

刻々と変わる混雑状況に対応した経路探索手法*

菊川 侑起[†] 徳永 潤平[†] 榎原 博之[‡] 上田 修功[§]

関西大学大学院理工学研究科システム理工学専攻[†] 関西大学システム理工学部電気電子情報工学科[‡]
理化学研究所 革新知能統合研究センター[§]

1 はじめに

近年、新型コロナウイルスの影響もあり、電車などの公共機関を避けて車による移動が増え、一層道路での渋滞が加速しつつある。本研究では、渋滞状況を考慮したカーナビゲーションシステムを提案する。具体的には、時間拡大ネットワークを拡張したコスト変動型時間拡大ネットワークを用いて、各道路の移動時間を考慮した最短時間経路を見出すアルゴリズムを提案する。さらに、過去の阪神高速道路において計測されたデータを用い、提案手法の実データでの有効性を示す。

2 最短経路問題

グラフは、頂点集合 V と辺集合 A から構成され、辺は2つの頂点間を繋ぎ、コスト（距離や時間で表される）という属性値を持つ。グラフ上の始点から終点の中で、コストの和が最小となるものを最短経路と呼ぶ。フロー問題の場合、各辺は通過できる資源量の上限を表す容量を有している。効率的に解くアルゴリズムとして知られているダイクストラ法 (Dijkstra's Algorithm) は最短経路問題を効率的に解くグラフ理論におけるアルゴリズムである。

3 時間拡大ネットワーク

3.1 動的ネットワーク

動的ネットワークは $N = (V, A, c, \tau_a, S^+, S^-)$ で定義され、静的ネットワークでは通常表現することのできない、時間経過によるネットワークの状況変化を表現することができる。各辺 a に整数の移動時間 τ_a が与えられている。移動時間を持っていることによりその時刻の渋滞による待ちを表現することができる。頂点集合 V は建物や交差点を表し、辺集合 A は道路を表している。また、容量 c は単位時間あたりにその道路を通ることができる移動者数の上限、移動時間 τ_a はその辺の端から端まで通過するのにかかる時間を表す。フロー i の出発点 (s_i) の集合を S^+ 、フロー i が向かう到達点 (t_i) の集合を S^- とする。

3.2 時間拡大ネットワーク

動的ネットワークは静的ネットワークにおける解法をそのまま流用することができない。そこで、Ford らが、動的ネットワークの特徴を保持したまま、移動時間の要

素を削除した静的なネットワークに変換する手法を提案した [1][2]。この変換後のネットワークは、時間拡大ネットワークと呼ばれる。時間拡大ネットワークは移動時間関数を持たないが、各時刻でのノードを別々に定義することで時間による変化を表現している。これにより、静的ネットワークに対するネットワークフロー問題の解法をそのまま流用可能となる。動的ネットワークと期間 T (単位時間 1) が与えられたとき、次の操作を行うことにより時間拡大ネットワークを構築する。

1. 動的ネットワークに含まれる頂点を T 回複製する。これが各時刻での頂点に相当する。
2. ある頂点から隣接している頂点へ元の動的ネットワークの距離を考慮した辺を追加する。
3. 渋滞による待ちを表現するため滞留辺と呼ばれる容量 ∞ 、距離 0 の辺を追加する。

以下に動的ネットワークとそれを期間 $T = 6$ で時間拡大したときのネットワークを図 1 に示す。

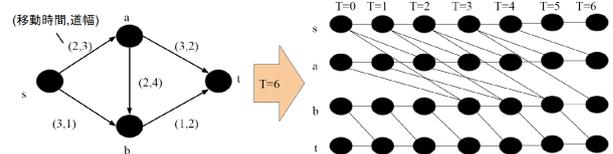


図 1 動的ネットワークと対応する時間拡大ネットワーク

4 提案手法とその評価

4.1 研究背景

道路混雑状況により経路の移動時間は変動するため、経路を通過する際の移動時間 (コスト) が時間の関数である最短経路問題に対するアルゴリズムが必要である。そこで、変動する経路の移動時間を予測できると仮定して最短経路を求めるアルゴリズムを提案することができる。3 節で紹介した時間拡大ネットワークは、単位時間ごとの移動時間 (コスト) が一定であるため、実際の交通状況を表現するには不十分である。そこで次項では従来の時間拡大ネットワークを改良したコスト変動型時間拡大ネットワークを提案する。

4.2 コスト変動型時間拡大ネットワーク

実際の交通状況は時々刻々と変化するため、コスト一定型の時間拡大ネットワークでは表現することができない。そこで、時間拡大ネットワークの単位時間ごとの移動時間 (コスト) を変動させた、コスト変動型時間拡大ネットワークを提案する。図 2 にコスト変動型時間拡大ネットワークの例を示す。コストが一定の場合、図 1 の

*Real-time evacuation simulation with network flow

[†]Yuki Kikukawa, Junpei Tokunaga - Graduate School of Science and Engineering, Kansai University

[‡]Hiroyuki Ebara - Faculty of Engineering Science, Kansai University

[§]Naonori Ueda - RIKEN, Center for Advanced Intelligence Project

ように経路は平行な辺で表されるが、コスト変動型時間拡大ネットワークでは、経路が必ずしも平行にはならない。3.1 項で述べられた移動時間は、時間の関数 $\tau_a(t)$ となる。提案手法では、移動時間関数 $\tau_a(t)$ を使ったコスト変動型時間拡大ネットワークを用いて、将来車両が各地点を通過する際の交通渋滞などによる移動時間の変動を表現する。

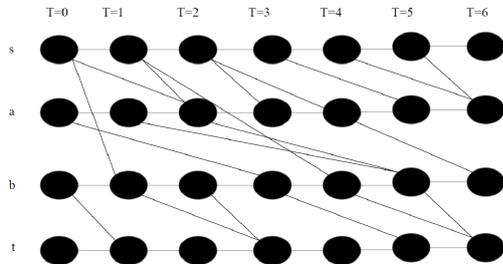


図2 コスト変動型時間拡大ネットワークの例

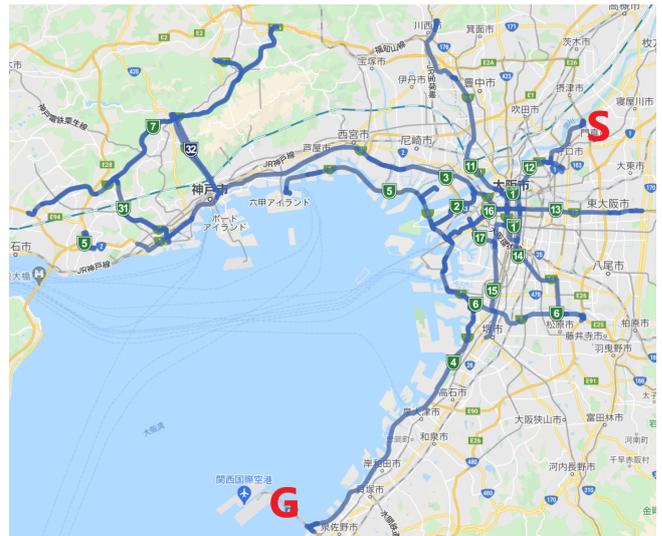


図3 阪神高速全路線

5 計算機実験

5.1 計算機実験

コスト変動型時間拡大ネットワークの移動時間(コスト)は将来的に機械学習を用いて予測移動時間を算出する必要があるが、本稿では2021年10月25日の19時から21時における、実際の阪神高速道路で計測された平均時速を用いて計算する。阪神高速道路の路線図を図3に示す。計算機実験では、守口入口を出発地点とし、泉佐野出口を目的地点とする。なお、移動時間は、

$$\text{移動時間} = \text{距離} / \text{平均時速} \quad (1)$$

により計算する。計算機実験では、

1. 比較手法：出発時刻時点での経路ごとの移動時間を用いて、移動時間が変動しないコストにより最短経路を求めた手法
2. 提案手法：出発時刻から刻々と変わる移動時間を考慮したコスト変動型時間拡大ネットワークを用いて最短経路を求めた手法

の2つの手法を比較する。

5.2 計算機実験結果

実験結果では、比較手法と提案手法で最短経路に違いはなかった。ただし、総移動時間は44分26秒と、42分30秒となり、2分近く短縮できていることが分かった。提案手法の総移動時間のほうがより現実的なものになっていると考える。

今後より大規模な道路網を使って計算機実験をすることにより、総移動時間の差は広がり、比較手法の現実との差は大きくなると考えられる。その際、提案手法がより短い別の経路を提案することも考えられ、移動時間関数の推測が正確にできれば、より現実にもった最短経路を求めることが可能となると考える。

6 まとめ

本研究では、経路を通る際の移動時間(コスト)が時間により変動するコスト変動型時間拡大ネットワークを用いることで、移動時間(コスト)を考慮した最短経路を提案した。実際の過去の阪神高速道路のデータをもとに、計算機実験を行った結果、最短経路に差異はなかったが、総移動時間に5%弱の差異がみられ、移動時間の変動を考慮した提案手法が有効である可能性を示唆した。

今後、阪神高速道路だけではなく、一般道も含めた経路で提案手法の有効性を検証したい。さらに、機械学習を用いて変動する移動時間(コスト)を予測することで、より現実的な到着時刻とその時の最短経路を求めることを検討したい。

謝辞

貴重なデータを提供して頂いた阪神高速道路株式会社に深く感謝の意を表す。また、本研究の一部は、関西大学大学院理工学研究科高度化推進研究費、関西大学先端科学技術推進機構「緊急救命避難支援のための災害情報通信ネットワークに関する研究開発」研究グループの助成を受けている。

参考文献

- [1] Ford Jr, Lester Randolph, and Delbert Ray Fulkerson. Flows in networks. Princeton university press, (2015)
- [2] Ford Jr, Lester R., and Delbert Ray Fulkerson. "Constructing maximal dynamic flows from static flows." Operations research 6.3 (1958): 419-433.