

都市内道路ネットワークにおける旅行時間の信頼性：プロブカーデータを用いた社会的費用の計測と最適な経路誘導に関する研究

1. 背景と目的

福田 大輔(東京工業大学)

「旅行時間信頼性(Travel Time Reliability/Variability)」に着目する理由:

- ① 移動の質、特に、定時性の向上に対する利用者ニーズの高まり
- ② 各種の旅行時間データベースの更なる充実

H23年度研究

「評価」に係る研究開発
① 旅行時間信頼性向上経済便益の計測・評価・予測手法の提案と検証

・道路事業評価方法の新展開
・道路交通運用技術の更なる革新とネットワーク全体の定時性向上

H24年度研究

「運用」に係る研究開発
②-1 遅刻リスク回避型動的経路誘導アルゴリズムの開発とシステム構築
②-2 インテリジェントな経路誘導方式に従う自動車の普及がネットワーク交通流全体に及ぼす影響の分析と評価

1

2. 旅行時間信頼性を考慮した経路誘導

研究や実務の最新動向の把握

従来の経路探索基準

最短経路探索アルゴリズム

- Pre-trip Dijkstra's algorithm
- A* algorithm
- Sequential Dijkstra's algorithm

Reliable Routing

- Expected SP
- Least expected time (LET)
- Stochastic on time arrival (SOTA)
- Reliability-index based routing

多経路提案

- K_{sp} shortest path finding
- Dissimilar paths finding

適応型ルーティング

- LET-based adaptive routing
- Routing policy

ハイパーパス(Hyperpath)に基づく経路選択分析

公共交通乗客配分
(1980s後半～)
[Spiess & Florian (1989)等]

動的経路誘導
(2000s後半～)
[Bell (2009)等]

道路交通量配分
(2010s～)
[Hosseini et al. (2011)等]

(本研究)
理論的基盤の
確立と
システム構築

2

3. Hyperpath-Based Dynamic Route Guidanceの理論構築

経路誘導の基本コンセプト: "Do not put all eggs into one basket!"

「最大遅れ時間の最小化基準」(Min. Max. ルール)に基づく遅刻リスク分散のための最適経路ポートフォリオ(経路"群")の探索



【特徴】

- ・既存のReliable Routingに比べて圧倒的に計算コストが低い
- ・利用可能な旅行時間情報に応じた柔軟なRoutingが可能
- ・出発時刻に依存する動的な状況への拡張も容易に可能

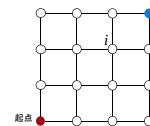
【本研究の主な貢献】

- ・Hyperpath経路誘導理論の構築と、その有用性・妥当性の確認
- ・システムプロトタイプ開発(デスクトップGIS、WEB-Cloud)



3

3. Hyperpath-Based Dynamic Route Guidanceの理論構築



必要とする事前情報:
・リンク a の旅行時間が $[c_a, c_a + d_a]$ の下限～上限の範囲で確率変動する。
→各リンクの最小旅行時間と最大旅行時間さえ既知であれば良い。
→旅行時間分布形状の情報は必要ない。

最小期待時間Hyperpath探索のための数理計画問題:

$$\min_{p,w} \sum_{a \in A} c_a p_a + \sum_{i \in I} w_i = \sum_{a \in A} (c_a + d_a) \cdot p_a$$

(最小化した目的関数) 起点から終点までの期待最大旅行時間

$$s.t. \sum_{a \in A_i^+} p_a - \sum_{a \in A_i^-} p_a = g_i \quad i \in I$$

フロー保存則

$$p_a d_a \leq w_i \quad a \in A_i^+, i \in I$$

リンク通過確率は最大遅れ時間に反比例 (制約条件)

$$p_a > 0 \quad a \in A$$

確率の非負条件

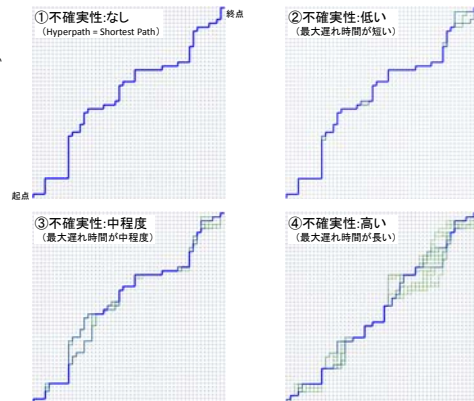
大規模ネットワークにおいて高速に最適Hyperpathを探索するアルゴリズムを今回新たに開発(Ma et al., in press)⇒特許申請を検討中

4

旅行時間の不確実性の程度に応じた最適なHyperpathの生成

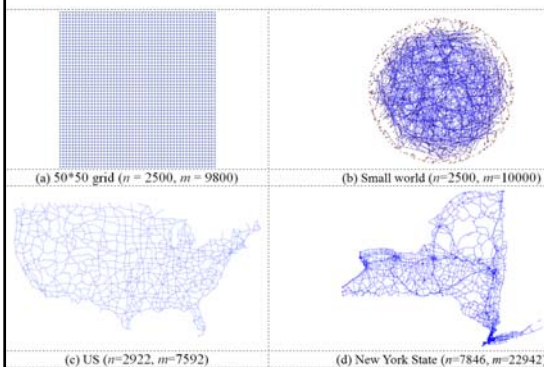
(50×50のランダムグリッドネットワークの場合)

(凡例)
リンク通過確率:
低い 高い



5

多様な位相構造を持つ大規模ネットワークにおけるHyperpath生成

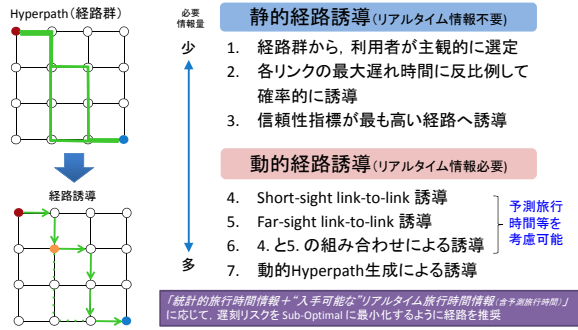


提案するHyperpath探索アルゴリズムの高速化により、実スケールでの適用(計算時間)も問題ないことを確認

6

3. Hyperpath-Based Dynamic Route Guidanceの理論構築

Hyperpathからの経路誘導(単一推奨経路選定の7つの方法)



7

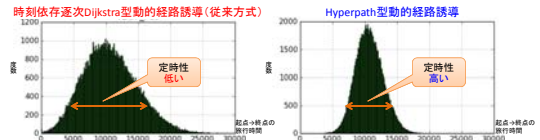
4. 提案方法論及びシステムの新規性・有用性の確認

(新規性)

- 公開特許公報データベースによる既存特許の調査
⇒類似したものがないことを確認
- 自動車会社技術担当者へのヒアリング
⇒基本概念の検討は若干行ったが、システム開発や実用化に向けた具体的検討は未着手・未計画 (⇒今後、連携の可能性も模索)

(有用性)

リンク旅行時間が時刻依存的にランダムに変動する8×8グリッドネットワークの左下の起点から右上の終点への移動において、100万回のモンテカルロシミュレーションを試した結果



特に、日々繰り返されるような移動(通勤・業務等)において、本経路誘導手法により、ドライバーにとってより高い定時性が確保される

8

5. 経路誘導システム“普及”のネットワーク交通流への影響

Sioux-Falls Networkによる検証:
(交通量配分研究における代表的な検証用ネットワーク)
[ノード数: 24, リンク数: 76, ODペア数: 528 (Yang, 1999)]

マルチエージェント動的交通流シミュレーションの結果(Case 4):

交通需要の設定条件				
需要条件	Case 1	2	3	4
総交通需要(日交通量)	少	中の下	中の上	大
需要の時刻集中度合い(ピーク時交通量)	少	少	大	大

Hyperpathドライバーの混入率: 80%



Hyperpathドライバーの混入率: 20%

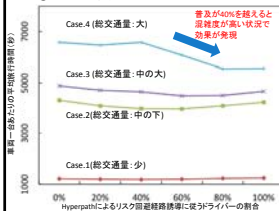


リンク旅行速度:
▲ 10 km/h以下
▲ 10~30 km/h
▲ 30~50 km/h
▲ 50 km/h以上

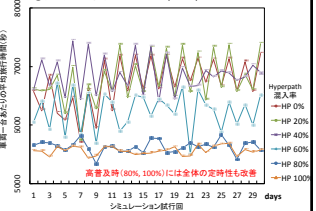
9

5. 経路誘導システム“普及”のネットワーク交通流への影響

①速達性の検証(異なる需要条件・混入率でのシミュレーション)



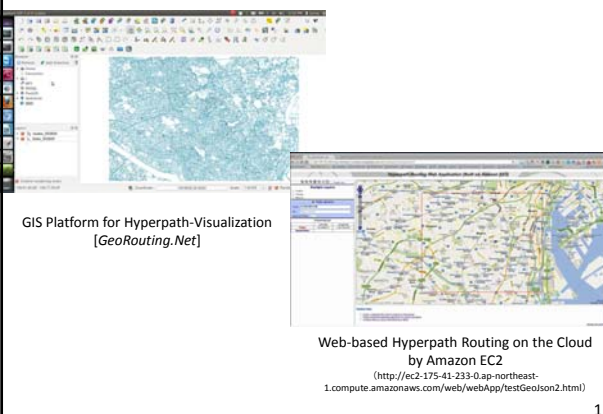
②定時性の検証(30日間のDay-to-dayシミュレーション)



- 提案する経路誘導に従って移動する自動車が普及するに従って、ネットワーク全体の速達性(平均旅行時間)、定時性(旅行時間変動)が改善されることを確認
- 提案するシステムは全体の混雑緩和施策の観点からも有効

10

6. Routingシステムの開発



11

7. 本研究の成果

- ハイパーパスに基づくリスク回避型動的経路誘導の基礎理論の構築と提案するアルゴリズムの妥当性・有用性のシミュレーションによる検証
 - 既存のハイパーパスモデルのさらなる高速化を実現可能な、新たなハイパーパス生成アルゴリズムの開発
 - 提案手法の妥当性の数理的証明
 - 様々な状況下でシミュレーションの検討を通じたパフォーマンスの確認
- ハイパーパスに基づく経路推奨基準と、他の標準的な経路推奨基準との比較検討
 - ハイパーパスによる経路誘導アルゴリズムの方が最短経路基準のアルゴリズムよりも、標準偏差等の旅行時間信頼性の観点のみならず、微量ながら平均旅行時間の観点からも優れている
 - 混雑等によって旅行時間の不確実性が大きいネットワークを日々通勤などで移動するような局面において、ハイパーパスに基づく経路誘導が旅行時間の定時性を高めることができる可能性がある
- 提案経路誘導手法のネットワーク交通流への影響の検証
 - 特に、混雑が集中しているネットワークにおいて、提案手法の普及により、定時性はもとより、速達性も向上する可能性がある。

12