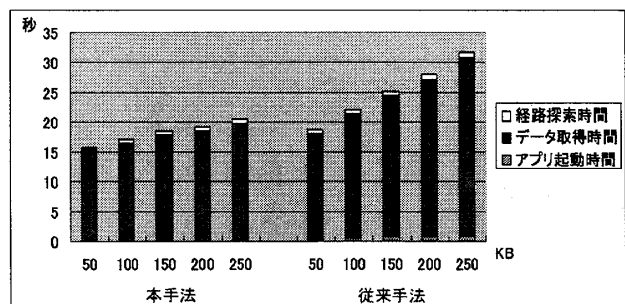


図5: 実験の結果2

4.3 動的レイヤ

シナリオとしてある利用者が、目的地へ行く途中で火災が発生したと仮定する。本シナリオでは、火災が発生した瞬間から、ユーザに避難経路が提供されるまでの時間を比較した。サーバ側で状況判断してレイヤを切り替える本手法の場合では、地図レイヤ、距離レイヤを取得済みの状態から新たに危険度レイヤを取得して避難経路を提供することとなる。計測する時間は、サーバからユーザの携帯端末への危険度レイヤの送信開始から、避難経路提供までとなる。

ユーザがアプリケーションを手動で切り替える場合では、火災が発生した際に、ユーザは新たに避難誘導用のアプリケーションを起動させる。このため、本手法ではすでに取得済みである地図などの静的なデータも取得する必要がある。ユーザがアプリケーションを手動で切り替える場合では、ユーザによる避難誘導ナビゲーションの起動開始から、避難経路提供までの時間となる。これらの時間を建物のサイズを変化させて計測した。

4.4 実験結果

実験の結果を図6に示す。図6は縦軸に切り替えにかかった総時間を、横軸に地図レイヤのサイズを表し、左側が本手法、右側が従来手法になっている。本実験では、両手法とも新たにデータが必要になる。新たに必要データが危険度のレイヤのみである本手法に対し、アプリ自体を切り替えるため全データが新たに必要になる従来手法との差は図6のようになった。これは、取得するデータ量の差が総時間の差に大きく影響したといえる。このためデータのサイズが大きくなるほど、切り替えにかかる時間の差は大きくなる。これは火災などの緊急事態では致命的な差となる。例えば、実際の火災時などの緊急事態では、避難誘導ナビゲーションを新たに起動させる余裕がない場合も考えられる。この場合、ユーザは避難に時間がかかるもしくは、安全に避難できないこと予想される。これに対し、本手法では、通常時から起動さえさせていれば、アプリケーションが火災時にも対応してくれるため、安全に避難できると考えられる。このことから、新たに必要となるデータが動的である場合では本手法のほうが有用であるといえる。

5. 考察

状況別に異なるアプリケーションとして実装されている現状は、言い換えればある状況に特化したアプリケーションとして実装されていると言える。これらは、ある

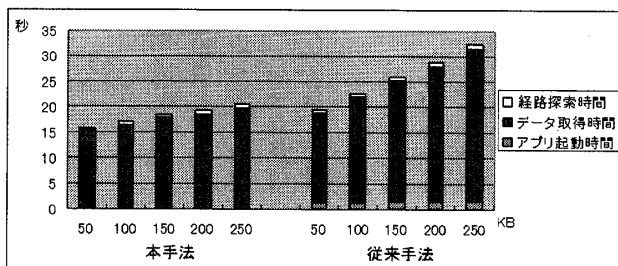


図6: 実験の結果

状況下では最適なナビゲーションを提供できるが、状況変化のたびにユーザが最適なアプリケーションに切り替えなければならないといった問題がある。本論文で提案したシステムでは建物内にあるサーバが状況を把握し、反映させるため、ユーザがアプリケーションを切り替えずとも、その状況に合ったナビゲーションの提供が可能である。前章で述べた実験は、本手法の有用性を証明している。動的なレイヤに対する実験では切り替え時間を大幅に短縮できた。静的なレイヤに対する実験でも総合時間で有用性を見出すことができる。

静的なレイヤの取得が必要になる場合では動的なレイヤの取得が必要になる場合と比べて緊急性が低いと考えられる。そのため、本手法はユーザ自身による切り替えよりも有用であると考えられる。また、ユーザのスケジュールに合わせて事前にレイヤを取得できるようなシステムを実装すれば、静的レイヤの場合において総合時間だけでなく、切り替え時間でも本手法の有用性は証明できると考えられる。

6. おわりに

本論文では、屋内ナビゲーションにおいて、周囲の状況変化やユーザの目的や状態の変化に対応可能にするために、ナビゲーション時に必要な各データを1枚のレイヤとして実装する手法を提案した。ユーザは、周囲の状況や自身の状況が考慮されたナビゲーションが提供されるため、自らが状況を判断し、アプリケーションを切り替える負担を軽減できる。

本手法の有用性を検証するため、ユーザの負担を軽減できているかを評価する実験を行った。実験の結果、動的なレイヤに対する実験では切り替え時間で有用性を証明できたのに対し、静的なレイヤに対する実験では切り替え時間ではなく総合時間でなら有用性を見出すことができる結果となった。

今後は、今回と異なる指標で実験、評価を行うことで、手法の向上を行う予定である。

参考文献

- [1] au by KDDI: EZ ナビウォーク,
http://www.au.kddi.com/ez_naviwalk/.
- [2] 櫻木伸也, 峰野博史, 水野忠則: 無線LAN環境を想定した屋内向けナビゲーションの検討, 情報処理学会研究報告[電子化知的財産・社会基盤], pp.13-18(2007).
- [3] 上田真由美, 西出亮, 日裏博之, 川端将之, 上島紳一. 利用者コンテキストウェアな歩行者ナビゲーションシステムの提案と利用可能性, 日本データベース学会 Letters Vol.4, No.1, pp.65-68