

特集 「地上交通システムをより知的に」

ITS セカンドステージにおける AI の役割

Role of Artificial Intelligence in the Second Stage of Intelligent Transport Systems

狩野 均
Hitoshi Kanoh

筑波大学大学院システム情報工学研究科
Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba.
kanoh@cs.tsukuba.ac.jp

Keywords: intelligent transport systems, transportation, artificial intelligence, second stage.

1. はじめに

ITS (Intelligent Transport Systems) とは、情報・通信・制御技術を交通網の利用の改善に適用した交通システムの総称であり、人と道路と車両を一体のシステムとして扱うところに特徴がある [Chen 99]. ITS の市場規模は、情報提供分野で約 6 兆円、インフラストラクチャ分野で約 5 兆円、地図ソフトウェア、コンテンツなどのサービス分野で約 1 兆円と試算されており [スマート 1 04], 新たな情報サービスなどの市場創出の拡大が期待されている。

日本の ITS は、1994 年からカーナビゲーション (カーナビ) が本格的に普及し始めたのを皮切りに、1996 年には VICS による交通情報の提供が開始、2001 年から ETC が実用化されるなど、社会や生活の一部として定着し始めている。2004 年に、新たなモビリティ社会を実現するための具体的な方策として、国土交通省道路局から、「ITS, セカンドステージへ」と題した提言が行われた [スマート 2 04]。これは、ファーストステージの成果である各種サービスが進化・融合・連携することにより、安全・安心、環境、快適の各サービスシーンにおける移動・交通の質の向上を目指したものとなっている (図 1)。

ITS のセカンドステージにおける具体的な研究分野としては、自動車の高知能化、交通管理の高度化、交通情報提供の高度化、ならびに高齢者や弱者に対する認知・

判断のサポートなどがあげられている [日本 ITS 推進会議 04]。これらの中には、本学会と関連の深い分野も多い。2006 年 12 月に催された第 5 回 ITS シンポジウム (ITS Japan 主催) で発表された研究の約半数が、画像・視覚認識、データマイニング、認知モデルなど本学会に直接関連する内容であることからもうかがうことができる。

以上を踏まえ、本稿では、「ITS セカンドステージ」を実現するための AI 技術について解説する。まず、ファーストステージの成果について現状を整理する。次に、セカンドステージで重要となる研究テーマについて、公表されているものをまとめる。最後に、ITS 関連の学術雑誌・国際会議・研究会・シンポジウムで最近発表された約 600 件の論文から、セカンドステージを実現するために必要とされる AI 技術を整理して概観する。

2. ITS の現状

本章では、AI 関係者を対象として ITS の現状を概観する。詳細は [道路局, 国土技術, スマート 2 04, スマート 06, 自動車研究所 05, 情報処理 07] を参照のこと。

2.1 カーナビの普及

1994 年頃から本格的に普及し始めたカーナビは、2006 年 9 月には 2430 万台が出荷されている。自動車の 3 台に 1 台近くは装備されており、自動車の標準的な装備となりつつある。現在のカーナビは、単なるナビゲーションではなく、周辺の地図の表示や音声案内、観光地やレストランの案内などにより、ドライバの快適で安全、便利な運転を支援するアシスタントとなっている。また、VICS 情報を利用して渋滞を予測回避する経路探索技術も開発されている。民間企業による情報配信 (テレマティクスサービス) も実用化されており、自動車メーカー各社が次々に新しい商用サービスを開始している。

2.2 VICS の普及

(財) 道路交通情報通信システムセンターが運営する VICS (Vehicle Information and Communication

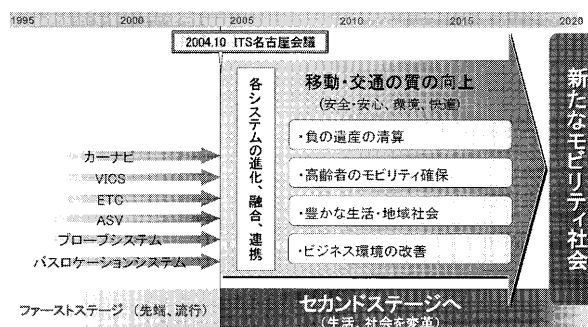


図 1 ITS セカンドステージの概要 [スマート 3 04]

System) は、カーナビに道路交通情報や駐車場満空情報、事故や工事規制といったリアルタイムの情報を付加するものである。1996 年にサービスを開始し、すでに全国へのサービス展開を完了している。VICS ユニットの出荷台数は 1 658 万台 (2006 年 9 月) に達しており、現在ではカーナビの標準的な装備となっている。

2.3 ETC の普及

ETC (Electronic Toll Collection System; ノンストップ自動料金支払いシステム) は、料金所渋滞の解消や高速道路の運営コストの低減をめざすものとして、2001 年 3 月に本格運用が開始された。2007 年 3 月現在、ETC 車載器の累積セットアップ台数は 1 638 万台、利用率は約 67% となっている。また、一部料金所では通過交通量が増加しているにもかかわらず、ETC の普及により、渋滞がほぼ解消されるなどの目に見える効果が確認されている。

2.4 ASV の高度化

ASV (Advanced Safety Vehicle; 先進安全自動車) とは、エレクトロニクス技術などの新技術により安全性・快適性を格段に高めた自動車のことである。現在、さまざまなシステムが実用化されている。1995 年に前方車両との車間距離を自動的に調整する ACC (Adaptive Cruise Control) が世界で初めて商用化され、世界最高水準の車両制御技術による安全への取組みが進められている。その後、車線維持支援のためのハンドル制御機能、衝突被害軽減のためのブレーキ制御機能など次々と先進的な機能が商品化され、走行支援システム実用化に向けた世界最先端の取組みが進展している。

2.5 バスロケによる位置情報サービス

バスロケ (バスロケーションシステム) は、GPS を利用してバスの位置やバス停へのバスの接近を知らせ、バス利用者の利便性を高めるものとして導入されてきた。1999 年頃より急速に普及しはじめ、2004 年には、全国のバス事業者の約 16% にあたる約 80 事業者、約 13 000 台に導入された。このシステムの効果として、利用回数の増加が確認されているほか、バス待ち時間の短縮化に寄与している。またバスの接近を検知し、信号機を優先的に制御することでバスの定時性の向上を図る PTPS (公共車両優先システム) も 2004 年の時点で 34 都道府県に導入されている。これは、マイカーから大量公共輸送機関への利用転換を促すことで、交通総量の削減と交通渋滞の緩和を目指している。

2.6 プローブカーによる交通情報の収集

自動車を移動体の交通観測モニタリング装置と捉え、きめ細かな交通流や交通行動、位置情報、車両挙動さらには気候や自然に係わる状況をモニタリングするシステ

ムをプローブカーシステムという。プローブカーを使った渋滞情報サービスは、ホンダが 2003 年に実用化しているほか、トヨタ自動車も経済産業省とともに 2007 年度をめどに実用化を計画している。プローブカーは時間的、空間的に連続したプローブデータを収集するため、いつ、どこで、どの程度の渋滞が発生しているかを把握することが可能である。また、特定の区間の通過所要時間の分布を見ることにより、渋滞のピークや渋滞継続時間といった詳細な分析も可能となる。さらに、プローブカーによる旅行時間データと交通量を用いて年間の渋滞損失額を算定することで、ITS による経済効果をモニタリングすることもできる。

2.7 スマート IC

スマート IC とは、ETC 専用インタチェンジのことで、2006 年 10 月 1 日から全国 18 か所で本格運用を開始している。現在、スマート IC 運営上の課題などを把握するため、一般道に容易に接続可能な既存のサービスエリア・パーキングエリアのほかに高速道路本線に ETC 専用の仮出入口を設置する社会実験を、国土交通省、都道府県などと共同で実施している。

2.8 ETC 多目的利用

2005 年度より、公共駐車場において、ETC 機器番号を利用した駐車場決済サービスの社会実験を実施している。2007 年度から本格運用の予定。また、2006 年 11 月から、ETC によるカーフェリーの乗船手続きの導入実験を開始した。あらかじめ登録された ETC 機器番号と車両情報を活用して手続きを大幅に簡略化できることが期待されている。さらに、民間企業による ETC 多目的利用も進んでいる。駐車場決済、ガソリンスタンド決済、ファミリーレストランなどにおける情報提供サービスを展開している。

2.9 前方障害物情報提供

カーブの先の渋滞や停止・低速車両を道路のセンサがリアルタイムに検知し、カーブ手前のドライバにカーナビの図形や音で知らせる。これによりカーブでの追突事故やヒヤリ・ハットなどの削減を目指している。2005 年 9 月から首都高速道路 4 号新宿参宮橋カーブで社会実験を実施している。実験開始以降、事故件数が大幅に減少し、現在でも効果を維持している。

2.10 走りやすさマップ

デジタル地図を活用した取組みとして、道路構造に関する「走りやすさ」が一目でわかる「走りやすさマップ」全国版を 2006 年 9 月に国交省道路局が公表した。Web 版路線検索システムやカーナビへの展開などに向け、国土技術政策総合研究所にて官民共同研究を実施している。道路構造上の「走りやすさ」をランク別に色分

け表示するほか、渋滞情報、事故危険箇所、通行規制区間、交差点間距離、道の駅など、「走りやすさ」と関連の深い情報が記載されている。

3. これからの ITS

セカンドステージを迎えた ITS は、国民生活の向上や社会の変革に貢献することが期待されている。特に ITS が期待される分野としては、「安全・安心」、「環境・効率」、「快適・利便」の三つがあげられる (図 1)。本章では、16 の研究テーマについて [日本 ITS 推進会議 04] から抜粋する。

3.1 「安全・安心」道路の安全性向上

車両エレクトロニクス技術や情報通信技術、車載機の実用化・普及により、車両がドライバの認知・判断・操作を支援することが可能となる。また、道路状況や路面状況の検知技術により迅速な事象把握が可能となるとともに、通信を通じて車両へ伝達し、ドライバに直接情報提供することができるようになる。さらに、高齢化に伴って低下する知覚機能や運動機能を ITS 技術を用いて補助し、事故の要因を軽減する。これらを実現することで、交通事故を削減する。

(1) 自動車の高知能化

車両に搭載したセンサなどを活用した車両自律の安全運転を支援するシステムにより事故回避・被害軽減をめざす。これにより、自動車による死傷事故の約 4 割を削減することが期待される。自律方式による安全運転支援の技術を活用したシステムの普及促進活動が行われている。

(2) インフラの高度化

道路状況・路面状況、交通渋滞などは情報板などによりドライバに情報提供されている。今後はより精度の高い旅行時間などや交差点における車両・歩行者などの検知技術によりさらに充実が期待される。

(3) 車々間協調および路車間協調

自動車単体では対応できない事故への対策として、ワイヤレス技術を活用した車々間協調および路車間協調の安全運転支援システムについて、実用化に向けた研究開発などの取組みが期待される。

(4) 歩行者・自転車の安全支援

歩行者・自転車・二輪車と走行車両を検知し、相互の位置や接近状況を情報提供し、交通弱者の事故を減少させる。

(5) 交通事故負傷者の救助・救急の高度化

自動化などによる交通事故通報の迅速化、救急車両の現場への到達時間の短縮化、事故現場または搬送中の迅速・的確な応急措置など、負傷者搬送と救急医療支援の高度化を行う。

3.2 「環境・効率」交通の円滑化・環境負荷の軽減

渋滞状況などの検知技術や交通マネジメントのための車両特定技術、情報通信技術を複合的に利活用し交通流を円滑化する。駐車場管理の高度化、また交通信号制御を高度化することにより、渋滞の軽減に寄与する。さらに、車両の運行管理に寄与する物流関連情報システムなどを普及・利用促進することにより物流の効率化および渋滞の軽減に寄与する。

(6) 交通需要の適正化

多様な料金制度などによる交通需要の適正化や、観光地などにおける域内交通総量の適正化を行う。

(7) 道路交通管理の高度化

特性に応じたさまざまな通信メディアや将来技術を活用し、精度の高い道路交通情報を収集・提供する。また、効果的な交通誘導・分散を実施するほか、リアルタイム信号制御や環境対応型信号制御の導入による信号制御の高度化が期待される。

(8) 駐車場システムの高度化

都市圏における駐車対策として、駐車場予約システム、需給状況に対応した弾力的な料金設定、詳細な駐車場情報提供などが期待される。

(9) 物流の効率化

電子タグの物流への活用、情報システムの共同利用支援、車両の自動認識技術の活用などにより、効率的な物流の実現が期待される。

3.3 「快適・利便」個人の利便性向上と地域活性化

渋滞をリアルタイムで検出し、また車両エレクトロニクス技術、情報のシームレス化により、交通情報などをリアルタイムに提供する。ETC 専用のスマート IC を活用して地域的高速道路へのアクセス性の向上、バスロケーションシステムなどを活用したバス交通の再生により、地域での公共交通利用者のスムーズでストレスの少ない移動を可能とする。さらに、高度な情報通信サービスの活用により、利用しやすい移動手段を確保することで、健常者のみならず高齢者、身障者、外国人旅行者などの円滑な移動に貢献する。

(10) 道路交通情報提供の高度化と活用促進

プローブ情報の活用や各種センサの充実、情報メディアの高度化などによるリアルタイムで高精度、高信頼度な道路交通情報提供や、災害・緊急情報の提供、最新で詳細な地図情報の更新・提供により、利用者の利便性の向上を図る。

(11) ITS コンテンツの高度な活用

利用者が真に必要なとする情報をタイムリーに、ITS コンテンツとして提供する。

(12) 高齢者・障害者の利便性向上

視覚障害、肢体不自由などの障害者・高齢者の移動にとって、安全・確実・迅速な誘導・案内を行うことができる移動支援システムの開発と機能・情報内容などの規

格・標準化が期待される。

(13) 地域と高速道路とのアクセス性向上

ETC 専用のインタチェンジを活用して追加インタチェンジの整備を推進し、高速道路へのアクセス向上、周辺地域の振興を行う。

(14) 公共交通を利用したインタモーダルな移動の利便性向上

携帯電話などの情報インフラによる乗換情報や運行情報の提供、共通 IC カード利用による支払いなどにより公共交通を利用したインタモーダルな移動の利便性向上を図るとともに、公共交通の維持、活性化を図る。

3・4 共通基盤の整備と国際標準化

(15) ITS プラットフォームの構築

ユビキタス環境に対応し、DSRC (Dedicated Short Range Communication) 統合ネットワークの構築・位置特定・デジタル道路地図の高精度化、一つの車載器による多様なサービスの実現などにより、各種の ITS サービスに共通的に利用可能なプラットフォームを構築する。

(16) ITS の国際標準化・国際基準の策定などの推進

新たなサービスを国際社会に導入するには、信頼感のある標準化された仕様や手続きが必要であり、国際標準化の推進や、国際基準の策定などが必要となる。

4. 関連する AI 技術

セカンドステージに入った ITS の研究テーマに関連する AI 技術を整理するために、ITS 関係の最近の雑

表 1 ITS 関係の雑誌・会議における論文の件数

雑誌・会議名	全件数	AI 関連件数
IEEE Transactions	125	62
ITSC'05	212	92
情報処理学会報告	201	54
ITS シンポジウム	73	43
合計	611	251

誌・会議を対象として、AI 技術を用いている論文を調査した。AI 研究にはいうまでもなく国境は存在しないが、ITS は国によって事情が異なるため、地域性のある学問となっている。このため今回の調査では、国内の論文にも重点を置いた。調査の対象としては、IEEE Transactions on ITS (2004 年 12 月～2007 年 3 月)、第 8 回 International IEEE Conference on ITS (ITSC'05, 2005 年 9 月)、情報処理学会 ITS 研究会報告 (2004 年 3 月～2007 年 3 月)、ITS Japan 主催の第 5 回 ITS シンポジウム (2006 年 12 月) に発表された全論文 611 件とした (表 1 参照)。表 1 から、ITS 関係の論文の約 40% に AI 技術が用いられていることがわかる。

調査結果をまとめて表 2 に示す。この表は、ITS の研究テーマごとに見た AI の分野別論文件数を示している。

表中の「ITS セカンドステージの研究テーマ」の番号は、3 章で述べた研究テーマの番号に対応している。また、「AI の研究分野」は、本学会誌執筆案内の論文該当分野の大分類に従った。なお、該当する論文が 1 件もなかつ

表 2 ITS セカンドステージの研究テーマごとに見た AI 関連の分野別論文数

ITS セカンドステージの研究テーマ \ AI の研究分野	基礎・論理・推論	認知科学	知識モデリング	学習	進化・創発	画像・音声メディア	ヒューマンコンピュータ	エージェント	Web インテリジェンス	ロボティクス	データマイニング	ソフトウェアエンジニアリング	教育・学習支援	小計
(1) 自動車の高知能化	2	5		3		47	1	1		2	4	6		71
(2) インフラの高度化		4	1		1	11	1				2	1	2	23
(3) 車車間協調および路車間協調						1								1
(4) 歩行者・自転車の安全支援		1				14								15
(5) 交通事故負傷者の救助・救急化						1					1			2
(6) 交通需要の適正化						0		1			2			3
(7) 道路交通管理の高度化	17	3	1	2	3	13		12			4	9		64
(8) 駐車場システムの高度化						1								1
(9) 物流の効率化	4					1								5
(10) 道路交通情報提供の高度化	13	2	1	2	2	5	3	4	2		10	4		48
(11) ITS コンテンツの高度な活用	3					1			3		1			8
(12) 高齢者・障害者の利便性向上	1	2				1	2							6
(14) 公共交通を利用した利便性向上	1										1			2
(15) ITS プラットフォームの構築							1		1					2
小計	41	17	3	7	6	96	8	18	6	2	25	20	2	251

た研究分野・研究テーマは、表 2 から削除してある。

ところで、AI 技術を ITS 分野に応用した論文は、AI 関係の雑誌などにも多数報告されている。本誌の読者が AI 関係者であることを考えると、それらの雑誌を目にする機会も多いと考え、本解説では ITS 関係の雑誌などに限定した。したがって、調査結果は ITS 分野で必要とされている AI 技術を反映していると考ええる。

4.1 ITS から見た AI

AI 技術が多く用いられている ITS の研究テーマを表 3 に示す。「自動車の高知能化」に関しては、視覚センサを用いた無人車の走行アルゴリズム [Jeong 06] などの画像認識関係が多いが、ニューラルネットワークを用いた車の縦横制御 [Kumarawadu 06] やファジイルールを用いた車間距離の自動調整 (ACC) [Naranjo 06] などのソフトコンピューティングの応用も見受けられる。「道路交通管理の高度化」に関しては、並列探索による信号機の最適制御 [Cheng 06]、ナンバープレートの画像認識 [Anag 06]、マルチエージェントモデルを用いた実時間交通シミュレーション [Maroto 06]、交通データと天気の前データからロジスティック回帰分析により交通事故を予測する方法 [Abdel-Aty 06]、ファジィニューラルネットワークによる交通量の予測 [Quek 06] など多岐にわたっている。「道路交通情報提供の高度化」については、実時間交通情報を用いた非定常時の経路探索 [Kim 05a] などの経路案内に関する分野と、サポートベクターマシンによる旅行時間の予測 [Wu 04] などの渋滞情報提供に関する分野が中心となっている。また、「インフラの高度化」では、交差点に設置した ITV カメラによる事故予測方法 [Atev 05] など、「歩行者・自転車の安全支援」では、赤外線カメラによる夜間の歩行者の検出 [Xu 05] などの画像認識関係の論文が全体の 7 割以上を占めている。

表 3 AI 技術が多く用いられている ITS 研究テーマ

順位	研究テーマ	件数
1	自動車の高知能化	71
2	道路交通管理の高度化	64
3	道路交通情報提供の高度化	48
4	インフラの高度化	23
5	歩行者・自転車の安全支援	15

4.2 AI から見た ITS

次に、ITS に関連の深い AI の研究分野を表 4 に示す。画像認識関係が全体の約 37% を占めている。認識対象は、車 [Zhu 06]、道路 [Jeong 06]、標識 [Wen 05]、歩行者 [Bird 05]、横断歩道 [Uddin 05]、障害物 [Ruichek 05] など多岐にわたっている。また、ステレオビジョン [Mark 06]、レーダ [Folster 05]、カラー画像 [He 04]、ビ

表 4 ITS に関連の深い AI 研究分野

順位	研究分野	件数
1	画像・音声メディア	96
2	基礎・理論・推論	41
3	データマイニング	25
4	ソフトコンピューティング	20
5	エージェント	18
6	認知科学	17

ジョンとレーダのデータフュージョン [Alessandretti 07] を用いた研究も見受けられる。ITS 分野の画像認識に関しては、とにかく数が多い。サーベイ論文 [Gandhi 06, McCall 06, Wang 05] も多く見られるので参照のこと。

「基礎・理論・推論」の探索関係では、目的地までの最適経路探索 [Kim 05b]、トラックの配送経路探索 [Jula 06]、信号機の最適制御 [Heung 05] などに、不確定な交通量を考慮したダイナミックプログラミングを適用している。また、より大規模な問題に対して、タブーサーチと進化的アルゴリズムを組み合わせた時間枠付き配送積込み計画問題の解法 [Kannarti 05]、シミュレーションでアニーリングと局所探索法を組み合わせた時間枠付き配送計画問題の解法 [Bent 04]、ダイクストラ法と多目的遺伝的アルゴリズムを組み合わせた予測経路探索手法 [原 06] など提案されている。ITS における探索問題には多くの問題点がある。①交通量の予測精度が十分でない、②現実の道路ネットワークは大規模かつ複雑である、③目的関数と制約条件が多種多様である (距離・時間・安全性・快適性・交通規制など)、④交差点における右左折の評価が難しいこと、などがあげられる。

「データマイニング」の分野では、交通量の過去データとリアルタイムデータを用いた短期予測に関する研究が中心となっている。主な手法としては、最近隣法 [Tang 05]、サポートベクターマシン [Wu 04]、AR モデル [杉崎 05]、主成分分析 [熊谷 04]、ニューラルネットワーク [Quek 06] などが報告されている。また、判別分析と回帰分析を用いて事故発生時に着目した旅行時間を予測する方法 [大場 06] も報告されている。ほかの応用例としては、信号機の動作データから c-means 法により特定のパターンを抽出する方法 [Wang 05]、交通機関の自動料金収集データから乗換えパターンを抽出する方法 [Hofmann 05]、カーナビの履歴データから頻出マイニング手法 (FP-growth) により旅行者の目的地を予測する方法 [Kostov 05]、人口・道路条件・交通量データから、重回帰分析により自動車の排出量を推計する方法 [棚橋 04]、車両運動データにカルマンフィルタとニューラルネットワークを適用して冬期路面摩擦係数を予測する方法 [林 06]、など多数報告されている。

なお、交通量の予測に関しては、交通シミュレーショ

ンにリアルタイムデータを適用する方法 [Kanoh 05] も提案されている。この方法では、親局にリアルタイムデータを集積して一括計算する必要がある。一方、車載カーナビで予測値を計算するためには、過去データを DVD に記憶できる程度に圧縮するアルゴリズムの開発が現実的な課題となっている。

「ソフトコンピューティング」の分野では、ファジイ理論の応用としては、運転手の眠気検出 [Bergasa 06]、交通量センサの設置されていない道路における交通量の推定 [Kanoh 05] などがある。また、ニューラルネットワークの応用としては、信号機の最適制御 [Srinivasan 06]、交通量の解析と予測 [Quek 06]、ステレオカメラを用いた障害物検知 [Ruichek 05] など、ベイジアンネットワークの応用としては、交通量予測 [Shiliang 06]、自動運転のためのパワーステアリング制御 [Naranjo 05]、固定カメラの画像を用いた車両の行動パターン分類 [Kumar 05] などが報告されている。

「エージェント」の応用としては、車両をエージェントとみなしたマルチエージェントシミュレーション [Maroto 06] が中心となっているが、道路を 5 m 程度のセルに分割し、道路と車両をセルの状態としてモデル化したセルオートマトンモデル [Marques 05] も高速道路を中心に利用されている。このモデルを提案した Nagel が、渋滞の発生を創発現象と捉えて人工生命の国際会議 (ALife IV) に論文を発表したこともあり、AI 分野ではこちらのモデルが有名になっている。交通シミュレーション以外の応用としては、各種の交通情報・管理センターと利用者間の通信を行う仮想エージェントを導入した研究 [Zhang 04]、歩行者をエージェントとみなして、位置情報をもとに有用な情報をリアルタイムに提供するシステム [菊池 04]、歩行者シミュレーション [馬場 06]、車両間の経路情報を共有する協調カーナビ [山下 06] などがあげられる。なお、国内の交通シミュレーションに関する総合情報は、交通工学研究会のホームページ [交通工学研究会] にまとめられている。

「認知科学」の応用としては、ドライビングシミュレータを用いた研究が多い。ザグ部 (道路勾配が下りから上りに変わる部分) における運転操作モデルを構築・評価した研究 [宮本 06]、脳機能障害者の認知・反応時間の測定に関する研究 [宮地 06]、事故多発区間における車両挙動分析 [西原 06]、黄色信号に直面したときの運転手の判断・行動分析 [織田 06] などがあげられるが、今回の調査結果では国内の論文に限られていた。また、実際の車内にセンサを設置してドライバの行動を分析した研究 [ラクシ 06] や道路に設置したカメラで撮影した車両の行動を詳細に分類した研究 [Rigolli 05] も見受けられる。

5. お わ り に

本解説では、ITS のセカンドステージを実現するための AI 技術について述べた。ITS 関連の研究の約 40% に AI 技術が用いられていることがわかった。交通システムの発展は人類に豊かさをもたらしたが、反面、渋滞や地球温暖化などが大きな社会問題となっている。ITS の目的は、最新の ICT (Information and Communication Technology) を用いてこれらの問題を解決し、安全・安心、快適で環境に優しい社会を実現することである。AI 技術はその柱になっており、今後 AI 研究者が ITS 分野に積極的に参画することが望まれている。

今回の執筆にあたり多数の論文に目を通したが、著者の浅学ゆえ、思わぬ間違いがあるかもしれない。この点は読者諸賢のご批判を仰ぎたい。

◇ 参 考 文 献 ◇

- [Abdel-Aty 06] Abdel-Aty, M. A. and Pemmanaboina, R.: Calibrating a real-time traffic crash-prediction model using archived weather and ITS traffic data, *IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems*, Vol. 7, No. 2, pp. 167-174 (2006)
- [Alessandretti 07] Alessandretti, G., Broggi, A. and Cerri, P.: Vehicle and guard rail detection using radar and vision data fusion, *IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems*, Vol. 8, No. 1, pp. 95-105 (2007)
- [Anag 06] Anagnostopoulos, C. N. E., Anagnostopoulos, I. E., Loumos, V. and Kayafas, E.: A license plate-recognition algorithm for intelligent transportation system applications, *IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems*, Vol. 7, No. 3, pp. 377-392 (2006)
- [Atev 05] Atev, S., Arumugam, H., Masoud, O., Janardan, R. and Papanikolopoulos, N. P.: A vision-based approach to collision prediction at traffic intersections, *IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems*, Vol. 6, No. 4, pp. 416-423 (2005)
- [馬場 06] 馬場: マルチエージェント型歩行者シミュレータ・Lgion の紹介と最近の適用事例, 情処研報「高度交通システム」, ITS-25, pp. 55-62 (2006)
- [Bent 04] Bent, R. and Hentenryck, P. V.: A two-stage hybrid local search for the vehicle routing problem with time windows, *Transportation Science*, Vol. 38, No. 4, pp. 515-530 (2004)
- [Bergasa 06] Bergasa, L. M., Nuevo, J., Sotelo, M. A., Barea, R. and Lopez, M. E.: Real-time system for monitoring driver vigilance, *IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems*, Vol. 7, No. 1, pp. 63-77 (2006)
- [Bird 05] Bird, N. D., Masoud, O., Papanikolopoulos, N. P. and Isaacs, A.: Detection of loitering individuals in public transportation areas, *IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems*, Vol. 6, No. 2, pp. 167-177 (2005)
- [Chen 99] Chen, K. and Miles, J. C.: *ITS Handbook 2000 - Recommendations from the World Road Association (PIARC)*, Artech House (1999)
- [Cheng 06] Cheng, S.-F., Epelman, M. A. and Smith, R. L.: CoSIGN: A parallel algorithm for coordinated traffic signal control, *IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems*, Vol. 7, No. 4, pp. 551-564 (2006)
- [道路局] 国土交通省道路局高度道路交通システム推進室: ITS トップ, <http://www.mlit.go.jp/road/ITS/j-html/>
- [Folster 05] Folster, F. and Rohling, H.: Data association and tracking for automotive radar networks, *IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems*, Vol. 6, No. 4, pp. 370-377 (2005)

- [Gandhi 06] Gandhi, T. and Trivedi, M. M.: Vehicle surround capture: Survey of techniques and a novel omni-video-based approach for dynamic panoramic surround maps, *IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems*, Vol. 7, No. 3, pp. 293-308 (2006)
- [原 06] 原, 塚原, 狩野, 曾田, 黒河: 多目的遺伝的アルゴリズムを用いたカーナビゲーションのための予測経路探, 情処研報「高度交通システム」, ITS-24, pp. 31-38 (2006)
- [林 06] 林, 中辻, 白川, 川村: 車両運動データによる冬期路面摩擦係数のオンライン予測, ITS Japan 主催第5回 ITS シンポジウム議事録, pp. 59-64 (2006)
- [He 04] He, Y., Wang, H. and Zhang, B.: Color-based road detection in urban traffic scenes, *IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems*, Vol. 5, No. 4, pp. 309-318 (2004)
- [Heung 05] Heung, T. H., Ho, T. K. and Fung, Y. F.: Coordinated road-junction traffic control by dynamic programming, *IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems*, Vol. 6, No. 3, pp. 341-350 (2005)
- [Hofmann 05] Hofmann, M. and O'Mahony, M.: Transfer journey identification and analyses from electric fare collection data, *Int. IEEE Conf. Intelligent Transportation Systems*, pp. 825-830 (2005)
- [Jeong 06] Jeong, P. and Nedeveschi, S.: Local difference probability (LDP)-based environment adaptive algorithm for unmanned ground vehicle, *IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems*, Vol. 7, No. 3, pp. 282-292 (2006)
- [Jula 06] Jula, H., Dessouky, M. and Ioannou, P.A.: Truck route planning in nonstationary stochastic networks with time windows at customer locations, *IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems*, Vol. 7, No. 1, pp. 51-62 (2006)
- [Kannarti 05] Kannarti, R., et al.: Improved tabu search in an hybrid evolutionary approach for the PDPTW, *Int. IEEE Conf. Intelligent Transportation Systems*, pp. 682-687 (2005)
- [Kanoh 05] Kanoh, H., Furukawa, T., Tsukahara, S., Hara, K., Nishi, H. and Kurokawa, H.: Short-term traffic prediction using fuzzy c-means and cellular automata in a wide-area road network, *Int. IEEE Conf. Intelligent Transportation Systems*, pp. 984-988 (2005)
- [Kim 05a] Kim, S., Lewis, M. E. and White, C. C., III: State space reduction for nonstationary stochastic shortest path problems with real-time traffic information, *IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems*, Vol. 6, No. 3, pp. 273-284 (2005)
- [Kim 05b] Kim, S., Lewis, M. E. and White, C. C., III: Optimal vehicle routing with real-time traffic information, *IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems*, Vol. 6, No. 2, pp. 178-188 (2005)
- [菊池 04] 菊池, 八木, 加藤, 屋代: Nomadic Agent の提案と応用, 情処研報「高度交通システム」, ITS-16, pp. 7-14 (2004)
- [国土技術] 国土交通省国土技術政策総合研究所 ITS 研究室: ITS ホーム, <http://www.nilim.go.jp/japanese/its/index.htm>
- [Kostov 05] Kostov, V., et al.: Travel destination prediction using frequent crossing pattern from driving history, *Int. IEEE Conf. Intelligent Transportation Systems*, pp. 970-977 (2005)
- [交通工学研究会] 交通工学研究会: シミュレーションモデルの紹介, <http://www.jste.or.jp/sim/models/index.html>
- [熊谷 04] 熊谷, 伏木, 横田, 君田: 全国域交通情報予測サービスにおける予測プロセスの効率化, 情処研報「高度交通システム」, ITS-18, pp. 19-26 (2004)
- [Kumar 05] Kumar, P., Ranganath, S., Weimin, H. and Sengupta, K.: Framework for real-time behavior interpretation from traffic video, *IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems*, Vol. 6, No. 1, pp. 43-53 (2005)
- [Kumarawadu 06] Kumarawadu, S. and Lee, T. T.: Neuroadaptive combined lateral and longitudinal control of highway vehicles using RBF networks, *IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems*, Vol. 7, No. 4, pp. 500-512 (2006)
- [Mark 06] van der Mark, W. and Gavrilu, D. M.: Real-time dense stereo for intelligent vehicles, *IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems*, Vol. 7, No. 1, pp. 38-50 (2006)
- [Maroto 06] Maroto, J., Delso, E., Felez, J. and Cabanellas, J. M.: Real-time traffic simulation with a microscopic model, *IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems*, Vol. 7, No. 4, pp. 513-527 (2006)
- [Marques 05] Marques, M. and Neves-Silva, R.: Traffic simulation for intelligent transportation systems development, *Int. IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, pp. 320-325 (2005)
- [McCall 06] McCall, J. C. and Trivedi, M. M.: Video-based lane estimation and tracking for driver assistance: Survey, system, and evaluation, *IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems*, Vol. 7, No. 1, pp. 20-37 (2006)
- [宮地 06] 宮地, 西, 合志, 松永: 脳機能障害者の認知・反応時間測定用ドライビングシミュレータの開発, ITS Japan 主催第5回 ITS シンポジウム議事録, pp. 199-204 (2006)
- [宮本 06] 宮本, 大貫, 鈴木, 須田: ザグ部における速度調整操作モデルのドライバ特性解析, ITS Japan 主催第5回 ITS シンポジウム議事録, pp. 179-184 (2006)
- [Naranjo 05] Naranjo, J. E., Gonzalez, C., Garcia, R., de Pedro, T. and Haber, R. E.: Power-steering control architecture for automatic driving, *IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems*, Vol. 6, No. 4, pp. 406-415 (2005)
- [Naranjo 06] Naranjo, J. E., Gonzalez, C., Garcia, R. and de Pedro, T.: ACC+Stop&go maneuvers with throttle and brake fuzzy control, *IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems*, Vol. 7, No. 2, pp. 213-225 (2006)
- [日本ITS推進会議 04] 日本ITS推進会議: ITS推進の指針, http://www.its-jp.org/topics/doc/its_shishin_v1.1.pdf, ITS Japan (2004)
- [西原 06] 西原, 平岡, 坂谷, 熊本, 山田: ドライビングシミュレータによる事故多発区間における車両コンフリクト発生時の車両挙動分析, ITS Japan 主催第5回 ITS シンポジウム議事録, pp. 309-314 (2006)
- [織田 06] 織田, 田中, 須田, 山口: ジレンマゾーン実験でのドライビングシミュレータの活用, ITS Japan 主催第5回 ITS シンポジウム議事録, pp. 341-346 (2006)
- [大場 06] 大場, 上野, 割田, 森田, 桑原: 高速道路における突発事故発生時の旅行時間, ITS Japan 主催第5回 ITS シンポジウム議事録, pp. 291-296 (2006)
- [Quek 06] Quek, C., Pasquier, M. and Lim, B. B. S.: POP-TRAFFIC: A novel fuzzy neural approach to road traffic analysis and prediction, *IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems*, Vol. 7, No. 2, pp. 133-146 (2006)
- [ラクシ 06] ラクシンチャランサク, 道辻, 永井: 市街地走行データに基づく個別ドライバの通常運転行動の分析, ITS Japan 主催第5回 ITS シンポジウム議事録, pp. 367-372 (2006)
- [Rigolli 05] Rigolli, M., et al.: Driver behavioural classification from trajectory data, *Int. IEEE Conf. Intelligent Transportation Systems*, pp. 889-894 (2005)
- [Ruichek 05] Ruichek, Y.: Multilevel- and neural-network-based stereo-matching method for real-time obstacle detection using linear cameras, *IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems*, Vol. 6, No. 1, pp. 54-62 (2005)
- [スマート1 04] スマートウェイ推進会議: スマートウェイの推進方策, 国土交通省道路局高度道路交通システム推進室, <http://www.its.go.jp/ITS/j-html/Smartway/20040727/siry04.pdf> (2004.7)
- [スマート2 04] スマートウェイ推進会議: ITS セカンドステージへスマートなモビリティ社会の実現—提言, 国土交通省道路局高度道路交通システム推進室, <http://www.its.go.jp/ITS/j-html/Smartway/20040805/1.pdf> (2004.8)
- [スマート3 04] スマートウェイ推進会議: セカンドステージの方向性, 国土交通省道路局高度道路交通システム推進室, <http://www.its.go.jp/ITS/j-html/Smartway/20040609/siry05.pdf> (2004.6)
- [スマート 06] スマートウェイ推進会議: ITS の最近の進捗状況, 国土交通省道路局高度道路交通システム推進室, <http://www.its.go.jp/ITS/j-html/Smartway/20061107/siry01.pdf> (2006)
- [Srinivasan 06] Srinivasan, D., Choy, M. C. and Cheu, R. L.: Neural networks for real-time traffic signal control, *IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems*, Vol. 7, No. 3, pp.

- 261-272 (2006)
- [杉崎 05] 杉崎, 藤田, 平林: プローブカーデータを用いた旅行時間の短期予測, 情報研報「高度交通システム」, ITS-23, pp. 157-164 (2005)
- [Sun 06] Sun, S., Zhang, C. and Yu, G.: A Bayesian network approach to traffic flow forecasting, *IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems*, Vol. 7, No. 1, pp. 124-132 (2006)
- [棚橋 04] 棚橋, 寺田, 鹿島, 國見: 細街路交通を考慮した自動車の排出量推計手法, 情報研報「高度交通システム」, ITS-16, pp. 129-133 (2004)
- [Tang 05] Tang, S. and Gao, H.: Traffic-incident detection algorithm based on nonparametric regression, *IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems*, Vol. 6, No. 1, pp. 38-42 (2005)
- [Uddin 05] Uddin, M. S., Shioyama, T.: Detection of pedestrian crossing using bipolarity feature — An image-based technique, *IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems*, Vol. 6, No. 4, pp. 439-445 (2005)
- [Wang 05] Wang, X., et al.: Using k -means clustering to identify time-of-day break points for traffic signal timing plans, *Int. IEEE Conf. Intelligent Transportation Systems*, pp. 519-524 (2005)
- [Wen 05] Wu, W., Chen, X. and Yang, J.: Detection of text on road signs from video, *IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems*, Vol. 6, No. 4, pp. 378-390 (2005)
- [Wang 05] Wang, K.-f., et al.: A survey of vision-based automatic incident detection technology, *IEEE Int. Conf. Vehicular Electronics and Safety*, pp. 290-295 (2005)
- [Wu 04] Wu, C.-H., Ho, J.-M. and Lee, D. T.: Travel-time prediction with support vector regression, *IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems*, Vol. 5, No. 4, pp. 276-281 (2004)
- [Xu 05] Xu, F., Liu, X. and Fujimura, K.: Pedestrian detection and tracking with night vision, *IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems*, Vol. 6, No. 1, pp. 63-71 (2005)
- [山下 06] 山下, 車谷: 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, 情報処理学会高度交通システム研究会報告, ITS-25, pp. 63-70 (2006)
- [Zhang 04] Zhang, H.-S., Zhang, Y., Li, Z.-H., Hu, D.-C.: Spatial-temporal traffic data analysis based on global data management using MAS, *IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems*, Vol. 5, No. 4, pp. 267-275 (2004)
- [Zhu 06] Zhu, Y., Comaniciu, D., Pellkofer, M. and Koehler, T.: Reliable detection of overtaking vehicles using robust information fusion, *IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems*, Vol. 7, No. 4, pp. 401-414 (2006)
- [自動車研究所 05] 日本自動車研究所: ITS 特集, 自動車研究, 第 27 巻, 第 5 号 (2005)
- [情報処理 07] 情報処理学会: 高度交通システムシンポジウム論文集, Vol. 2007, No. 2 (2007)

2007 年 4 月 6 日 受理

著者紹介



狩野 均 (正会員)

1980 年筑波大学大学院理工学研究科修士課程修了。同年、日立電線(株)入社。同社オプトロシステム研究所において移動体制御用光ジャイロ、屋外侵入監視システム、人工知能・ニューラルネットワークの応用に関する研究に従事。1993 年より筑波大学電子情報工学系。現在、同大学システム情報工学研究科助教授。知識処理・進化計算・人工生命の研究ならびに ITS への応用研究に従事。博士(工学)。1992 年電気学会論文賞, 1999 年 WSC4 論文賞, 2003 年・2006 年情報処理学会 ITS 研究会優秀研究報告賞受賞。情報処理学会, IEEE 各会員。