日本オペレーションズ・リサーチ学会
2019年 秋季研究発表会

流入・流出・通過交通を考慮した階層型道路網の交差点間隔

01606840　山梨大学 宮川 雅至　MIYAGAWA Masashi

1. はじめに

本研究では階層型道路網において異なる階層の道路をつなぐ交差点の間隔を分析する．特に，幹線道路へのアクセスと交差点での遅れのトレードオフに着目し，総移動時間を最小にする交差点間隔を求める．その際，都市内交通に加えて，流入・流出・通過交通を考慮できるように既存のモデル [1] を拡張する．

2. 格子状道路網モデル

図 1 のような格子状道路網を有する正方形都市を考える．道路は補助幹線道路と幹線道路からなり，補助幹線道路は無限に稠密にあるものとする．幹線道路の間隔を a，延長を Λ とする．また，移動の起終点は都市内で一様に分布しているものとする．移動には幹線道路を必ず用いることとし，補助幹線道路と幹線道路の間の乗り換えは図中○で示す交差点のみで可能であるとする．移動者はまず，起点から補助幹線道路上を最寄りの交差点まで移動する．交差点で幹線道路に乗り換え，終点に最寄りの交差点まで移動する．そして，再び補助幹線道路を用いて終点に到達する．

最適な交差点間隔を求めるため，図 2 に示す 5 つの交差点パターンを比較する．これらのパターンが都市全体に続いていると仮定する．各パターンの交差点密度（単位長さ当たりの交差点数）は

$$\lambda = \begin{cases} \frac{5}{4a} = \frac{5\Lambda}{8A^2}, & \text{(i)}, \\ \frac{3}{2a} = \frac{3\Lambda}{4A^2}, & \text{(ii)}, \\ \frac{7}{4a} = \frac{7\Lambda}{8A^2}, & \text{(iii)}, \\ \frac{2}{a} = \frac{\Lambda}{A^2}, & \text{(iv)}, \\ \frac{3}{a} = \frac{3\Lambda}{2A^2}, & \text{(v)}, \end{cases} \tag{1}$$

と表される．ここで，λ には幹線道路と補助幹線道路の交差点だけでなく，幹線道路同士の交差点も含まれる．このとき，平均交差点間隔は $1/\lambda$ と表される．

3. 総移動時間

補助幹線道路と幹線道路上の走行速度をそれぞれ v_1, v_2 とする．補助幹線道路上の移動距離を 1

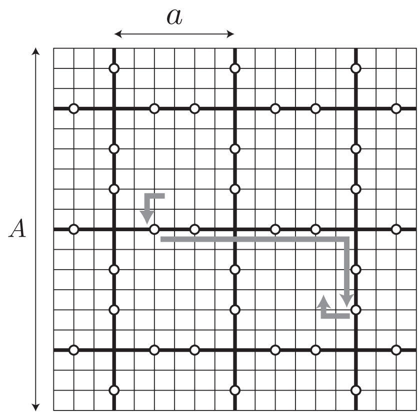

図 1: 格子状道路網を有する正方形都市

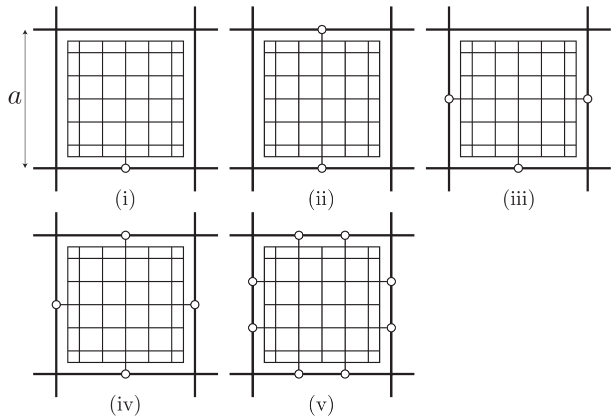

図 2: 交差点パターン

辺 a の正方形内の任意の点から最寄りの交差点までの直交距離で近似すると，補助幹線道路上の平均移動時間は

$$T_1 = \begin{cases} \frac{3a}{4v_1} = \frac{3A^2}{2v_1\Lambda}, & \text{(i)}, \\ \frac{a}{2v_1} = \frac{A^2}{v_1\Lambda}, & \text{(ii)}, \\ \frac{5a}{12v_1} = \frac{5A^2}{6v_1\Lambda}, & \text{(iii)}, \\ \frac{a}{3v_1} = \frac{2A^2}{3v_1\Lambda}, & \text{(iv)}, \\ \frac{43a}{162v_1} = \frac{43A^2}{81v_1\Lambda}, & \text{(v)}, \end{cases} \tag{2}$$

となる．幹線道路上の都市内交通，流出入交通，通過交通の移動距離をそれぞれ 1 辺 A の正方形内の任意の 2 点間の直交距離，正方形内の任意の点から 1 辺への直交距離，正方形の 2 辺間の直交距離

で近似すると，幹線道路上の平均移動時間は

$$T_2 = \begin{cases} \frac{2A}{3v_2} + \tau\lambda\frac{2A}{3}, & (\text{都市内交通}), \\ \frac{A}{2v_2} + \tau\lambda\frac{A}{2}, & (\text{流出入交通}), \\ \frac{A}{v_2} + \tau\lambda A, & (\text{通過交通}), \end{cases} \tag{3}$$

となる．ここで，τ は交差点での遅れである．交差点密度が増加するほど，T_1 は減少する一方で，T_2 は増加し，両者はトレードオフの関係にある．

総交通量を q，その内の都市内，流出入，通過交通の比率をそれぞれ α, β, γ $(\alpha + \beta + \gamma = 1)$ とする．各交通の移動時間は，都市内交通は補助幹線道路を 2 回，幹線道路を 1 回使うから，

$$\alpha q(2T_1 + T_2), \tag{4}$$

流出入交通は補助幹線道路と幹線道路を 1 回ずつ使うから，

$$\beta q(T_1 + T_2), \tag{5}$$

通過交通は幹線道路のみを使うから，

$$\gamma q T_2 \tag{6}$$

となる．総移動時間はこれらの移動時間の和として得られる．

4. 最適な交差点パターン

総移動時間を最小にする交差点パターンとその条件を表 1 に示す．幹線道路延長 Λ が長くなるほど，最適な交差点間隔が長くなることが分かる．これは，幹線道路を増やせば幹線道路へのアクセスは容易になる一方で，幹線道路を走行中に交差点での遅れが発生するためである．また，パターン (iii) は最適になり得ないことも分かる．

表 1: 最適な交差点パターンと条件

(i)	$\Lambda > \frac{2\sqrt{6(2\alpha+\beta)}A^{3/2}}{\sqrt{(4\alpha+3\beta+6\gamma)\tau v_1}}$
(ii)	$\frac{2\sqrt{2(2\alpha+\beta)}A^{3/2}}{\sqrt{(4\alpha+3\beta+6\gamma)\tau v_1}} < \Lambda \leq \frac{2\sqrt{6(2\alpha+\beta)}A^{3/2}}{\sqrt{(4\alpha+3\beta+6\gamma)\tau v_1}}$
(iv)	$\frac{2\sqrt{11(2\alpha+\beta)}A^{3/2}}{3\sqrt{3(4\alpha+3\beta+6\gamma)\tau v_1}} < \Lambda \leq \frac{2\sqrt{2(2\alpha+\beta)}A^{3/2}}{\sqrt{(4\alpha+3\beta+6\gamma)\tau v_1}}$
(v)	$\Lambda \leq \frac{2\sqrt{11(2\alpha+\beta)}A^{3/2}}{3\sqrt{3(4\alpha+3\beta+6\gamma)\tau v_1}}$

最適な交差点パターンを図 3 に示す．ただし，$A = 10$ km, $v_1 = 20$ km/h, $\tau = 0.5/60$ h である．都市内交通率 α が増えるほど交差点間隔は短くなり，通過交通率 γ が増えるほど交差点間隔が長くなることが分かる．特に，すべての交通が通過交通の場合にはパターン (i) が最適となる．また，幹線道路延長が $\Lambda = 50$ のときには 4 つのパターンが最適になり得るのに対し，$\Lambda = 100$ のときには 3 つのパターンしか最適になり得ないことも分かる．

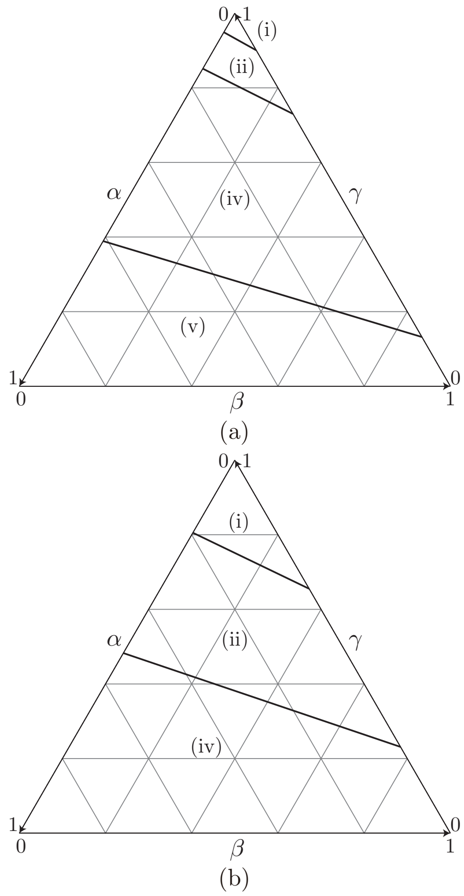

図 3: 最適な交差点パターン: (a) $\Lambda = 50$; (b) $\Lambda = 100$

5. おわりに

流入・流出・通過交通を考慮して，最適な交差点間隔を決定するためのモデルを構築した．モデルは階層型道路網の設計に役立つ．

参考文献

[1] Miyagawa, M.: Spacing of intersections in hierarchical road networks. *Journal of the Operations Research Society of Japan*, 61, 272–280, 2018.