

単位セル構造と走行実績を用いた地図生成方式の提案と経路探索への適用

The development of the cell-based map generation algorithm from probe data
and its application to quasi-optimal routing

村田 大輔^{*†}

Daisuke murata

横田 孝義^{*‡}

Takayoshi Yokota

1 はじめに

1.1 経路探索における従来手法

経路探索技術は様々な分野で広く応用されている。特に我々が身近に利用するものとしては、カーナビゲーションシステム (以下単にカーナビと略記) の目的地案内がある。カーナビの経路探索の手法は様々だが、利用者に最適な経路を提示する代表的な手法としてダイクストラ法¹⁾²⁾が挙げられる。また、近年は実際の走行実績 (本論文における走行実績とは、走行した際に取得した位置情報や時刻等が記録されたプローブ情報のことである。以下単に走行実績と記す) を収集し、それを用いた経路探索の研究が盛んである。³⁾ 実際の走行実績を用いることにより探索時間の短縮や、より最適な経路を提供することが狙いである。しかし、このように走行実績を用いて経路探索を行う場合、取得したプローブ情報を既存のデジタル地図にマップマッチングさせる必要がある。⁴⁾ マップマッチングに関する研究は数多く行われてきたが、都市部の密集道路等ではまだマップマッチングの精度に課題がある。⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾ 従って、経路探索を行う以前に走行実績を反映した地図作り自体が困難な課題である。

1.2 多機能携帯の普及を利用した新手法

一方、近年 GPS や加速度センサが標準搭載されたスマートフォン (以下単にスマホと略記) が普及している。⁹⁾ これにより、個人が走行実績を記録することが非常に容易となった。そこで本論文では従来の地図作成手法に囚われない新しいアプローチとして、T.Yokota らが提案したセルによる集計方法¹⁰⁾をベースにしたセルマッピングという経路探索が行い易いデジタル地図作りの手法を提案する。本手法は既存のデジタル地図は用いず、計測した走行実績を用いてデジタル地図を作成する。走行しさえすれば地図を作成できるので、地図や道路自体がない地域においても有効である。また、デジタル地図を作成する際に、独自のセルという単位を用いる。作成するデジタル地図は地図全体に双方向の重み付き有向グラフを一定距離間隔にもつフォーマットであり、後述するように経路探索に適した形状である。従来はデジタル地図

を作成する際、ノードやリンクの定義という膨大な作業が伴い、マップマッチング処理とその精度向上の検討も必要であった。¹¹⁾ しかし、本手法を用いることで地図作成と同時に自動でノードとリンクの定義を行い、かつマップマッチングは不要となる。また、本手法を用いて作成したデジタル地図は実際の走行実績を反映しており、現実を反映した最適な経路を求める探索処理に適したプラットフォームである。そこで、本論文では更に本手法の適用例として走行実績を活用した際の経路探索結果と、単純な最短距離の経路探索結果を比較する。

以降、2章で提案手法であるセルマッピングについて述べ、3章でその適用例を示す。4章で本手法を用いた経路探索適用について述べ、5章で実際の探索例を示す。最後に6章でまとめとする。

2 セルマッピング手法のアルゴリズム

本論文では、2次元の平面座標を対象として、デジタル地図を作成しノードとリンクを生成するセルマッピング手法を扱う。ここで、セルとは対象領域を一定間隔で区切った正方形の最小単位のことである。セルのサイズは任意に決めることができる。本論文では、セルの1辺の距離は全て20mとした。これは、GPSの測定誤差が最大20m程度である事を考慮した為である。

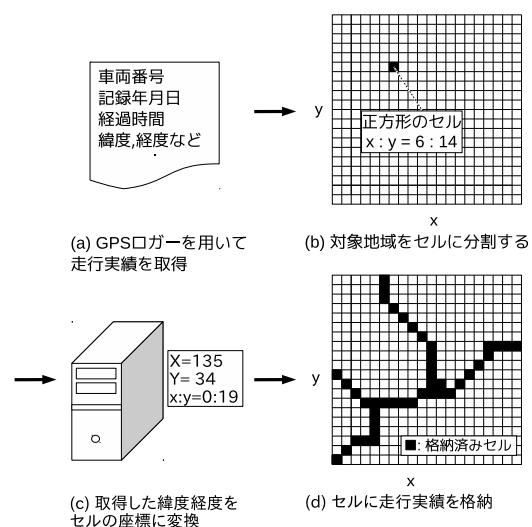


図 1 セルマッピング手法の適用プロセス

*鳥取大学大学院工学研究科情報エレクトロニク専攻

†E-mail: s092059@ike.tottori-u.ac.jp

‡E-mail: yokota@ike.tottori-u.ac.jp

図 1 に、セルマッピング手法の適用プロセスを示す。まず、(a) では GPS ロガー等を用い走行実績を n 秒おきに取得する。(b) 対象の地域をセルに分割する。適用例では、 20×20 (合計 400 個) のセルに区切りデジタル地図の基盤を作成する。(c) 計測した走行実績の位置情報を基に、対応する情報を格納すべきセルへ指定する。(d) 対応付けられたセルに走行実績を記録する。セルへのデータ格納例は、図 2 に示す。1 つのセルを本手法では、更に 8 方位に区切った。 n 秒後の位置情報の差から速度と方位を算出し、 n 秒後の対応するセルの方位に速度を格納する。最終的にセルには、各 8 方位の平均速度と走行台数及び、各 8 方位の走行台数を足し合わせた総走行台数を記録する。

作成したデジタル地図は図 3 のように格子状にノードとリンクを配置しており、双方向の重み付き有向グラフとして表すことが可能である。ここで、ノード数が増加することで探索対象が増加し、探索時間が膨大になる懸念が生じる。しかし、実際の探索では走行実績のない部分は探索をしないため探索時間は軽減される。つまり、探索をする際には走行実績のある部分だけで作成されたノードとリンクを用いたグラフとして見る事ができる。そして、このグラフを用いて経路探索を行う。

3 セルマッピング手法適用例

本章では、第 2 章にて説明したセルマッピング手法のアルゴリズムについて、実際の地図生成の流れに即して説明する。提案手法によるデジタル地図作成の流れは、

- (1) セル分割: 対象地域をセルに分割。
- (2) 速度ベクトル算出: 走行実績から速度と方位を算出。
- (3) データ格納: 取得した走行実績 (緯度・経度) を基に
対応セルにデータを格納。
- (4) 画面表示: ノードとリンクに紐付けられたセル情報を読み込み、画面に地図として表示。

という 4 つのプロセスで行った。なお、一連の処理は C 言語にて作成した。画面表示に関しては OpenGL を用いた。本論文では GPS によって記録した走行実績を用い、提案手法を適用しデジタル地図を作成する。

セルによるデジタル地図の分割は、標準地域メッシュを基準として行うものとする。標準地域メッシュとは、従来の紙地図及びデジタル地図データを作成する際の地図分割の規格 (JISX0410)¹²⁾ である。本来セル分割を行う際は、対象領域は自由に設定すれば良い。しかし、本論文では以下の 2 点から標準地域メッシュを用いた。まず、1 次メッシュが約 80km の正方形であることからセル分割の際に扱いやすい点。次に、統一規格を用いることで他の情報との融合がしやすい点である。

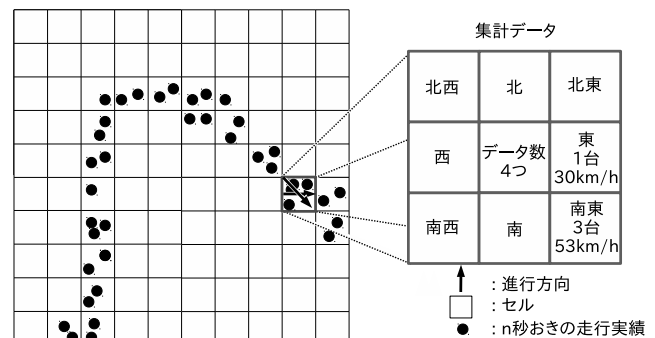
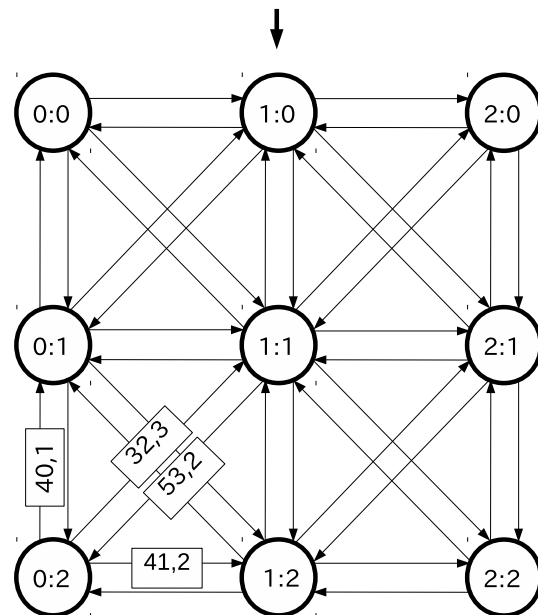


図 2 セルへのデータ格納例

34,2						39,1	
	0:0		42,1	1:0		2:0	40,1
		33,1		49,2		45,1	
			35,1	45,1	34,2		
	0:1			1:1		2:1	
			53,2	52,2			
	40,1	32,3		39,2			
	0:2	41,2		1:2		2:2	
50,2				38,2			

太枠のセルに書いてある数字は、 $x:y$ 座標及び時速、データ数とし空白には全て0が格納されている。



座標 $x:y=0:2$ セルの重み付け例

図 3 セルのリンク表現

前述の提案手法の 4 つのプロセスについて、鳥取市の走行実績を基に説明する。本論文で用いた鳥取市の走行実績は、1 次メッシュコード 5234,5334 に対応している。また、デジタル地図作成のために取得したデータは、2 名の約 100 時間分の走行実績である。まず (1) のセル分割では、2 つの 1 次メッシュを 1 枚のデジタル地図とする。緯度、経度の範囲はそれぞれ、 $34\text{度}40\text{分} \leq \text{緯度} \leq 36\text{度}$ の約 160km、 $134\text{度} \leq \text{経度} \leq 135\text{度}$ の約 80km である。本論文では第 2 章で述べた理由から、1 つのセルを 1 辺 20m の正方形とする。よって、緯度を 8000 分割、経度を 4000 分割とし、セルのインデックスを二次座標 (x,y) とおく。従ってセルのインデックスの範囲は、 $0 \leq x \leq 3999$ 、 $0 \leq y \leq 7999$ である。これを原点を北緯 36 度、東経 134 度とおき対応づけを行う。

次に (2) の速度ベクトル算出では、GPS ロガー (GT-120)¹³⁾ で記録した走行実績から現在と次の n 秒後のデータの位置の差から速度と進行方位を算出する。なお、本論文では、4 秒おきにデータを記録した。そして (3) のデータ格納では、(1) にて対応づけを行ったセルに対して (2) で算出した速度と方位及びデータ数を格納する。最後に (4) の画面表示では、左上を原点、右下を終点とし画面サイズに合わせて表示する。セルマッピング手法によって作成したデジタル地図は、図 4 である。このように、走行しさえすれば道路の形状が地図となって現れてくることがわかる。

3.1 ノードとリンクによるデジタル地図表現

図 5 にセルマッピング手法によって生成された、ノードとリンクに紐付けられたデジタル地図を示す。ノードとリンクを判別しやすいよう、図 4 の一部を切り出して拡大している。今回は全八方位で進行方位を分割したので、このように周囲八方向にリンクとして線が伸びている。ノード同士が繋がっていない点が見られるが、それは GPS の位置情報の取得周期が 4 秒おきであるため 20m セルを跨いで記録されているからである。従って、取得される情報量が増えることで改善されると推察できるため今回は問題としない。

ここで問題とされるのは、図 6 の左図で示されるような並行してリンクが現れる場合である。これは、地図の分割方位に対して緩やかに直進した際に起こる現象の為、図 6 の右図に示すようにリンクを追加することで対処する。リンクの追加方法は進行方位の前面 3 セルに自身と同一方向のノードがあるか調べ、あった場合のみリンクを追加した。この様に追加することで、道路ネットワークの整合性を保ちながらリンクの結合が行うことが可能である。

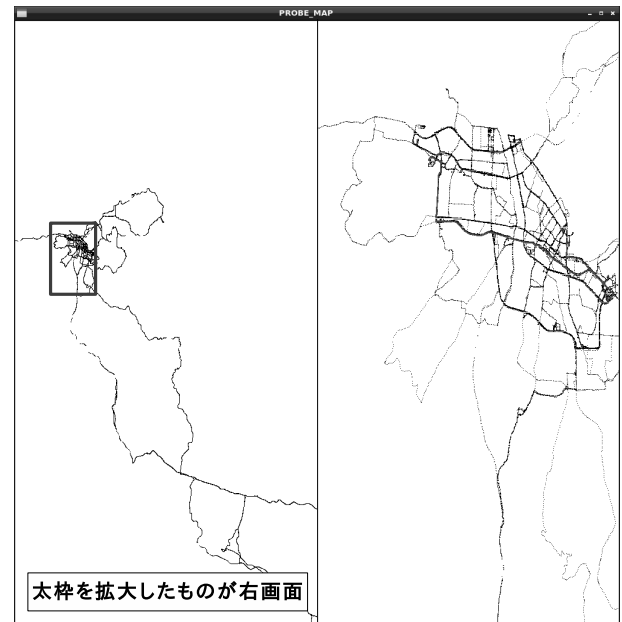


図 4 作成した鳥取のデジタル地図



図 5 ノードとリンクによって表されたデジタル地図

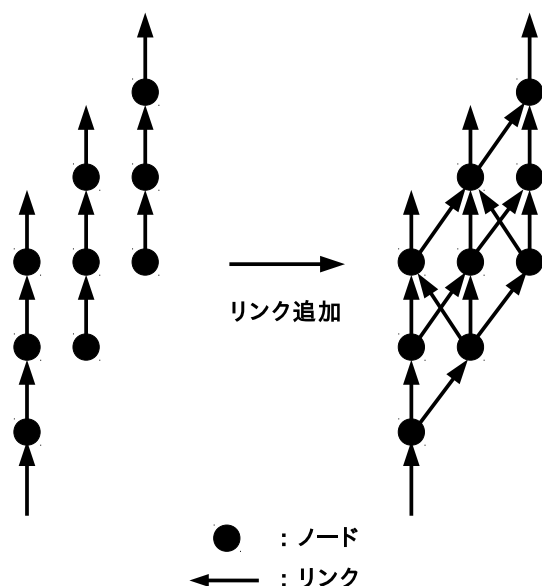


図 6 並行してリンクが現れる際の対処

4 セルマッピング手法を用いた経路探索手法

ここまで、セルマッピング手法について説明した。生成されたデジタル地図のセルには、速度や進行方位、車の台数で表現した走行実績が格納されている。これは、従来のデジタル地図にはない情報であり利用者に適した経路探索を行う上で有用な情報である。また、ノードやリンクを用いて表現しているので従来の経路探索手法をそのまま用いることが出来る。本論文ではこの情報を活かした経路探索の適用例として、最も一般的な探索アルゴリズムであるダイクストラ法を用いた例を示す。

4.1 ダイクストラ法の適用例

本章では、実際にセルマッピング手法によって生成した4の鳥取市の道路ネットワークを用いて本提案手法の有用性を示す。セルマッピング手法では、第2章で示したようにデータが格納されたセルを更に進行方位で分けた数だけノードが存在する。これは、交差点おきにノードが設置されるような一般的な道路ネットワークに比べ非常に多く、経路探索において組み合わせの爆発が懸念される。しかし、従来の道路地図をセルマッピングした際にノードが複数のノードに分岐するのは道路の性質上局所的であり、進行方位を制限しているため分岐数が全方位満たされることも稀である。よって、道路を走行していることを前提とすれば、組み合わせの爆発は起きにくく十分に従来の探索が行えると考えられる。ダイクストラ法を用いて、旅行時間が最小となるルートと、最短距離となるルートを7のようにそれぞれ求めた。

今回の探索では、最短経路は距離 7.92km で旅行時間 12 分 47 秒、最速経路は距離 8.44km で旅行時間 12 分 18 秒となった。従って、最短経路に比べ 500m ほど距離が長い最速経路のほうが結果的に 29 秒早く到着する。このように、距離が短いからといって旅行時間が必ずしも短くなるとは言えない。これは、実際のカーナビでのルート提供にもよく見られ、ドライバーに適したルート提供の難しさであると言える。本手法を用いることで、従来の距離ベースの経路探索とは違ったドライバーの走行実績を配慮したルート提供が行える。なお、使用したマシンは、Intel Core i7-3770 CPU @ 3.40GHz × 8, OS は Linux でディストリビューションは Debian(jessie) 64bit を用いた。探索時間は片道 10km 前後の区間で平均 1.4ms であった。このように、従来の探索手法をそのまま用いた走行実績ベースの経路探索を容易に行うことが可能である。また、本論文では経路探索時間の短縮を特に追求していないので、プログラムの実行時間に改善の余地はある。

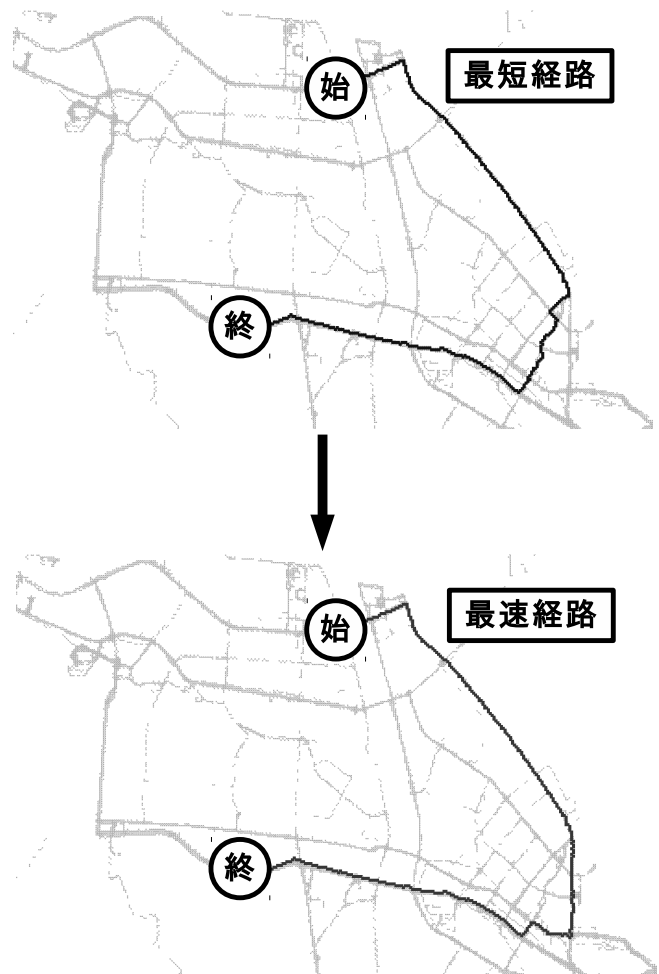


図7 ダイクストラ法による適用例

5 むすび

デジタル地図をセル分割することで、双方向の重み付き有向グラフを持つ経路探索に適した地図基盤を作成するセルマッピングという手法を提案した。この手法により従来のデジタル地図作成においてノードやリンクを定義するという手作業を自動化した。また、セルマッピングされた地図を用いた際の適用例として、ダイクストラ法による走行実績ベースの探索を行った。これは、本手法によって生成した実際の旅行時間が格納されたデジタル地図を、従来の経路探索手法によってそのまま探索することが出来る事を示し、本手法の有用性を示せた。従来のデジタル地図を用いず、実際に走行した鳥取市のデータを用いて重み付けされたノードやリンクのグラフを作成することができた。更に、このグラフを用いることで、走行実績に基づいた経路探索の例を示すことができた。本論文では、作成したデジタル地図を従来のデジタル地図とマップマッチングすることで、路線名称や車線数等の道路属性との関連付けが可能になるが、それに関しては今後の課題とする。また、従来の点情報のマップマッチ

ングと違い, 出来上がった地図は線または面なので大局的なマップマッチング手法となり処理しやすい。

参考文献

- 1) 狩野均. 遺伝的アルゴリズムを用いたカーナビのための経路案内方式. **情報処理学会研究報告**, pages 51–58, 2002.
- 2) 安井雄一郎, 藤澤克樹, 鳥海重喜, and 田口東. 大規模最短路問題に対するダイクストラ法の高速化 (最適化モデルとアルゴリズムの新展開). **数理解析研究所講究録**, 1726:62–72, 2011.
- 3) 玉井恭平 and 品川明雄. 位置情報ベースサービス基盤, 2011.
- 4) 横田孝義. 次世代交通情報通信システムを担うプローブ技術 (2. 活用事例, 小特集, 車と情報通信技術). **電子情報通信学会誌**, 95(8):718–723, 2012.
- 5) Takayoshi Yokota and Dai Tamagawa. Route identification of freight vehicle's tour using gps probe data and its application to evaluation of on and off ramp usage of expressways. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 39:255–266, 2012.
- 6) 三輪富生, 境隆晃, and 森川高行. プローブカーデータを用いた経路特定手法と旅行時間推定に関する研究. **第 2 回 ITS シンポジウム**, pages 277–282, 2003.
- 7) 高橋聡 and 泉隆. Ga を用いた旅行時間計測における車列評価へのレーベンシュタイン距離の導入. *Journal of Japan Society for Fuzzy Theory and Intelligent Informatics*, 20(1):134–140, 2008.
- 8) 池田博榮, 小林祥延, and 平野和夫. いかにしてカーナビゲーションシステムは実用化されたかー開発マネジメントと事業化について. *Synthesiology*, 3(4):292–300, 2010.
- 9) 総務省. 総務省平成 23 年度通信利用動向調査, 2011. <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/statistics/statistics05b1.html>.
- 10) Takayoshi Yokota and Dai Tamagawa. Constructing two-layered freight traffic network model from truck probe data. *International Journal of Intelligent Transportation Systems Research*, 9(1):1–11, 2011.
- 11) 一般財団法人日本デジタル道路地図協会. デジタル道路地図データベースとは, 2013. <http://www.drm.jp/database/structure.html>.
- 12) 総務省. 地域メッシュ統計. <http://www.stat.go.jp/data/mesh/>.
- 13) MobileAction. gt-120 の仕様. http://www.i-gotu.jp/?page_id=54.
- 14) 長崎大生 and 武井由智. ユークリッド平面上の積空比定数のエネルギー最小化車両経路問題の近似アルゴリズムについて (アルゴリズムと計算機科学の数理的基盤とその応用). **数理解析研究所講究録**, 1691:65–71, 2010.
- 15) 国土交通省. 道路実延長内訳の総括表, 2013. <http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-data/tokei-nen/2012/nenpo02.html>.