

道路交通流の円滑化に向けた情報共有に基づく協調カーナビの提案

山下 倫 央^{†,††} 車谷 浩 一^{†,††}

近年ユビキタス計算技術の発展により、都市生活を変え得る新たなシステムの設計が可能になりつつある。本論文では、新たなユビキタス計算技術の応用例として、道路交通システムにおけるカーナビゲーションシステムを取り上げ、車両間の情報共有による各車両の移動時間の削減と交通システム全体の効率化を目指す。各車両の経路情報（現在地、目的地、現在地から目的地までの経路）を共有し、その共有情報に基づいて経路を算出するシステムを協調カーナビとして提案する。協調カーナビを用いる各車両は経路情報サーバに経路情報を通知し、経路情報サーバは集めた経路情報に基づいて将来の混雑状況を見積もり、その情報を各車両に配信する。将来の混雑情報を受け取った車両は経路を再計算し、経路を変更する。協調カーナビにおいては、このような情報共有とそれに伴う経路変更が繰り返される。シミュレーションの結果から、経路情報を共有する協調カーナビが個人の移動時間の削減及びシステム全体の移動効率の向上に対して効果的であることを確認した。

Route Information Sharing for Load Shaping in Traffic Flow

TOMOHISA YAMASHITA^{†,††} and KOICHI KURUMATANI^{†,††}

With maturation of ubiquitous computing technology, it has become feasible to design new systems to improve our urban life. In this paper, we introduce a new application for car navigation in a city. Every car navigation system in operation today has the current position of the vehicle, the destination, and the currently chosen route to the destination. If vehicles in a city could share this information, they could use traffic information to globally plan semi-optimal routes for each vehicle. Thus, we propose a cooperative car navigation system with route information sharing (RIS). In the RIS system, each vehicle transmits route information (current position, destination, and route to the destination) to a route information server, which estimates future traffic congestion using this information and feeds its estimate back to each vehicle. Each vehicle uses the estimation to re-plan their route. This cycle is then repeated. Our multiagent simulation confirmed the effectiveness of the proposed RIS system. The average travel time of drivers using the RIS system is substantially shorter than the time of drivers who chose shortest distance or simple shortest time estimates. Moreover, as the number of RIS users increases, the total amount of traffic congestion in the city decreases.

1. はじめに

近年、位置取得技術や通信手段を代表とするユビキタス計算技術の発展により、多くの生活の場面において新たな情報支援サービスを提供することが可能になってきている¹¹⁾。しかし、従来研究においては、情報支援サービスが特定の一人のユーザを支援するという個人支援の側面に焦点が当てられており、マルチエージェント技術はユビキタス計算技術と結びついてはいなかった。このような現状を踏まえて、我々はユ

ビキタス計算環境における群ユーザ支援^{8),9)}に取り組んできた。群ユーザ支援は個々人の利便性を落とすことなく、ユーザ全体つまりシステム全体の効率を向上させることを目指している。従来の個人ユーザ支援における情報提供システムが単に個々のユーザの利便性のみを考慮しているのに比べて、群ユーザ支援においては個人の利便性と同様に、システム全体の効率も考慮しているのである。本論文では、ユビキタス計算環境の一例として道路交通システムを取り上げ、我々が提案するカーナビゲーションシステムの効果を示すマルチエージェントシミュレーションの結果を報告する。

道路交通システムにおいて、車両の現在位置を取得し、目的地までの経路を自動的に提示するカーナビゲーションシステム（以下「カーナビ」と呼ぶ）が近年急速に普及している。さらに、VICSと接続したカーナビゲーションシステム（以下「VICS カーナビ」と

[†] 産業技術総合研究所 情報技術研究部門

^{††} 〒 101-0021 東京都千代田区外神田 1-18-13 秋葉原ダイビル
Information Technology Research Institute (ITRI), National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

^{†††} 科学技術振興機構, CREST
CREST, JST

呼ぶ)が導入されている。VICS(Vehicle Information and Communication System: 道路交通情報通信システム)¹⁸⁾とは、警察庁、郵政省、建設省(当時)が中心となって1996年に開始した情報提供サービスで、渋滞や交通規制などの道路交通情報をリアルタイムに送信する情報通信システムである。

VICSに代表される交通情報システムの発展を踏まえて、より効果的なカーナビゲーションシステムを開発するために配信される交通情報とその効果を検証する研究が進んでいる^{2),7),13)}。さらに、実際に道路を走行している車両から車両速度や混雑情報を収集し、配信するといった研究も進んでおり¹⁾、商用サービスも既に始まっている¹⁷⁾。しかし、従来研究によって、混雑情報が配信され、多くのドライバーがその混雑情報に従って経路選択をした場合、道路交通システム全体としての効率が下がることが明らかにされている^{10),15)}。通常、VICSカーナビは現在の混雑状況に基づいて旅行時間を最短にする経路を推奨するので、他の多くのドライバーも同様の情報に基づいて一斉に同じ経路を通ろうとして、混雑が発生してしまう。混雑情報を精緻化しても、輻輳の同期は本質的に解消することはできず、かえって車両の集中を加速させてしまうことがあると考えられる。VICSカーナビが急速に普及しつつある現状を踏まえると、このような混雑情報の配信による車両の集中は今後さらに混雑状況を悪化させてしまうと考えられる。過去の履歴を用いた将来の交通量の予測サービスも検討されているが、新たな道路ができたり突発的な事故が発生したりといった類似した過去の履歴がない状況が発生した場合に交通量を的確に見積もることが困難である。

また、混雑情報の配信による集中は道路交通システムだけでなく、大規模テーマパーク⁶⁾やイベントホール¹⁴⁾でも発生するため、汎用的な解決方法が強く求められている。ネットワーク上の混雑解消を目指す研究として、大都市における交通制御の他に、計算機ネットワークにおける輻輳制御が挙げられる。しかし、道路交通システムにおいては、i) 車両をパケットのように廃棄できないという物理的要因や、ii) 特定の車両を強制的に停止させたり除去することは公平性に欠けるという社会的な要因から、RED(Random Early Detection)³⁾といった手法を道路交通システムへ直接的に適用することは困難である。

本論文では、特定経路への車両の集中に対して通過予定の経路情報の共有による経路の分散化を考える。混雑情報の配信による特定経路への車両の集中の原因は、混雑情報(現在空いている経路)が配信された時点

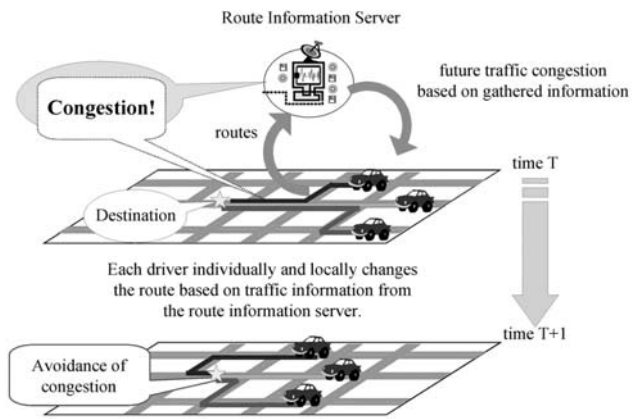


図1 協調カーナビの概要
Fig. 1 Outline of cooperative car navigation

では、実際にその経路は空いているため、多数の車両が一斉にその経路を選択してしまうことにある。そして、各車両の経路決定から混雑の発生までには時間的な隔りがあるため、混雑情報が配信された時点で広域的な車両運行状況だけを観測しても混雑発生を検知するのは困難である。しかし、このような「現在は空いているが、その後車両が集中して混雑が発生する経路」は各車両が「どこにいて、どこを通過してどこに向かっているのか」という経路情報を集約できれば事前に検知可能である。そして、事前に検知された「現在は空いているが、その後車両が集中して混雑が発生する経路」を車両に配信すれば、一部の車両がその経路を変更して、車両の分散が期待できる。実際、VICSカーナビは現在位置、目的地、現在位置から目的地までの経路といった経路情報を持っている。もし、各車両が経路情報を発信して、車両群で経路情報を共有できれば、さらに効率的なナビゲーションシステムを実現できる。各車両が自ら経路を決定しつつも、特定の経路への集中を防ぎ、大域的に準最適な経路を算出することが可能である。

我々は、各車両が経路情報を共有し、その共有情報に基づいて経路を算出するシステムを協調カーナビとして提案する。協調カーナビにおいて、各車両は経路情報(現在地、目的地、現在地から目的地までの経路)を経路情報サーバに通知する。サーバは集めた経路情報を基に将来の混雑状況を見積もり、各車両に配信する。サーバが配信した情報を基に各車両は経路を再び計算し、経路を変更する。そして、このプロセスが繰り返される。図1は協調カーナビの概要を示している。

本論文の目的は、協調カーナビが移動効率の向上に効果を持つことを示すことである。協調カーナビの効

果を個人的誘因と社会的受容性という2点から評価する。

- 個人的誘因：他のナビゲーションシステムから協調カーナビへ変更するための誘因である。個人的誘因を満足することは、協調カーナビを用いたドライバーの移動効率が他のシステムを用いた場合の移動効率よりも常に高いことを意味している。
- 社会的受容性：協調カーナビが広く普及するための条件である。社会的受容性を満足することは、協調カーナビを用いるドライバーの数が増加することに連れてそのドライバーの移動効率が増加することを意味している。

従来研究において経路決定戦略の効果を検証するために用いられる道路網は、目的地まで複数ある経路から一つを選択するという単純な道路網か、現実の複雑な道路網を取り上げた研究が多く、道路網の構造と混雑情報の提供による混雑の発生との関係を論じた研究は少ない。ここでは、格子状と放射環状網の2種類の道路網を用いて協調カーナビの効果を検証する。

2. マルチエージェントモデリング

2.1 交通流モデル

本研究で、ミクロレベルの各車両の経路選択行動とマクロレベルの混雑の発生との関係を検証するために、できる限り単純な交通流モデルを構築する。そのために、信号(赤信号での停車)、交差点での右折車待ち、交差点以外でのUターン、複数車線、追い越し、行き止まり、という要素を考慮に入れない。

交差点をノード、交差点間の道路をリンクとし、さらにリンクをいくつかのブロックに分割する。1ブロックの長さは、車両が自由流速度 V_f で1シミュレーションステップを走行した距離に等しい^{4),16)}。リンクをブロックに分割した後、各ブロックに交通流の下流側から上流側に順に番号を割り当てる(図2)。 i 番目のブロックに関して、ブロック長 L_i 、車両数 N_i 、車両速度 V_i 、車両密度 K_i を定義する。ここで、ブロック i の車両密度 K_i は $\frac{N_i}{L_i}$ である。ブロック i における車両速度 V_i は、車両密度 K_i を用いたグリーンシールドの関係式を拡張した式(1)に基づいて更新される。

$$V_i = \max(V_f(1 - \frac{K_i}{K_{jam}}), V_{min}) \quad (1)$$

式(1)において、 K_{jam} は飽和密度である。現実的には渋滞が発生しても車両は僅かながら前進しているので、ブロック i での最小移動速度を V_{min} とする。

隣接するブロック i とブロック $i+1$ における車両位置の更新は以下のようにおこなわれる。図2に示され

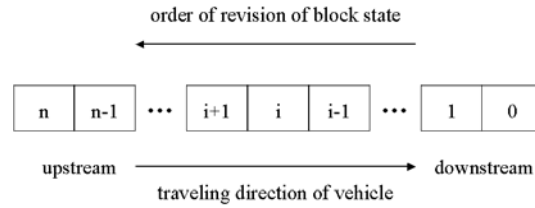


図2 車両の進行方向とブロックの状態更新の順序
Fig.2 Direction of vehicle movement and revision of blocks

ているように、各車両の移動の計算が下流側のブロックから上流側に向かっておこなわれる。最初に、各ブロックの車両速度が式(1)に基づいて求められる。ブロック i にいる各車両は移動速度 V_i に基づいて前進する。車両 j がブロック $i+1$ からブロック i に移動する時は、車両速度は V_{i+1} から V_i に変更される。ブロック $i+1$ にいる車両 j がブロック i に移ろうとした時にブロック i の車両密度 K_i が飽和密度 K_{jam} を超えている場合は、ブロック $i+1$ からブロック i に入ることはできない。この場合、車両 j はそれ以上前進できず、ブロック $i+1$ の先頭に留まる。車両 j_2 の前にいる車両 j_1 の移動の計算が終わった後、もし車両 j_1 が車両 j_2 の移動速度 V_{i+1} での前進可能距離よりも近くにいた場合、車両 j_2 は車両 j_1 に最低車間距離まで近づく。車両 j_2 がさらに前進するのに十分な移動速度を持っていても、車両 j_1 の後ろに留まる。全車両の位置の更新後、各ブロックでの移動速度が式(1)に基づいて更新される。次のステップにおいて、各車両は現在の移動速度によらず、直ちに更新された移動速度 V_i まで加速または減速する。

2.2 経路選択戦略

ドライバーの出発地から目的地までの経路選択に関して、3種類の経路選択戦略を用意する。各戦略の詳細を以下に述べる。

2.2.1 最短距離経路戦略 (SD)

最短距離経路戦略 (Shortest Distance Route: SD と略記) を用いる SD ドライバーは出発地から目的地までの経路長を最短にする経路を選択する。SD ドライバーは現在の混雑情報を利用せず、地図のみを持っているドライバーに相当する。

2.2.2 最短時間経路戦略 (ST)

最短時間経路戦略 (Shortest Time Route: ST と略記) を用いる ST ドライバーは現在の混雑状況に基づいて経路を選択する。ST ドライバーは、道路交通情報センターが配信する各リンクの期待通過時間に基づいて、通過経路の期待通過時間の総和を最小化する経

路を選択する。期待通過時間は現在の混雑状況から算出される通過時間である。STドライバーは、VICSセンターが配信する混雑情報を車載機を通じて取得し、経路を決定するドライバーに相当する。道路交通情報センターは期待通過時間を以下のように算出する。

- (1) 現時点での車両密度 K_i を用いて式 (1) から、各ブロックの移動速度を算出する。
- (2) ブロック i の通過時間をブロック長 L_i と移動速度 V_i から算出する。リンク l の期待通過時間 (Expected Travel Time) ETT_l をリンク l の含む全ブロックの通過時間の総和をとする。

道路交通情報センターは全リンクの期待通過時間を1ステップ毎にSTドライバーに配信する。STドライバーは交差点を通過する度に、現在地から目的地までの期待通過時間を最小化する経路を再探索し、経路を変更する。

2.2.3 経路情報共有戦略 (RIS)

協調カーナビによる情報共有戦略 (Route Information Sharing: RIS と略記) を用いる RIS ドライバー (協調カーナビを用いるドライバー) は現在の混雑情報に加えて、他の RIS ドライバーの経路情報に基づいて経路を選択する。RIS ドライバーは経路情報 (現在地、目的地、現在地から目的地までの経路) を経路情報サーバに通知する。経路情報サーバは、集めた経路情報に基づいて将来の混雑状況 (期待混雑度) を算出し、RIS ドライバーに配信する。RIS ドライバーは、各リンクの期待混雑度に基づいて、通過経路の期待混雑度の総和を最小化する経路を選択する。経路情報サーバは経路情報を集めて期待混雑度を配信するだけで、RIS ドライバー自身が経路を決定する。経路情報サーバは期待混雑度を以下のように算出する。

- (1) RIS ドライバーは期待通過時間を最小化する経路を選択し、その経路情報を経路情報サーバに通知する。
- (2) 経路情報サーバは RIS ドライバーから集めた経路情報を用いて各リンクの通過重み (Passage Weight) を算出する。通過重みは、RIS ドライバーが現在地から通過リンクに到達するまでの所用時間を考慮した通過リンクの交通量に対する影響力である。現在地に隣接したリンクならば、車両が移動して、すぐにそのリンクの交通量を増加させられるため、そのリンクの交通量に対する影響力は大きい。目的地を含むリンクは確実に通過 (到達) されるが、車両が到達するまでに時間がかかるため影響力は小さい。RIS ドライバー j のリンク l に対する通過重

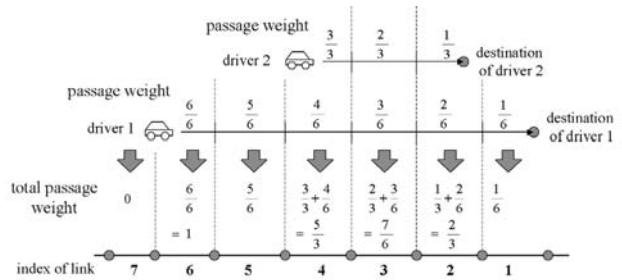


図3 各リンクの総通過重みの算出例
Fig.3 Sample calculation of total passage weight

み $PW_{l,j}$ を次のように定義する。ある経路が現在地から目的地までの間に p 個のリンクを含んでいる場合、目的地から現在地までの各リンクに1から p を昇順に割り当てる。各リンクに割り当てられた番号を目的地から現在地までのリンク数 p で正規化したものを通過重みとする。例えば、目的地を含むリンクには $1/p$ が、現在地を含むリンクには $1 (=p/p)$ が割り当てられる。

- (3) 経路情報サーバは各リンクの総通過重みを算出する。リンク l の総通過重み (Total Passage Weight) TPW_l を、式 (2) で表されるように、全ての RIS ドライバーのリンク l に対する通過重みの総和として定義する。

$$TPW_l = \sum_{k \in RIS} PW_{l,k} \quad (2)$$

式 (2) において、 RIS は RIS ドライバーの集合である。

- (4) 経路情報サーバは各リンクの期待混雑度を算出し、RIS ドライバーに配信する。リンク l の期待混雑度 (Expected Traffic Congestion) ETC_l をリンク l の期待通過時間 ETT_l と総通過重み TPW_l を用いて、以下のように定義する。

$$ETC_l = ETT_l \times (TPW_l + \alpha). \quad (3)$$

式 (3) において、 α は正の定数である。

期待混雑度を受け取った RIS ドライバーは、現在地から目的地までの期待混雑度が最小となる経路を探索し、その経路を選択する。経路情報サーバは全リンクの期待混雑度を1ステップ毎に RIS ドライバーに配信する。RIS ドライバーは交差点を通過する度に、経路を再探索し、経路を変更する。

協調カーナビでは、経路情報サーバは各ドライバーの現在地から目的地までの経路を知る必要があるが、誰がその経路を通過するかを知る必要はない。そのた

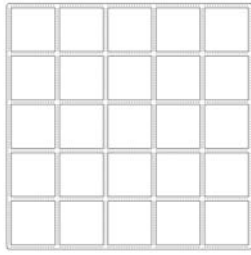


図 4 格子状網
Fig. 4 Lattice network

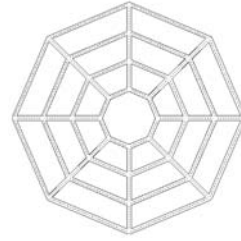


図 5 放射環状網
Fig. 5 Radial and ring network

め、協調カーナビは匿名性において利点を持っている。

図 3 は各リンクの総通過重みの算出例を表している。ドライバー 1 はリンク 6 上の現在地からリンク 1 上の目的地までリンク 6, 5, 4, 3, 2, 1 を通る経路を持つので、ドライバー 1 の各リンクの通過重みは、

$$\begin{aligned} PW_{1,1} &= 1/6, PW_{1,2} = 2/6, PW_{1,3} = 3/6, \\ PW_{1,4} &= 4/6, PW_{1,5} = 5/6, PW_{1,6} = 6/6. \end{aligned} \quad (4)$$

と算出される。ドライバー 2 はリンク 4 上の現在地からリンク 2 上の目的地までリンク 4, 3, 2 を通る経路を持つので、ドライバー 2 の各リンクの通過重みは、

$$\begin{aligned} PW_{2,1} &= 1/3, PW_{2,2} = 1/3, PW_{2,3} = 2/3, \\ PW_{2,4} &= 3/3, PW_{2,5} = PW_{2,6} = 0. \end{aligned} \quad (5)$$

と算出される。ドライバー 1, 2 の通過重みから、リンク 1~6 の総通過重みは以下の値となる。

$$\begin{aligned} TPW_1 &= 1/6, TPW_2 = 2/3, TPW_3 = 7/6, \\ TPW_4 &= 5/3, TPW_5 = 5/6, TPW_6 = 1. \end{aligned} \quad (6)$$

3. 計算機実験

3.1 実験設定

提案した RIS 戦略がそれを用いるドライバーの効用とシステム全体の効率に与える効果を検証するため、複数の状況においてシミュレーションをおこなう。本論文では、SD, ST, RIS の 3 つの経路決定戦略の比率と道路網の構造に着目する。経路決定戦略の比率に関して、SD ドライバーの比率を 20% で固定し、ST ドライバーと RIS ドライバーの比率を 0:80 から 80:0 まで 10% 刻みで変化させる。

道路網の構造に関して、図 4, 5, 表 1 に示される格子状と放射環状の 2 種類の道路網を用いる。これら道路網において全てのリンクは同じ交通容量を持っている。各ドライバーの出発地、目的地は図中のリンク上のブロックにランダムに割り当てられる。最初のステップから 1 ステップ毎に決められた数の車両が

表 1 道路網の設定

Table 1 Settings of networks

	lattice	radial and ring
Number of nodes	36	32
Number of links	60	56
Number of blocks	1,200	1,168

表 2 1 ステップにおける車両発生数 (N_{gen})

Table 2 Number of vehicles generated at one step (N_{gen})

	lattice	radial and ring
N_{gen}	40, 45	30, 35

25,000 台になるまで追加され、目的地に到達した車両は道路網から取り除かれる。各道路網での 1 ステップの車両発生数は表 2 に記されている。

道路交通システムの容量に対する車両数は、交通情報システムの効果に大きな影響を与える。車両数に応じた交通情報システムの効果は次の 3 通りに分類できる。i) 車両数が交通システムの容量に対して比較的少ない: 各車両が距離最短経路を移動すれば、最短の旅行時間を実現できる。ii) 車両数が交通システムの容量以内: 車両の集中により混雑が発生するため、車両の経路を分散すれば、旅行時間を短縮できる。iii) 車両数が交通システムの容量を超えている: ネットワーク全体で混雑が発生し、交通情報を用いた経路選択による旅行時間の短縮が困難である。本研究では、一般的な交通状況における協調カーナビの効果の検証が目的であるので、交通情報システムの効果を検証しやすい ii) に属している車両発生数を用いる。

異なる道路網や車両発生数における車両の移動効率を比較するために各ドライバーの旅行時間を正規化して用いる。理想旅行時間を出発地から目的地までの最短距離経路を自由流速度で移動した場合の旅行時間とする。目的地までに実際にかかった時間を理想旅行時間で正規化し、旅行時間と定義する。

3.2 実験結果

格子状又は放射環状の道路網において表 2 に示された車両発生数を用いた場合の SD, ST, RIS ドライ

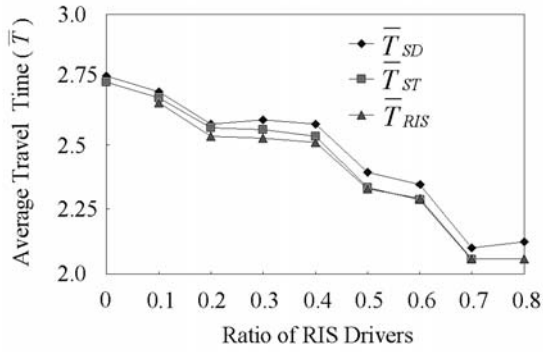


図 6 格子状網における車両発生数 $N_{gen} = 40$ の場合の平均旅行時間 (SD ドライバーの割合を 20% に固定)
Fig. 6 Average travel time with $N_{gen} = 40$ in the lattice network

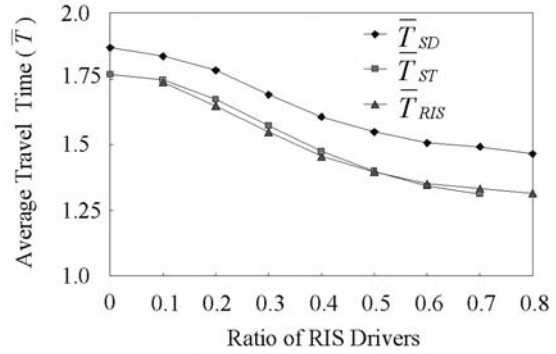


図 8 放射環状網における車両発生数 $N_{gen} = 30$ の場合の平均旅行時間 (SD ドライバーの割合を 20% に固定)
Fig. 8 Average travel time with $N_{gen} = 30$ in the radial and ring network

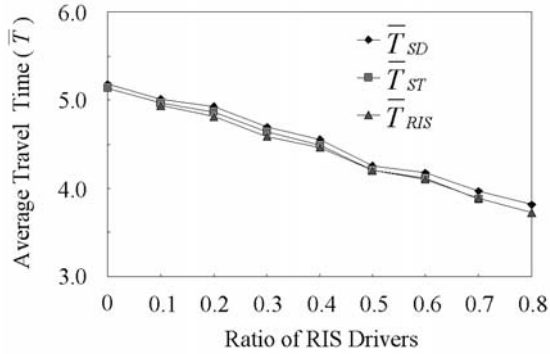


図 7 格子状網における車両発生数 $N_{gen} = 45$ の場合の平均旅行時間 (SD ドライバーの割合を 20% に固定)
Fig. 7 Average travel time with $N_{gen} = 45$ in the lattice network

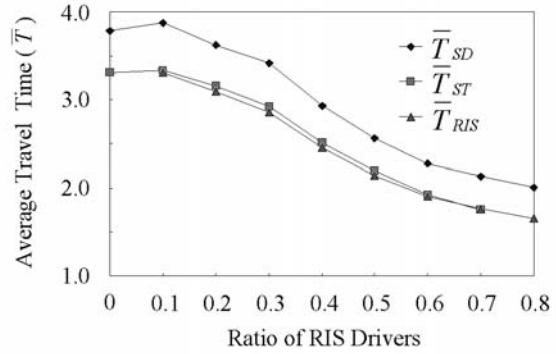


図 9 放射環状網における車両発生数 $N_{gen} = 35$ の場合の平均旅行時間 (SD ドライバーの割合を 20% に固定)
Fig. 9 Average travel time with $N_{gen} = 35$ in the radial and ring network

パーの平均旅行時間 (30 試行の平均) が図 6 ~ 9 に示されている。図 6 ~ 9 において、横軸は RIS ドライバーの割合、縦軸は各戦略を用いるドライバーの平均旅行時間である。また、RIS ドライバー全員の平均旅行時間を \bar{T}_{RIS} とし、同様に SD ドライバー全員、ST ドライバー全員の平均旅行時間を \bar{T}_{SD} 、 \bar{T}_{ST} とする。

図 6 において、RIS ドライバーの割合が増加するに連れて、各戦略の平均旅行時間が減少した。RIS ドライバーの割合が 40% になるまで、平均旅行時間は RIS, ST, SD の順に短い。その後、 \bar{T}_{ST} と \bar{T}_{RIS} にほとんど差は見られない。図 7 において、RIS ドライバーの割合が増加するに連れて、各戦略の平均旅行時間がほぼ一定に減少した。RIS ドライバーの割合に関わらず、 \bar{T}_{SD} 、 \bar{T}_{ST} 、 \bar{T}_{RIS} に大きな差はない。

図 8 においては、RIS ドライバーの割合が増加するに連れて、各戦略の平均旅行時間が減少する。 \bar{T}_{SD} は

常に \bar{T}_{ST} と \bar{T}_{RIS} よりも大きい。RIS ドライバーの割合が 70% になるまで、 \bar{T}_{RIS} は \bar{T}_{ST} よりも短い。しかし、RIS ドライバーの割合が 70% の場合に限って、 \bar{T}_{ST} が \bar{T}_{RIS} を下回る。図 9 においては、図 8 と同様に RIS ドライバーの割合の増加に連れて、各戦略の平均旅行時間が減少する。RIS ドライバーの割合に関わらず、平均旅行時間は RIS, ST, SD の順に短い。

4. 考 察

本章では、我々の提案した協調カーナビの効果について論じる。

4.1 協調カーナビの評価

第一に、協調カーナビが個人的誘因と社会的受容性を満たしているかどうかに着目する。格子状網において、 $N_{gen} = 40$ と $N_{gen} = 45$ のどちらの場合も、 \bar{T}_{RIS} が \bar{T}_{SD} 、 \bar{T}_{ST} よりも短いので、個人的誘因は

満たされている。RISドライバーが増加しても \bar{T}_{RIS} がわずかしか減少していない部分もあるが、全体としては、RISドライバーの増加に連れて \bar{T}_{RIS} は減少しているため、社会的受容性も満たされている。

放射環状網においては、 $N_{gen} = 30$ と $N_{gen} = 35$ の両方において、 \bar{T}_{RIS} が \bar{T}_{ST} より短い。

$N_{gen} = 30$ において、RISドライバーの割合が70%の場合のみ、 \bar{T}_{ST} が \bar{T}_{RIS} よりも短いですが、その差は小さく、全体として個人的誘因は満たされている。RISドライバーの増加に連れて、 \bar{T}_{RIS} が常に単調に減少しているため、社会的受容性は満たされている。

従来研究においては、情報提供システムの効果として個人的誘因のみが検証されることが多かった。しかし、交通情報システムの効果はそれ自身の普及率に大きく依存している。我々の研究においては、交通情報システムが普及するか否かを評価するための指標として社会的受容性を導入している。さらに、協調カーナビが社会的受容性を満足していることを確認した。従来研究において、現在の混雑情報を配信するだけの交通情報システムでは、局所的に個人的誘因を満足することがあっても、社会的受容性を満足しないことが明らかにされている。そのため、協調カーナビが個人的誘因と社会的受容性を満足したというシミュレーション結果は価値のあるものである。

4.2 道路網の構造の影響

次に、格子状網と放射環状網における協調カーナビの効果の違いについて論じる。放射環状網において、出発地と目的地の組に対して最短距離経路は一つか二つしか存在しない。この場合、最短距離経路は最も内側の環状路を通ることが多いため、SDドライバーはその最も内側の環状路に集中しがちである。STドライバーやRISドライバーは現在の混雑状況に基づいて経路を決定するので、SDドライバーが中心付近で発生させる混雑を回避できる。しかし、STドライバーは最も内側の環状路の混雑を避けるために空いている経路に集中して、第二、第三の内側の環状路で混雑を発生させてしまうことがある。一方、RISドライバーは経路情報を共有し、空いている経路に集中することなく第二、第三の内側の環状路での混雑の発生を回避できる。そのため、RISドライバーは放射環状網において個人的誘因と社会的受容性を満足できる。

格子状網では、出発地と目的地の組に対して放射環状の場合よりも多くの最短距離経路が存在する。SDドライバーはその経路の中からランダムに一つの経路を選択するので、道路網の中央付近に集中しない。道路網全般でSDドライバーの経路の重なり具合によって

混雑が発生することがあるが、STドライバーやRISドライバーが事前にこの混雑を察知して、回避することは困難である。一度格子状網で混雑が発生すると、STドライバーがその混雑を避けるために近辺の空いている経路に集中して、その周辺のリンクでも混雑を発生させてしまう。この場合、RISドライバーもその混雑に巻き込まれてしまう。この現象は、RISドライバーの割合が比較的高い場合も発生するため、格子状網において個人的誘因と社会的受容性を満足しているが、SDドライバー、STドライバー、RISドライバーの旅行時間の差が小さく、RISドライバーの割合が増加してもRISドライバーの旅行時間が単調に減少しないことがある。

4.3 協調カーナビの実現に向けて

情報提供サービスの実現に向けた協調カーナビの実装について論じる。本論文の初めで、RISドライバーと経路情報サーバの間の通信には、携帯電話のような長距離通信を用いた直接的な通信を示唆していた。しかし、首都圏全域を覆うような広大な道路網に対して協調カーナビを適用する場合、直接的な通信は膨大な通信負荷を生じるため現実的ではない。そのため、信号機がRISドライバーから経路情報を集め、高速専用回線を使用して経路情報サーバへ伝えるという信号機を中継器としたシステム構成が妥当であると考えている。RISドライバーと信号機間の通信手段に関しては、近距離双方向通信として既に開発されているDSRC(Dedicated Short Range Communication)や赤外線ビーコン¹²⁾が利用可能である。信号機と協調カーナビをつなぎ、期待混雑度等の予測情報を信号機の広域系統制御に利用できれば、交通量が増加すると判断された経路の通過量を事前に増加させ、混雑の発生を回避するような動的な信号制御による道路交通システムの効率化が望める。さらに、道路交通システムに限らず、その他の交通システムや物流システムと協力的な連携ができれば、都市インフラの物理的な容量を増加させ、提供する情報サービスの質を向上させることが期待できる。また、本論文で提案した情報共有による協調カーナビは、車両流だけでなく人流制御や航空交通管制⁵⁾といったシステムにおいても混雑回避に関して効果があると考えている。

5. まとめ

本論文では、経路情報サーバを用いて各車両の経路情報を共有し、共有した経路情報に基づいて各車両が経路を算出するシステムを協調カーナビとして提案した。本論文の目的は、提案した協調カーナビが個人及び

システム全体の移動効率の向上に対する効果を持つことを示すことである。マイクロレベルの経路選択行動とマクロレベルの混雑発生の関係を検証するために、単純な交通流モデルを構築した。出発地から目的地までの経路選択の方法に関して、最短距離経路戦略 (SD)、最短時間経路戦略 (ST)、経路情報共有戦略 (RIS) の3種類の経路選択戦略を提案し、比較した。協調カーナビの効果を検証するため、格子状網と放射環状網において3種類の経路選択戦略の比率を変えてシミュレーションをおこなった。協調カーナビの効果を個人的誘因と社会的受容性という2点から評価し、格子状網と放射環状網の双方において協調カーナビが有効であることを確認した。格子状網と放射環状網における協調カーナビの効果の違いについて考察し、協調カーナビの実際の道路網への応用の可能性について論じた。

参 考 文 献

- 1) Ando, Y., Fukazawa, Y., Masutani, O., Hiro-toshi Iwasaki H., Honiden, S.: Performance of Pheromone Model for Predicting Traffic Congestion. In Proceedings of the Fifth International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems, pp.73-80 (2006)
- 2) Bazzan, A., Boffo, F., Klugl, F.: Avoiding the Braess Paradox with Information Manipulation. In Proceedings of Workshop on Agents In Traffic And Transportation in Third International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (ATT 2004), pp.1-7 (2004)
- 3) Floyd, S. and Jacobson, V.: Random Early Detection gateways for Congestion Avoidance. IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol.1, No.4, pp.397-413 (1993)
- 4) Horiguchi, R., Kuwahara, M., Nishikawa, I.: The Model Validation of Traffic Simulation System for Urban Road Networks: 'AVENUE'. In Proceedings of the Second World Congress on Intelligent Transport Systems '95 (IV), pp.1977-1982 (1995)
- 5) Jared, H., Ryan, J., James, A., Richard L. Frost R. L., Stirling W. C.: A Cooperative Multi-Agent Approach to Free Flight In Proceedings of the Fourth International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems, pp.1083-1090 (2005)
- 6) Kawamura, H., Kurumatani, K., Ohuchi, A.: Modeling of Theme Park Problem with Multiagent for Mass User Support, In Working Note of The International Joint Conference of Artificial Intelligence 2003, Workshop on Multiagent for Mass User Support, pp.1-7 (2003)
- 7) Klugl, F., Bazzan, A.L.C., Wahle, J.: Selection of Information Types Based on Personal Utility: A Testbed for Traffic Information Markets. In Proceedings of the Second International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems, pp.377-384 (2003)
- 8) Kurumatani, K.: Mass User Support by Social Coordination Among Citizens in a Real Environment. In Multiagent for Mass User Support, LNAI 3012, Springer, pp.1-19 (2004)
- 9) Kurumatani, K.: Social Coordination with Architecture for Ubiquitous Agents: CONSORTS. In Proceedings of International Conference on Intelligent Agents, Web Technologies and Internet Commerce 2003 (CD-ROM) (2003)
- 10) Mahmassani, H. S., Jayakrishnan, R.: System Performance and User Response Under Real-Time Information in a Congested Traffic Corridor. Transportation Research, 25A(5), pp.293-307 (1991)
- 11) Nakashima, H.: Grounding to the Real World - Architecture for Ubiquitous Computing -. Springer LNAI 2871 Foundations of Intelligent Systems, pp.7-11 (2003)
- 12) Otakeguchi, K., Horiuchi, T.: Conditions and Analysis of the Up-Link Information Gathered from Infrared Beacons in Japan. In Proceedings of the 11th World Congress on Intelligent Transport Systems (CD-ROM) (2004)
- 13) Shiose, T., Onitsuka, T., Taura, T.: Effective Information Provision for Relieving Traffic Congestion. In Proceedings of the 4th International Conference on Intelligence and Multimedia Applications, pp.138-142 (2001)
- 14) Suzuki, R., Arita T.: Effects of Information Sharing on Collective Behaviors in Competitive Populations. In Proceedings of the Eight International Symposium on Artificial Life and Robotics, pp.36-39 (2003)
- 15) Tanahashi, I., Kitaoka, H., Baba, M., H. Mori, H., Terada, S., Teramoto, E.: NETSTREAM, a Traffic Simulator for Large-scale Road Networks, R & D Review of Toyota CRDL, 37(2), pp.47-53 (2002) (in Japanese)
- 16) Teramoto, E., Baba, M., Mori, H., Asano, Y., Morita, H.: NETSTREAM: Traffic Simulator for Evaluating Traffic Information Systems. In Proceedings of the IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems '97 (CD-ROM) (1997)
- 17) <http://premium-club.jp/PR/>
- 18) <http://www.vics.or.jp/english/index.html>