

論文内容の要旨

博士論文題目

Multi-Agent Routing Schemes Based on Travel Risk Information
in Ordinary or Emergency Situations

(平常時・非常時における移動リスク情報に基づくマルチエージェント
ルーティング)

氏 名

原 崇徳

(論文内容の要旨)

スマートフォン並びにナビゲーションシステムの普及により、ナビゲーションサービスは日常生活の様々な場面で利用されるようになってきた。ナビゲーションサービスでは現在位置から目的地までの移動経路の情報に加えて、予定旅行時間や渋滞情報、道路のコンディションといった移動リスク情報も提供するようになってきている。本論文では、そのような移動リスク情報が平常時と緊急時においてユーザの行動に与える影響について検討を行っている。具体的には、平常時の状況では個々のユーザの利己的ルーティングに起因する混雑状況に着目し、緊急時の状況では大地震などの災害発生時に倒壊した建物で通行不能となった道路にユーザが遭遇する移動リスクに着目している。これら二つの状況に対し、ユーザに提供する移動リスク情報によって最適な混雑案内を実現するマルチエージェントルーティング手法を提案している。

平常時の混雑緩和手法として、経路選択に伴う道路網内の移動時間の増加量(限界費用)をユーザの知覚する移動時間情報に内在化することで、各ユーザが独自に合理的な意思決定を行う状況でも社会最適な状況を達成する、ナッジ理論を基にした利己的最適ルーティングを提案している。数値実験により、利己的最適ルーティングは従来の最適経路制御と同等の性能を達成できること、グリッド型道路網では82%、名古屋市の実道路網環境では67%までユーザの移動時間を短縮できることを明らかにしている。

利己的最適ルーティングでは、従来の混雑ゲームと同様に、複数のエージェントによって選択された経路上の道路の同時使用を仮定している。しかしながら、実際には道路はエージェントが順に移動する形で使用されるため、時間とともに道路の使用状況が変化する環境下における複数エージェント間分散型経路選択方式についても提案を行っている。シミュレーション実験より、提案方式は指数的な収束特性を維持しつつ従来手法と比較して移動時間を5.1%削減できることを明らかにしている。

次に大災害時における避難状況下での混雑緩和については、自動避難支援システムに向けた地理的リスク分析に基づく経路選択手法、及び高速かつ高信頼な避難を実現するための避難所割当手法、の二つの手法について提案を行っている。名古屋市の実道路網環境に対するシミュレーション実験より、経路選択の提案手法は最短経路選択法と比較して避難の迅速性を維持しつつ避難時の安全性を改善できることが確認された。また、避難所割当の提案手法については、距離に基づく従来の割当法と比較して、避難所の容量制約を満たしつつ平均経路長の増加を7.3%に抑える一方で、経路信頼性を13.6%改善できることが判明した。

(論文審査結果の要旨)

令和2年12月16日に開催した公聴会の結果を参考に令和3年2月9日に博士論文の審査を行った。以下の通り、本博士論文は、提案者が独立した研究者として研究活動を続けていくための十分な素養を備えていることを示すものと認める。

原崇徳君は、本博士論文において、移動リスク情報がユーザの行動に与える影響について、平常時と緊急時の二種類の状況に着目して検討を行っている。具体的には、平常時の状況では個々のユーザの利己的ルーティングに起因する混雑状況を考え、緊急時の状況では大地震などの災害発生時に倒壊した建物で通行不能となった道路にユーザが遭遇する移動リスクに着目し、これら二つの状況に対してユーザに提供される移動リスク情報によって最適な混雑案内を実現するマルチエージェントルーティング手法を提案している。本論文の貢献は以下のようにまとめることができる。

1. 行動経済学におけるナッジ理論を基に、経路選択に伴う道路網内の移動時間の増加量(限界費用)をユーザの知覚する移動時間情報に内在化することで、個々のユーザが当該情報を参考に合理的・利己的に意思決定を行った場合でも、社会最適な状況を達成する利己的最適ルーティングを提案している。数値実験により、利己的最適ルーティングは従来の最適経路制御と同等の性能を達成できること、グリッド型道路網では82%、名古屋市の実道路網環境では67%までユーザの移動時間を短縮できることを明らかにしている。
2. 従来の混雑ゲームでは、経路上の道路を複数のユーザが同時に使用する非現実的な仮定の下で検討が行われていたが、現実的には道路の使用状態はユーザの移動とともに変化する。そのような道路状態の時間変化を考慮した複数エージェント間分散型経路選択方式を新たに提案し、数値実験により、提案方式は指数的な収束特性を維持しつつ従来手法と比較して移動時間を5.1%削減できることを確認している。
3. 大規模災害のような緊急時の移動リスク情報に関する検討として、地理情報、道路閉塞確率、地理的人口分布、旅行時間を組み合わせた自動避難支援方式を提案し、計算機シミュレーションにより、提案手法は通行不能箇所遭遇する機会を減らして避難の安全性を向上させることができることを確認するとともに、最短経路選択方式と比較して避難時間の平均と最大値を低減できることを明らかにした。
4. 大規模災害時における避難誘導における避難所割当問題に対し、整数線形計画法による迅速かつ安全性の高い避難所割当手法を提案し、名古屋市の実データを用いたシミュレーション実験により、距離に基づく従来法と比較して、避難所の容量制約を満たしつつ平均経路長の増加を7.3%に抑える一方で、経路信頼性を13.6%改善できることを明らかにした。

本博士論文で提案された手法は道路網環境を時間的にも空間的にも適切に把握して全体最適を達成することを目標に検討されており、手法の構成には情報工学的な知見のみならず、行動経済学におけるナッジ理論やオペレーションズ・リサーチにおけるゲーム理論の知見を駆使することで、従来にない独創的な利己的最適ルーティングの実現に成功し、実道路網環境を模擬した計算機シミュレーションを通して多角的に有効性を検証している点で実学的観点においても高い貢献が認められる。

よって、本論文は、博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。