タブーサーチを用いた複数箇所からの合計移動距離最小地点導出方法の提案

Proposal Method for Finding an Optimal Meeting Point from Multi-Point with the Minimum Route using Tabu Search

2041077　田代 達規

Tatsuki TASHIRO

指導教員　秋葉 知昭

In recent years, there are many network systems, and it is very important to use them efficiently. The objective of this study is to efficiently search for finding optimal meeting point on railway network that minimizes the total travel distance from multiple points using tabu search. The proposed algorithm uses geometric ideas from previous studies to devise an initial solution for tabu search, which allows the network to be explored accurately and efficiently.

1．緒　言

現代社会は，鉄道網や通信網などの複雑に張り巡らされたネットワークによって支えられている．これらのネットワークを効率的に利用することは，社会活動を円滑に進行するために重要である．例えば，複数人で待ち合わせをする際の合理的な集合地点を決める最適化問題[3]は，ゴールが定まっていないことからダイクストラ法やフォード法をそのまま適用して求めることができない．

本研究では，東京メトロの鉄道ネットワークをモデル化し，タブーサーチを用いて複数地点からの合計移動距離を最小化する．初期解を工夫することにより，初期解ランダムに決める一般的なタブーサーチよりも効率的なアルゴリズムを構築する．本報告は，提案するアルゴリズムの概要及びその実験結果を示す．

2．グラフ理論

2.1 グラフ理論の概要

グラフとは，ノードとエッジから構成される数学的構造である．一般に，グラフはG=(V,E)と表され，Vはノードの集合，Eはノード同士を結ぶエッジの集合を意味する．本研究では，ノードを「駅」，エッジを「駅間を結ぶ鉄道路線」として捉え，鉄道ネットワークをモデル化する．また，エッジに重みを持たせることで，「駅間の距離」を表すことが可能となる．

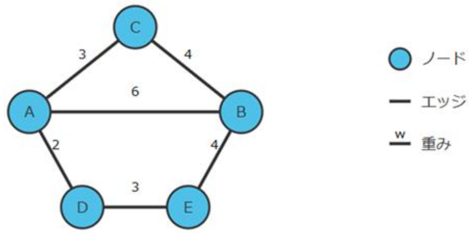

図１　重み付きグラフのモデル

2.2 問題定義

本研究で考える問題を以下のように定義する．モデル化した鉄道ネットワークを重み付きグラフG=(V,E)とし，ノード集合Vは駅の集合，エッジ集合Eは駅間を結ぶ路線区間とする．各エッジ$e \in E$に付与される重みは駅間の距離とし，3 つの異なる始点$s_1, s_2, s_3 \in V$が与えられたとき，それらすべてからの総移動距離が最小となるノード$v^* \in V$を求める問題と位置づける．

ここで，$d(s_i,v)$を始点から候補地点vまでの最短距離（鉄道ネットワーク上の最短経路によって定義される距離）とすると，3 つの始点に対する合計移動距離$T(v)$は以下の式で表される．

$$T(v) = d(s_1, v) + d(s_2, v) + d(s_3, v)$$

本研究では，この$T(v)$を最小とするノード$v^* \in V$を見つけることを目的とする．すなわち，

$$v^* = \arg\min_{v \in V}\{\mathrm{T}(v)\}$$

を求める問題として定式化する．ここで使用される最短距離$d(a,b)$は，鉄道路線を重み付きグラフとしてモデル化し，ダイクストラ法のアルゴリズムを適用して算出する．

2.3 鉄道ネットワークのモデル化

本研究では，東京メトロの各駅をノードとし，駅間の実際の地理座標（経度・緯度）をもとにユークリッド距離を重みとする鉄道ネットワークを構築する．本研究で利用したデータは、駅データ. jp[1]から取得した情報を基に作成している．

3．最適化アルゴリズム

3.1 提案手法

本研究では，初期解をランダムに生成する一般的な方法（提案手法①）のほかに，ネットワークを平面幾何として捉え，出発点となる 3 個の駅か

らの直線距離の合計が最小になる点（フェルマー点）に最も近いノードを初期解とする方法（提案手法②）を提案する．先行研究[2]では，目的関数が各人の移動距離の最大値の最小化だったため外接円を用いていたが，本研究では 3 個のノードに対するフェルマー点を用いて初期解の候補を求め，タブーサーチの初期解として活用する．

フェルマー点とは，三角形の 3 個の頂点からの合計距離が最小になる点である．この点は，120 度以上の角を持たない三角形においては三角形の内部に位置し，120 度以上の角を持つ三角形の場合は最大角を持つ頂点となる[3]．三角形のすべての角が 120 度未満の場合は，各辺の外側に正三角形を作り，その正三角形の新しくできる頂点と元の三角形の向かい側の頂点を結ぶ．すると，3 本の線は一点で交わり，この交点がフェルマー点となる．

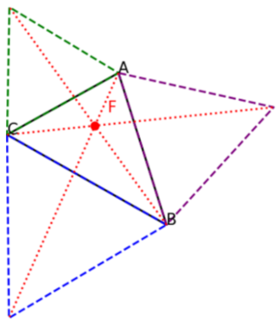

図 2　フェルマー点

4．実験

4.1 評価方法

本研究では，タブーリストのサイズを 12，繰り返し回数を 50 とし，提案手法①，提案手法②，フェルマー点に近い順に 5 個のノードのみを調べる方法（先行研究①[2]）の 3 つを比較する．評価基準は全数列挙で求めた最適解との一致率，全数列挙の評価値を 100%としたときの比率, 及びタブーサーチにおいて探索を打ち切った割合とし，ランダムな始点の組み合わせ 100 通りについて実験する．なお，提案手法①については，始点の組み合わせ 1 通りあたり 1 回試行した場合と，3 回，5 回試行した場合を比較する．

4.2 結果

表 1　実験結果

	提案手法②	提案手法①(5回試行)	提案手法①(3回試行)	提案手法①(1回試行)	先行研究①
一致率（%）	97	96	96	91	37
評価値の比率（%）	100.028	100.013	100.032	100.149	106.109
探索を打ち切った割合（%）	55	10.8	8.7	12	-

一致率については，フェルマー点を用いて初期解を設定した提案手法②が最も高かった．提案手法①では，1 回目の試行では見つけられなかった最適解を 3 回試行では多く見つけられたが，5 回試行しても変化が見られなかった．評価値の比率は提案手法①，②ともに大きな差はないが，先行研究①の手法と比較すると数値が改善した．近傍解を見つけられずに探索を途中で打ち切る割合には顕著な差が見られた．提案手法②では 55%のケースで打ち切りが発生したのに対して，提案手法①では 10.8%にとどまった．

提案手法②において，最適解を見つけられなかった 3 通りは全て池袋が最適解であった．原因として，池袋の周辺はノードやエッジが少なく，出発点からロスなく直線的にフェルマー点へ向かうエッジが存在しないことが考えられる．

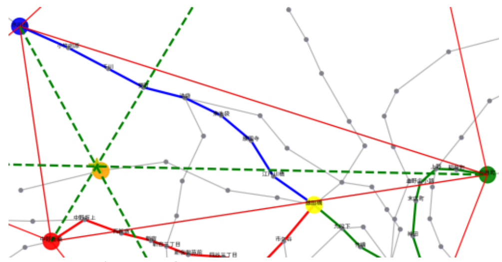
図 3　提案手法②における探索失敗時の一例

5．結　言

提案手法②では行っている探索は 1 回だが，一致率は最も高い結果を示した．フェルマー点に基づく初期解設定が優位に働いた可能性がある．探索を打ち切った割合を比較すると，提案手法①に比べて精度を落とすことなく計算量を大きく減らすことに成功したと言える．

また，路線を増やして更に規模を大きくしたネットワークを考える際は，エッジが増えるため幾何学的な近似がより効果的であると考えられる．

パラメータの更なる最適化と，時間や金額といったコストや乗り換え回数などの多目的最適化については今後の課題としたい．

文　献

[1]　駅データ無料ダウンロードサービス 『駅データ.jp』 https://ekidata.jp/

[2]　杉本剛，森野博章：複数個所からの移動距離最小地点算出手法の基礎検討，平成 22 年度電子情報通信学会東京支部学生会研究発表会(2011)

[3]　黒木天也，大村侑義，谷部貴一，鷲尾夕紀子，利根川聡，古津博俊：凧型の最短経路を iPad で示す動的教材の提案―GeoGebra 動的教材による幾何学教育実践―，工学教育研究後援会講演論文集 pp.312-313(2023)