

法令・判例ベース自動運転システムの実現に向けて

Autonomous Vehicle System based on Laws and Case Laws

西村 悟史*¹
Satoshi Nishimura

岩田 麻希*²
Asaki Iwata

黒川 美和*²
Miwa Kurokawa

丸田 峻也*²
Shun-ya Maruta

梶 大介*²
Daisuke Kaji

丹羽 伸二*²
Shinji Niwa

西村 拓一*¹
Takuichi Nishimura

江原 遥*¹
Yo Ehara

*¹ 産業技術総合研究所

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

*² 株式会社デンソー

DENSO Corporation

Recently autonomous vehicle technology has been developing. Under the circumstances, we focus on the problem how autonomous system understands the rule of traffic. We developed knowledge model for safety driving by using the traffic law, the case law and incident movies.

1. はじめに

自動運転システムには、交通事故や渋滞、燃料消費の削減から快適・利便性の向上まで様々な期待が寄せられている[保坂 2015]. 技術開発も進められており、例えば、Google が自動運転システムの開発に取り組んでいる¹. このような自動運転システムを実現するためには、実際の走行環境からデータを収集し、機械学習を用いて、自動運転システムの運転知能(走行環境の知覚や認知など)を強化することが求められている[井上 2014]. この流れは自然なものと考えられるが、我妻らも指摘するように、万が一を想定した行動決定の推論過程を可視化することも求められる[我妻 2016].

一方、人間のドライバーは交通ルールをもとに判断し、状況に合わせた運転行動を実施している。自動運転システムにおいても、交通ルールに従った運転行動が要求されるが、交通ルールは人間が理解する目的で作られたものであり、それを機械にどのように理解させるかが課題となる。例えば、道路交通法²七十条の「安全運転の義務」は状況によって具体的な運転行動は異なる。自動運転システムが交通ルールを守りながら安全に走行するためには、それら全てを機械可読な形式表現に変換し、システムに遵守させる方法が必要である。

そのような背景のもと、本研究では、定性空間表現、交通ルール、行動モデルを知識ベースとして備える自動運転システムの実現を目的とする。本稿では、構築した右折に関する行動モデルについて報告する。

2. 想定システム

2.1 システム全体構成

図 1 に想定システムの全体構成を示す。想定システムの特徴は、定性空間表現、交通ルール、行動モデルを知識ベースとして備えることにある。本研究における交通ルールとは、法令と判例を合わせたものとする。事故が起きた際の判例情報を扱うことで実際に即した運転行動を実現可能であると考えられる。この

連絡先: 西村悟史, 産業技術総合研究所, 〒135-0064
東京都江東区青海 2-4-7, satoshi.nishimura@aist.go.jp

¹ <https://waymo.com/>

² <http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S35/S35HO105.html>

運転行動を実現するためには、センサの集める情報を認知し空間情報として表現するための定性空間表現と、認知結果と照らし合わせるための交通ルール、それらに基づいて決定する運転行動を表現するための行動モデルが必要となる。

システムの動作は以下のような順序を想定する。まず、センサ情報、地図情報、車車間通信等で得られる他車情報などをシステムが認知する。次に、前述の知識ベースを参照し認知結果を言語情報へ変換する。そして、言語情報に変換された情報を用いて、判断アプリケーションが潜在的に存在する危険を予知しながら、法令に遵守した運転行動を選択する。選択された運転行動に従って、自動運転システムは運転を実施する。また、このシステムの出力を運転システムではなく、運転講習システムに提供することや、何等かの方法で人間の運転者にフィードバックすることで、人間の運転行動を支援することにも応用可能である。

2.2 知識ベース

次に、知識ベースについて詳細を論じる。

(1) 定性空間表現

本研究では、空間情報を表現するための表現方法として、Qualitative Spatial Reasoning and Representation (以下、QSR)[Cohn 2008]を用いる。QSR とは、空間情報をモデラーの観点から捨象して、記号化して扱う知識表現と推論のための方法である。QSR を用いることで、センサから得られる数値データを記号に捨象して扱うことで、次節以降で説明する交通ルールや行動モデルと対応付けることが容易になる。

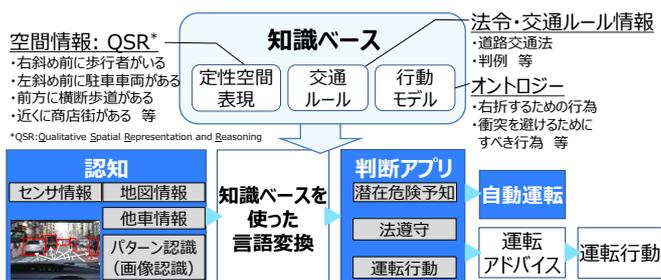


図 1. 想定システムの全体構成

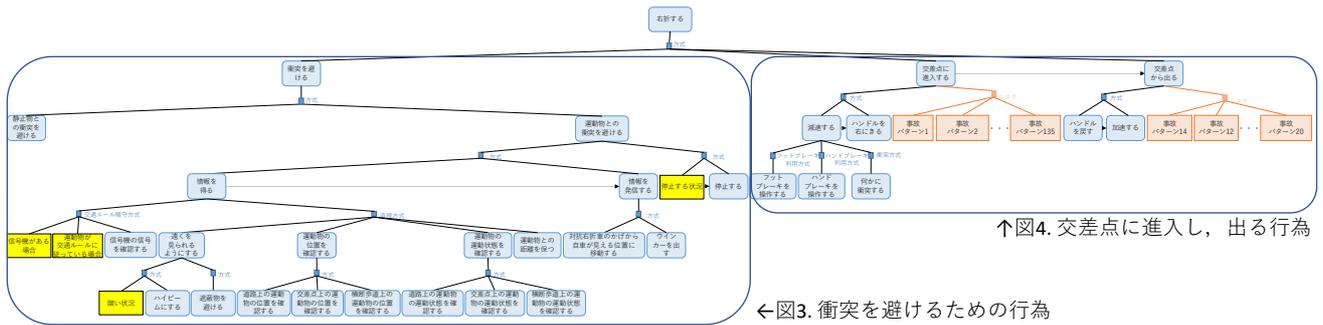


図 2. 右折する行動モデルの全体

(2) 交通ルール

本研究における交通ルールは、運転に関する法令と判例を指す。運転に関する法令として、現在は道路交通法を対象としているが、今後自動運転車に関する法令が設けられれば対象範囲を広げる。

法令だけではなく、判例を参照する必要性を以下に述べる。

現在開発中の自動運転システムにおいても、制限速度や交通標識を遵守する等は想定しているが、前述の道路交通法七十条の「安全運転の義務」といった状況によって運転行動が変化するような法令を扱うことは難しい。本研究では、制限速度や交通標識を遵守するといった運転行動が一義的に定まる法令に加えて、安全運転の義務等の状況によって運転行動が変化するような法令も機械可読な形式に変換し、知識ベースにもたせる。例えば、別冊判例タイムズ 38 号[判例タイムズ 2014]では、過去の判例をもとに交通事故のパターンを 338 に分類し、それぞれに対して当事者の過失相殺率を提示している。この判例を活用し、より状況に即した交通ルールを抽出する。

次に、法令は社会状況に応じて改正されることがあるが、必ずしも最新の状況にすぐに対応できるわけではない。法令の改正は判例が積み重なることで行われるため、判例情報は法令の改正よりも早く参照可能となる。そこで、判例情報を参照することによって、法令の改正を待たずに最新の状況に対応可能であるというメリットがあると考えられる。行動モデル

ここでの行動モデルは、ある状況下で、自動車を運転する人間(以降、運転者と呼ぶ)ないしは自動運転システムが実施する行為に関する知識を構造化したものを指す。ここで構造化される内容は理想的な運転行動であり、それが実現される限りにおいて、運転者ないしは自動運転システムが原因となる事故が起こらないような行動とする。そして、行動モデルは、前述の QSR と交通ルールと関連付けて表現される。センサの認知結果が言語情報として QSR に変換されたのち、その内容と交通ルールに基づく判断結果として、行動モデル中から実施すべき行為が選択される。

本研究では、行動モデルとして目的指向で人の行為を構造化する CHARM (Convincing Human Action Rationalized Model)[Nishimura 2013]を援用する。行動モデルの構築方法としては、運転行動は多様性が存在し、経験を積んだ運転者によっても異なることが考えられるため、知識発現[西村 2016]の方法をとって構築することを想定する。

3. 構築した行動モデル

交通事故総合分析センターの公開する平成 25 年版の交通

統計[ITARDA 2014]によれば、人対車両の事故(歩行者・自転車などと車両との事故)件数ならびに死亡者数は他の事故類型である車両相互、車両単独の事故のそれが継続的に減少する中で削減が進んでいない。自動運転システムには、人対車両の事故を避けることを重視した行動選択が可能であることが求められると考え、該当するヒヤリハット事例を情報源としてモデルの構築を行った。ヒヤリハット事例は、東京農工大学により公開されているヒヤリハットデータベース¹を参照し、交差点で自車が右折する状況で、危険性の高いものの中から、ヒヤリハットの対象が人と自転車であるもの 36 件を選択した。

図 2 に構築した行動モデルの全体を示す。これは、「右折する」という目的を達成するために必要な行為を表現した行動モデルである。「右折する」ための行為は大きく分けて、「衝突を避ける」ための行為(図 3 参照)と「交差点に進入して出る」行為(図 4 参照)とに分けることができる。

構築した行動モデルは目的指向で構成されている。最上位の目的を「右折する」として、そのために実施する行為として、「衝突を避ける」、「交差点に進入する」、「交差点から出る」を表現している。その中の一つの行為「衝突を避ける」を新たに目的として読み替えることで、同様に、「静止物との衝突を避ける」、「運動物との衝突を避ける」行為が目的達成のために必要であることを表現した。ここでは、「運動物との衝突を避ける」行為をより詳細化している。最も細かい粒度の行為の例としては、「ハイビームにする」行為があげられる。これは、「暗い状況」のときに行うことが併記されており、自動運転システムが行為を選択する際に参考とすることができる。また、「交差点に進入する」や「交差点から出る」行為には、リスクとして、この行為を実行中に事故が起こった場合には、それがどのような事故パターンに分類されるかの情報が示されている。この事故パターンは、前述の別冊判例タイムズ 38 号[判例タイムズ 2014]から引用したものである。この情報も自動運転システムが行為を選択する際の参考情報として使うことを想定している。

4. ヒヤリハット事例に当てはめた行動選択イメージ

最後に、システムの動作イメージを図 5 に示す。それぞれ、(a)ヒヤリハット発生 6 秒前、(b)ヒヤリハット発生 2 秒前、(c)ヒヤリハット発生時点で、システムがどのように行為を選択するかを示している。どの時点においても、センサが状況を認識し、QSR によって、周囲の状況が言語情報として表現される。6 秒前では、進行方向に青信号があるという状況が表現されている。認識された状況は、交通ルールと行動モデルを参照して、リスクを予測する。6 秒前の時点では顕在化したリスクは存在しないため、

¹ <http://web.tuat.ac.jp/~smrc/drcenter.html>

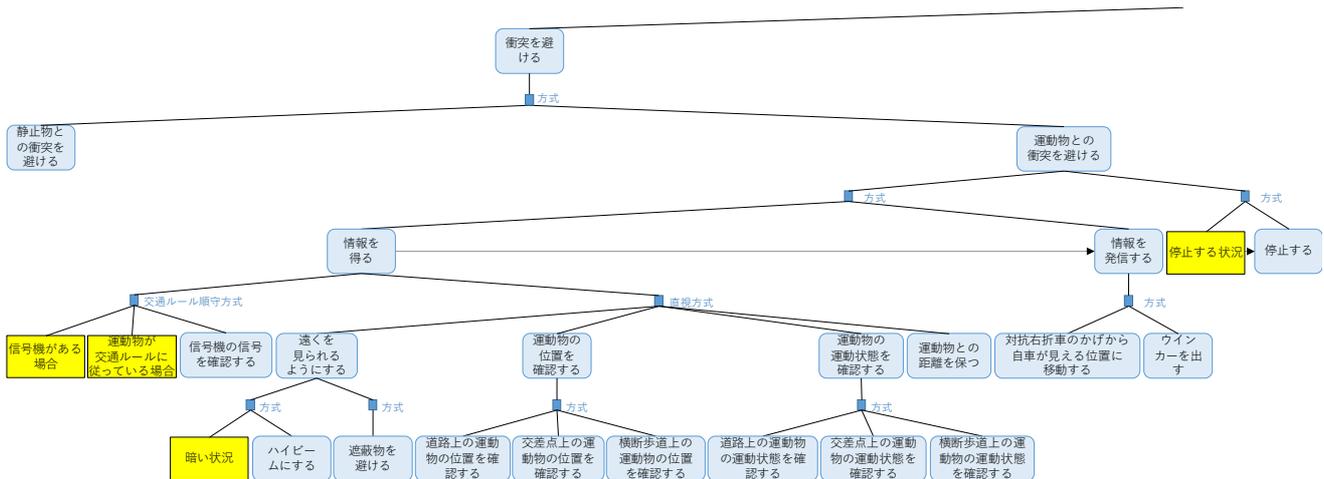


図 3. 衝突を避けるための行為

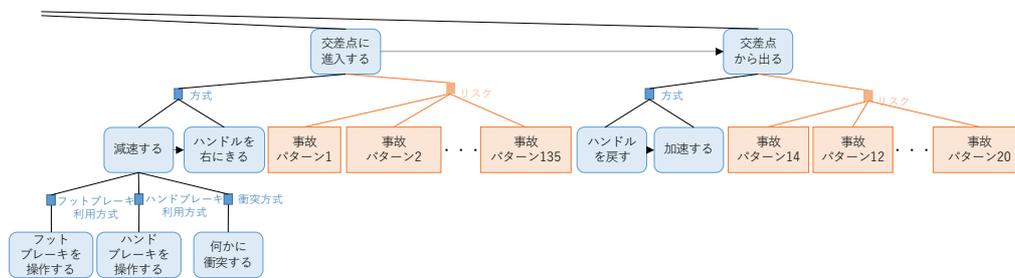


図 4. 交差点に進入し、出る行為

未検知となっている。そして、状況とリスクから行為が選択される。6秒前時点では、「減速し、交差点に進入する」という文字列で表示されているが、行動モデル上では、「衝突を避ける」ために行う行為も実行することとして示されている。ヒヤリハット2秒前の時点では、交差点に進入する状況となり、「横断歩道手前の右斜め前方に歩行者」として、状況が認識されている。それに基づいてリスクとして、「歩行者の飛び出し」が予測され、行為として、「歩行者に注意し、ハンドルを右に切る」という行為が選択される。行動モデルを見ると、この状況下で、「衝突を避ける」ために実行する行為の中でも、実行し続ける行為と重要度をあげて実行する行為が赤色の濃淡で表現されている。最後に、ヒヤリハットが起こった状況においては、リスクとして「歩行者との衝突」が予測されたため、交差点に進入する行為は実行すべきではなく、「停止する」という行為が選択されている。

5. まとめ

本稿では、法令を遵守するための法令・判例ベース自動運転システムの実現に向けて、想定するシステムの全体像とそれが備える知識ベース部分に焦点を当てて現状を報告した。知識ベースの内、右折行為に焦点を当てて、ヒヤリハット事例から構築した行動モデルを紹介した。最後に、システムが想定する行為選択イメージを提示した。

今後は、他の運転行為への行動モデルの拡充を進めるとともに、QSRを用いた定性空間表現と、運転行動モデルとの関連付けについて検討する。

謝辞

本成果の一部は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託業務の結果得られたものです。

参考文献

- [Cohn 2008] Cohn, A. G., Renz, J.: Chapter 13 Qualitative Spatial Representation and Reasoning, Foundations of Artificial Intelligence Vol.3, Handbook of Knowledge Representation Edited by van Harmelen, F., Lifschitz, V., Porter, B., pp.551-596, 2008.
- [判例タイムズ 2014] 東京地裁民事交通訴訟研究会 編集: 別冊判例タイムズ 38号 民事交通訴訟における過失相殺率の認定基準, 判例タイムズ社, 2014.
- [ITARDA 2014] 交通事故総合分析センター: 交通統計平成25年版, 2014.
- [Nishimura 2013] Nishimura, S., Kitamura, Y., Sasajima, M., Williamson, A., Kinoshita, C., Hirao, A., Hattori, K., Mizoguchi, R.: CHARM as Activity Model to Share Knowledge and Transmit Procedural Knowledge and its Application to Nursing Guidelines Integration, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, Vol.17, No.2, pp.208-220, 2013.
- [西村 2016] 西村悟史, 大谷博, 島山直人, 長谷部希恵子, 福田賢一郎, 来村徳信, 溝口理一郎, 西村拓一: 現場ごとの多様な介護業務プロセス知識の獲得方法の検討, 第28回

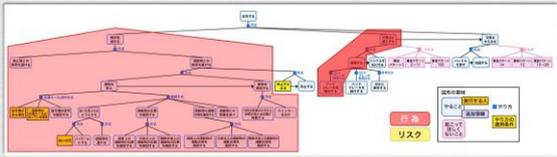
行為選択



-6s 状況: 進行方向青信号

リスク: 未検知

行為: 減速し、交差点に進入する



(a) ヒヤリハット 6 秒前の行為選択

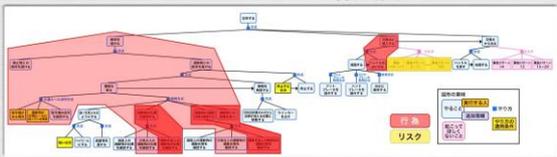
行為選択



-2s 状況: 進行方向青信号、歩行者信号赤、横断歩道手前の右斜め前方に歩行者

リスク: 歩行者の飛び出し

行為: 歩行者に注意し、ハンドルを右に切る



(b) ヒヤリハット 2 秒前の行為選択

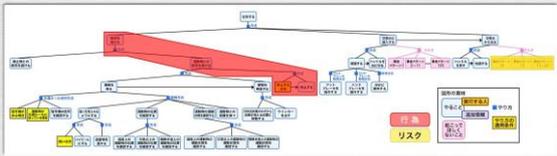
行為選択



0s 状況: 進行者信号赤、横断歩道上に歩行者

リスク: 歩行者との衝突

行為: 停止して歩行者との衝突を避ける



(c) ヒヤリハット 0 秒での行為選択

図 5. システムによる行為選択イメージ