駐車監視員の巡回経路作成に関する研究

藤井　啓允 (沼田　一道　助教授, 田中　健一助手)

1. はじめに

近年, 違法駐車が都市部を中心に増加し, 常態化している．しかしながら，違法駐車の取締りに投入できる警察の執行力には限界があるので，違法駐車取締り業務の一部が民間に委託された．平成 18 年 6 月 1 日に道路交通法が改正され，警察官に加え，駐車監視員の資格を取得した民間人が，違法駐車の確認事務を実施できるようになった．駐車監視員が取締りをする場所は，地域住民の意見や交通事故，違法駐車の実態等から最も取締りが必要だと考えられる場所に限定されている．この範囲を駐車監視員活動ガイドライン（以下、ガイドラインとする）と呼ぶ．

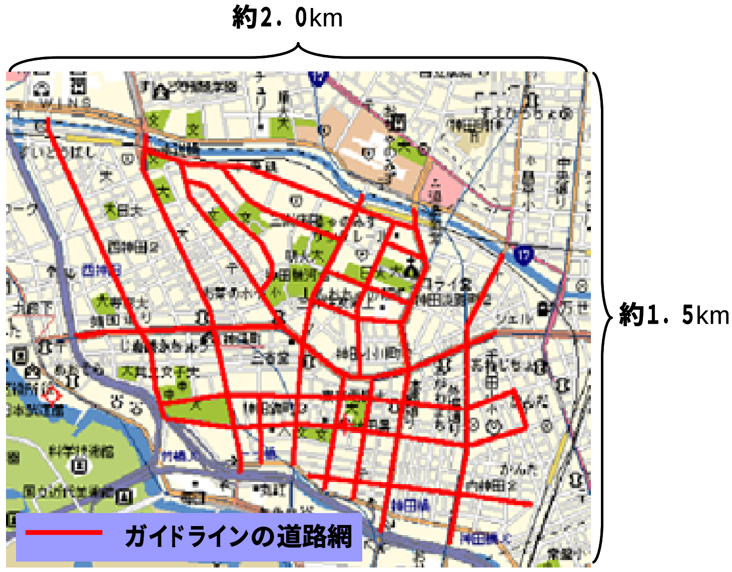

図1：千代田区神田周辺地域

ここで民間委託に伴う問題も予想される．違法駐車の取締りの一部が民間委託されている国（イギリス，韓国など）では，違法駐車者の駐車監視員に対する暴力事件が多発し，社会問題となっている．その一つの原因として，駐車監視員の取締り台数に応じた給料出来高制度が挙げられる．この制度により駐車監視員は巡回の際に，偏った巡回をして取締りをしがちである．この事態を改善するには，駐車監視員はガイドラインで示された道路網を偏りなく巡回する必要がある．

本研究では，駐車監視員がガイドラインで示された道路網上の全ての道路をまんべんなく巡回するものとして，その移動距離ができるだけ小さくなる巡回経路を求める問題を考える．また，千代田区神田警察の管轄地域の道路データにこの考え方を適用する．

2. 問題の概要

駐車監視員はガイドラインで指定された道路網を複数のグループで巡回する．すなわち，グループごとに担当する道路網が決められ，この道路網をガイドラインで指定された道路に沿って巡回する．この問題は，ガイドラインで指定された道路網を駐車監視員のグループ数に分ける問題と，その分けられた道路網の全ての道路を１度ずつ通り移動距離のできるだけ小さい巡回経路を作成する問題の２つに分かれる．本研究では，後者の問題を扱い，前者は手作業で対処する．各グループは担当する道路網の出発点から出発し，各道路を１度ずつ通り，再び出発点に戻る．このとき，その経路は途切れることが許されないので，一般に，対象道路以外に余分の道路を通過する必要がでてくる．この余分に歩く距離の合計をできるだけ小さくしたい．

3. 各グループにおける巡回経路の作成

ガイドラインで指定された道路網の交差点を頂点，道路を枝としたグラフで表す.

ある１つの駐車監視員グループの巡回について考える．当該グループは，担当するガイドラインで示された道路網上の全ての道路を１度ずつ通過すること，またその際の巡回経路は途切れることが許されないことから，グラフをオイラーグラフにする必要がある.

3．1　オイラーグラフ

全ての枝を１回ずつ通って出発点に戻る（一筆書き可能な）道順が存在するグラフのことをオイラーグラフという．またそのときの道順をオイラー路という.

オイラーグラフであるための条件は，グラフの全頂点の次数が偶数であることである. ここで, 次数とは, 頂点に接続する枝の本数のことである.

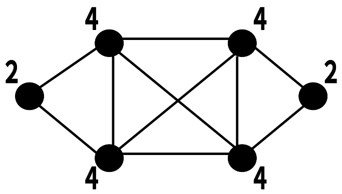

図2：オイラーグラフ

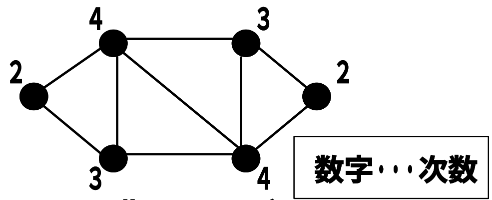

図3：非オイラーグラフ

各グループが担当する部分グラフはオイラーグラフでないため，各頂点の次数が偶数になるように，グラフに新たな枝を付け加える必要がある．またここで付け加える枝は余分に巡回する道路に対応している．この付け加える枝の合計長を小さくすることで，余分に歩く長さを小さくし，巡回経路の移動距離を小さくする.

4. 解法

4．1　最小コスト完全マッチング問題への帰着

本研究では，グラフに付け加える枝の合計長を最小化するために，まずグラフにおいて奇数の次数をもつ頂点を求める．次に，その頂点間の枝を対象として，枝の長さの合計が最小となる，端点を共有しない枝集合を求める．したがって，この問題は最小コスト完全マッチング問題に帰着し，これを解くことにより移動距離が最小になるような枝を求める.

4．2　定式化

最小コスト完全マッチング問題を 0-1 整数計画問題として定式化する.

グラフ $G=(V,E)$ において奇数の次数をもつ頂点集合 $V_0=(v_1,\dots,v_k)$ とし，頂点 $v_i, v_j\,(\in V_0)$ 間の最短経路長を c_{ij} とする（ただし，$i<j$）．また，x_{ij} はマッチング M が枝 (v_i, v_j) を含む場合１とし，含まない場合０とする.

問題は以下のように定式化される.

$$\min \quad \sum_{i<j} c_{ij} x_{ij} \tag{4．2．1}$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{h=1}^{i-1} x_{hi} + \sum_{j=i+1}^{k} x_{ij} = 1 \quad (i=1,\dots,k) \tag{4．2．2}$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \tag{4．2．3}$$

ここで，(4.2.1)は移動距離を最小化するという目的関数である．(4.2.2)は頂点iにMの枝が１本接続すること（Mの完全マッチングであること）を表している．

４．３　オイラーグラフの構成方法

ガイドラインで指定された道路網をグラフ化し，そのグラフを$G=(V,E)$，各枝を(v_i,v_j)とする．また，ガイドラインで指定された以外の道路を含む，道路網をグラフ化したものを$\tilde{G}$とすると，求めたいオイラーグラフH_Gは以下のようにして構成される．

Step１：Gにおいて，奇数の次数を持つ頂点集合V_0を求める．

Step２：Step１で求めた頂点集合V_0の任意の２頂点をv_i,v_jとし，$v_i,v_j(\in V_0)$の$\tilde{G}$における最短経路長c_{ij}を求め記憶する．

Step３：頂点集合V_0からなる完全グラフ$G_0=(V_0,E_0)$を作る．また，枝$(v_i,v_j)\in E_0$のコストは対応する２頂点v_i,v_jの最短経路長c_{ij}とする．

Step４：グラフG_0上の最小コスト完全マッチングMを求める．

Step５：Mに含まれる全ての枝(v_i,v_j)をGに付加して，オイラーグラフH_Gとする．

４．４　オイラー路の構成方法

最小コスト完全マッチング問題の解に対応した枝を付け加えることで，部分グラフを移動距離が最小のオイラーグラフにすることができた．次にこのオイラーグラフ上で出発点から全ての枝を１度だけ通って出発点に戻るオイラー路を構成する．

オイラー路は以下ようにして求める．

- 出発点から１度通った枝を消しながら，行けるところまで行く．
- 行き着いたところが出発点で，全ての枝が消えていれば，そこまでの経路が１つの解，つまりオイラー路となる．
- 行くところがなくなったら，来た道の枝を１つずつ復旧しながら戻り，そのつど次に進める頂点を探す.

５．実験

５．１　実験概要

東京都千代田区神田警察署管轄地域の道路網のデータを用いる．ガイドラインで指定された道路網をグラフ化し（図４），それを駐車監視員のグループ数に分けたものを十数パターン用意し，４節で示した解法により実験を行った．グループ数４，交差点数 64，道路(路線)数 92，出発点を駿河台下交差点とする．なお最小コストマッチングは４．２節で定式化したものを lp_solve を用いて解いた.

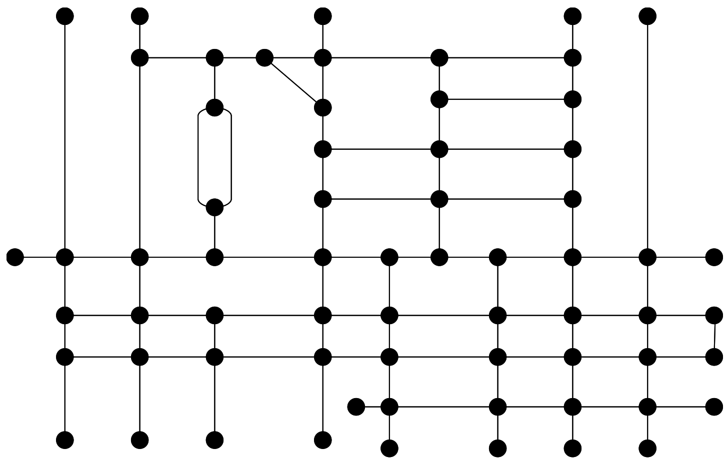

図４：ガイドラインで指定された道路網のグラフ化

5．2　実験結果及び考察

図５，表１に総移動距離が最小になった実験結果（分割パターン１）を示す．図６，表２に分割グラフにおけるそれぞれの移動距離のばらつきが最も小さい実験結果（分割パターン２）を示す．なお図の★は出発点，太線は付加枝である．表１より分割パターン１の結果は，巡回時間，コストの面ですぐれた解といえる．しかし，分割グラフにおけるそれぞれの移動距離はばらついた値になっていることが分かる．これは、総移動距離の最小化を目的としたためである．取り締まられる側の平等性を考えると，各道路を単位時間あたりに巡回する回数をできるだけ等しくすることは重要になってくると考える．この点では，分割パターン２が良い解といえる．

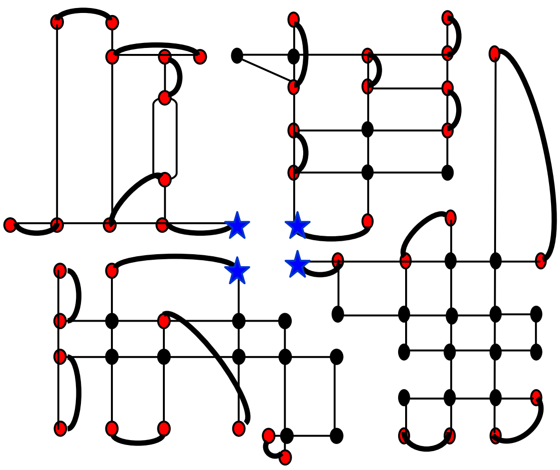

図５：実験結果（分割パターン１）

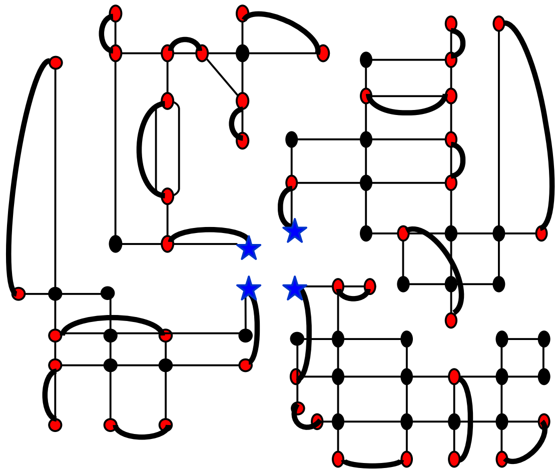

図６：実験結果（分割パターン２）

表１：実験結果（分割パターン１）

分割パターン1		
総移動距離	19819(m)	
	付加道路長	移動距離
分割グラフ1	1267(m)	5062(m)
分割グラフ2	819(m)	4268(m)
分割グラフ3	1069(m)	4465(m)
分割グラフ4	1448(m)	6024(m)

表２：実験結果（分割パターン２）

分割パターン2		
総移動距離	19949(m)	
	付加道路長	移動距離
分割グラフ1	1094(m)	5044(m)
分割グラフ2	1207(m)	5078(m)
分割グラフ3	1707(m)	4913(m)
分割グラフ4	1147(m)	4914(m)

6．まとめと今後の課題

本研究では，グループごとに駐車監視員が担当するガイドラインで指定された道路網上の全ての道路を１度ずつ通り，余分に歩く道路の延べ距離を最小化する問題を提起した．全体のグラフをグループ数に分割した後に完全マッチング問題を解くことによって最適化することができた．しかし，分割の仕方は手作業で十数パターンを試しただけなので分割の仕方を含めた最適性の保証はできない．この問題はグラフを分割した時点で，それぞれの分割グラフの最小移動距離が決まるので，分割の仕方を最適化しなければ，総移動距離を最小化できたとはいえない．グラフの分け方は今後の課題である．

参考文献

[1]F．Harary，池田貞雄，1971：グラフ理論 pp92-101

[2]久保幹雄，田村明久，松井知己，2002：応用数理計画ハンドブック pp．1081-1102

[3]生活地図サイト　マップファンウェブ　http://www.mapfan.com/，2006/12/10

[4]駐車違反マップ　東京都心版，昭文社，2006