

動的ベイジアンネットワークを用いた 自動車コンテキストウェアサービス開発方法の提案と評価

2015SE058 丹羽 叶子 2015SE095 山崎 朝美 2015SE097 安江 史奈
指導教員 青山 幹雄

1 研究背景と課題

自動車に高度な技術が導入されているが、事故を引き起こす可能性があるため、その安全性分析方法が必要である。事故軽減の取り組みとして、セーフティマップや事故回避支援があるが、これらは現在の状況から危険を予測していない。そこで、危険を予測し走行状況の変化に対応した安全な走行方法をドライバに提示する自動車コンテキストウェアサービスの開発方法の確立が求められる。

本研究では以下の2点を研究課題とした。

- (1) 動的ベイジアンネットワークを用いた安全走行の開発方法の提案
- (2) 例題適用による開発方法の妥当性確認

2 関連研究

2.1 ベイジアンネットワーク(BN: Bayesian Network)

BNは、非循環有向グラフ(DAG: Directed Acyclic Graph)で示されるネットワーク構造グラフと条件付き確率表(CPT: Conditional Probabilities Tables)によって表現される[5]。不確実性を含む事象の予測や合理的な意思決定などに利用することのできる確率モデルの一種である。

BNの特徴は、因果的な構造をネットワークとして表し、さらに確率推論を行うことで、不確実な事象の起こりやすさやその可能性を予測できる点である[6]。

動的BNとは、離散時間軸に沿って静的BNを複数回作成し、その時間の幅を表現する方法である[4]。

2.2 ミスユースケース分析を拡張した先進運転支援システム(ADAS: Advanced Driving Assistant System)の安全性分析方法[3]

人と高度自動化システムが協調して実現する安全性について、人と高度自動化システムの協調構造のモデル化とそれに基づいた安全性要求のモデル化の方法が提案されている。さらに、モデル化された安全性要求をBN上でシナリオごとに定量的に評価する方法も提案されている。

2.3 コンテキストとコンテキストウェア

(1) コンテキスト

コンテキストとは、関連すると考えられる人、場所、オブジェクトであるエンティティの状況の特徴付けるために利用され得る情報のことである[2]。

(2) コンテキストウェア

コンテキストウェアとは、関連情報や関連サービスをユーザへ提供するために、コンテキストを利用するシステムのことである[2]。

3 アプローチ

本研究では、コンテキストを利用して関連情報や関連サ

ービスをユーザに提供するソフトウェアをコンテキストウェアコンピューティングとした。

現在の状況から危険を予測することで、安全性が高まり事故の軽減に繋がる。BNを用いることで、安全な走行方法をCPTから求められる。さらに、動的BNとコンテキストウェアコンピューティングを用いることで、自動車コンテキストの変化に対応して確率値を変動させられる。その結果、リアルタイムで危険を予測する安全な走行方法の提示が実現できる。

本研究では、自動車コンテキストを以下に定義した。

- (i) 制御: ブレーキ, アクセル, ハンドル
- (ii) 環境: 障害物, 自車
- (iii) 走行: 直進, 右左折, 停止
- (iv) 車環境: センサ, カーナビ搭載

ただし、本研究では以下のコンテキストは対象外とした。

- (i) 環境: 天候, 路面状況, 交通状況
- (ii) 車環境: 整備不良

4 開発方法

4.1 開発方法の前提条件

開発方法における前提条件を以下に示す。

- (i) 使用するデータは全て取得済み
- (ii) CPTの確率値は与えられている
- (iii) 確率値(0以上1以下)は自動車コンテキストに応じて更新される

4.2 開発プロセス

本研究での開発プロセスを図1に示す。

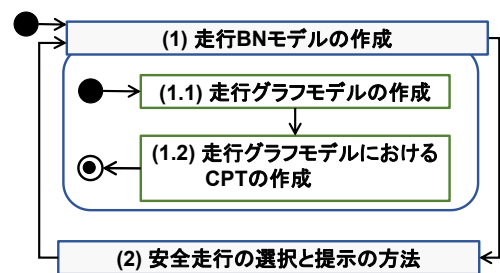


図1 開発プロセス

(1) 走行BNモデルの作成

(1.1) 走行グラフモデルの作成

DAGを用いて、ドライバと自動車の操作を含めた振舞いを表現する走行グラフモデルを作成した。

(1.2) 走行グラフモデルにおける条件付き確率表の作成

(1.1)で作成した走行グラフモデルに基づいたCPTを作成した。

(2) 安全走行の選択と提示の方法

(1)で作成した走行BNモデルから、安全走行の評価に用いる安全確率を求め、最適な走行方法を選択し提示した。

4.3 走行ベイジアンネットワークモデルの作成

(1) 走行グラフモデルの作成

ノードの分類において X を環境要因, Y を走行方法, Z を事故として定義した. 自動車コンテキストの定義より, 走行グラフモデルは障害物を X_1 , ブレーキを Y_1 , アクセルを Y_2 , ハンドルを Y_3 , 事故を Z とした5つのノードからなる. BayANet [1]で作成した走行グラフモデルを図2に示す.

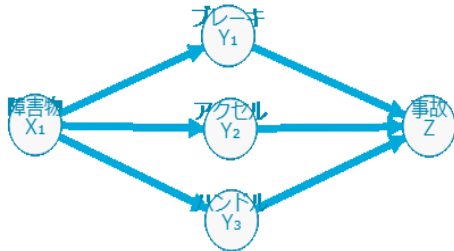


図2 走行グラフモデル

(2) 走行グラフモデルにおける条件付き確率表の作成

5つのノードは全て2つの状態のうち1つの状態をとる. (1)で作成した走行グラフモデルの各事象における確率変数を表1に定義した.

表1 図1の事象における確率変数

	0	1
障害物	存在しない	存在する
ブレーキ	踏まない	踏む
アクセル	踏まない	踏む
ハンドル	切らない	切る
事故	起きない	起きる

図2に基づいたCPTを表2-6に示す.

表2 X_1 の確率表

	$P(X_1)$
0	x_0
1	x_1

表3 Y_1 のCPT

X_1	$P(Y_1 X_1)$	
	0	1
0	a_{00}	a_{01}
1	a_{10}	a_{11}

表4 Y_2 のCPT

X_1	$P(Y_2 X_1)$	
	0	1
0	b_{00}	b_{01}
1	b_{10}	b_{11}

表5 Y_3 のCPT

X_1	$P(Y_3 X_1)$	
	0	1
0	c_{00}	c_{01}
1	c_{10}	c_{11}

表6 Z のCPT

Y_1	Y_2	Y_3	$P(Z Y_1, Y_2, Y_3)$	
			0	1
0	0	0	Z_{00}	Z_{01}
0	0	1	Z_{10}	Z_{11}
0	1	0	Z_{20}	Z_{21}
0	1	1	Z_{30}	Z_{31}
1	0	0	Z_{40}	Z_{41}
1	0	1	Z_{50}	Z_{51}
1	1	0	Z_{60}	Z_{61}
1	1	1	Z_{70}	Z_{71}

4.4 安全走行の選択と提示の方法

(1) 事象と走行方法の関係

本研究では, 最適な走行方法を求めるために, 障害物が存在するあるいは存在しない場合, かつある走行方法を行った場合において, 事故が起きない確率を求める必要がある. 各事象の走行方法を表7に示す.

表7 事象と走行方法の関係

Y_1	Y_2	Y_3	走行方法
0	0	0	何も操作しない
0	0	1	ハンドルを切る
0	1	0	アクセルを踏む
0	1	1	アクセルを踏む, かつ, ハンドルを切る
1	0	0	ブレーキを踏む
1	0	1	ブレーキを踏む, かつ, ハンドルを切る
1	1	0	ブレーキを踏む, かつ, アクセルを踏む
1	1	1	すべて操作する

そのうち想定される事象として, $(Y_1, Y_2, Y_3) = (0, 0, 0), (0, 0, 1), (0, 1, 0), (0, 1, 1), (1, 0, 0), (1, 0, 1)$ の6つが挙げられる. 以下の6つの事象は, 各走行方法における安全確率を求める事象である.

事象(E_1): $(Y_1, Y_2, Y_3) = (1, 0, 0)$

事象(E_2): $(Y_1, Y_2, Y_3) = (0, 1, 0)$

事象(E_3): $(Y_1, Y_2, Y_3) = (0, 0, 1)$

事象(E_4): $(Y_1, Y_2, Y_3) = (1, 0, 1)$

事象(E_5): $(Y_1, Y_2, Y_3) = (0, 1, 1)$

事象(E_6): $(Y_1, Y_2, Y_3) = (0, 0, 0)$

事象(E_6)「何も操作しない」は, アクセルおよびブレーキを踏まない, かつハンドルを切らない走行方法とする. また, ブレーキとアクセルを同時に操作しないものとし, $(Y_1, Y_2, Y_3) = (1, 0, 1), (1, 1, 1)$ は考えない事象とした.

(2) 安全走行の評価方法

安全走行の評価方法として, 各事象における安全確率を求めた. 安全確率は $Z = 0$ の周辺事後確率とした. エビデンス e は環境要因や事象によって変化し, クエリ変数集合 $Q = \{Z\}$ とした.

(3) 安全走行の選択と提示アルゴリズム

安全確率から, 選択と提示アルゴリズムに沿って安全な走行方法の選択と提示を行った. 直進中は事象(E_2)「アクセルを踏む」を基本操作とする. また, 事象(E_1)「ブレーキを踏む」は安全であると判断される状況が多い. よって, 直進中において基本操作が安全でない判断された場合, 事象(E_1)「ブレーキを踏む」以外の事象における安全確率を比較し, 最適な事象を選択する. 選択された事象が安全でない判断された場合, 事象(E_1)「ブレーキを踏む」における安全確率との比較後, 最適な事象を選択し提示する. 選択アルゴリズムにおける変数を表8に定義した.

表8 選択アルゴリズムにおける変数

変数	説明
d	安全とみなす閾値 ($0 \leq d \leq 1$)
n	事象の総数
M	最大の安全確率をもつ事象番号
i	M と比較する事象番号

選択アルゴリズムを図3に示す。

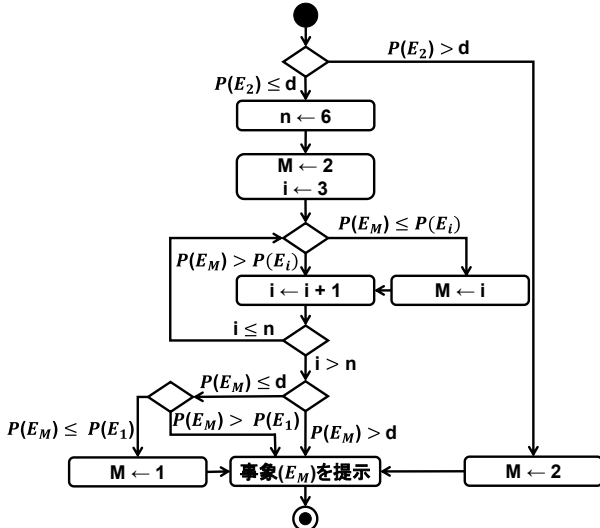


図3 安全走行の選択と提示プロセス

5 例題への適用

5.1 目的と内容

開発プロセスの例題への適用目的は、開発方法の妥当性を確認することである。自動車コンテキストウェアサービスの例題として、以下のシナリオを用意した(表9)。5.3では、シナリオ③を取り上げる。シナリオ①、②の説明は本稿を参照。

表9 例題のシナリオ

No.	シナリオ
①	自動車が直進中
②	左側に歩行者が出現
③	歩行者が左から右に道路を横断

5.2 例題における走行コンテキスト

4.1で示した前提条件に加え、安全とみなす閾値 d を 0.35 とする。また、自動車コンテキストに対し、以下の例題における走行コンテキストを追加する。

- (i) 環境: 障害物は歩行者のみ
- (ii) 走行: 直進のみ、ただし、車線逸脱後正しい車線に戻る

5.3 適用プロセス

シナリオ③における走行グラフモデルは図2の走行グラフモデルと同様である。走行グラフモデルに基づく表10-14のCPTが与えられたとした。

表10 X_1 の確率表

	$P(X_1)$
0	0.19
1	0.81

表11 Y_1 のCPT

X_1	$P(Y_1 X_1)$	
	0	1
0	0.55	0.45
1	0.09	0.91

表12 Y_2 のCPT

X_1	$P(Y_2 X_1)$	
	0	1
0	0.33	0.67
1	0.77	0.23

表13 Y_3 のCPT

X_1	$P(Y_3 X_1)$	
	0	1
0	0.94	0.06
1	0.36	0.64

表14 Z のCPT

Y_1	Y_2	Y_3	$P(Z Y_1, Y_2, Y_3)$	
			0	1
0	0	0	0.11	0.89
0	0	1	0.17	0.83
0	1	0	0.23	0.77
0	1	1	0.03	0.97
1	0	0	0.34	0.66
1	0	1	0.30	0.70
1	1	0	0.13	0.87
1	1	1	0.03	0.97

CPTから6つの事象における安全確率を求めた(表15)。

表15 シナリオ③についての安全確率

事象	走行方法	安全確率
$P(E_1)$	ブレーキを踏む	0.34
$P(E_2)$	アクセルを踏む	0.23
$P(E_3)$	ハンドルを切る	0.17
$P(E_4)$	ブレーキを踏む、かつ、ハンドルを切る	0.30
$P(E_5)$	アクセルを踏む、かつ、ハンドルを切る	0.03
$P(E_6)$	何も操作しない	0.11

安全確率から安全な走行方法の選択と提示を行った。

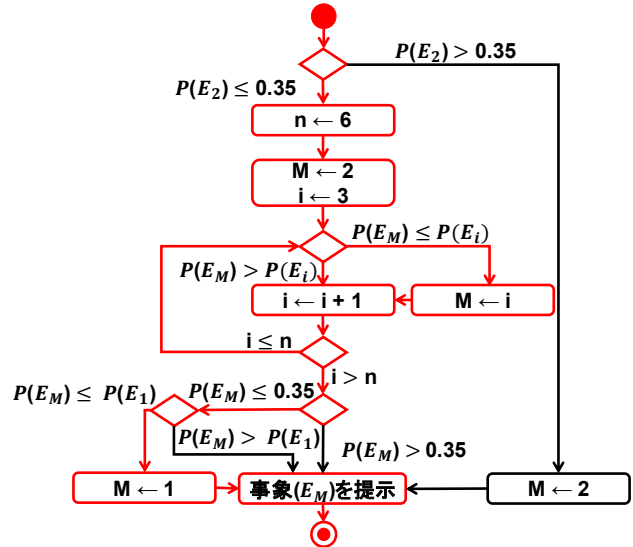


図4 シナリオ③における安全走行の選択と提示プロセス

$P(E_2) \leq 0.35$ より、事象(E_2)から事象(E_6)の安全確率を比較した。したがって、最大値を持つ事象(E_4)が選択された。 $P(E_4) \leq 0.35$ であるため、事象(E_1)の安全確率と比較した。 $P(E_4) \leq P(E_1)$ の結果より、事象(E_1)「ブレーキを踏む」が提示された(図4)。

例題の3つのシナリオへ適用した結果、表16、図5に示す安全な走行方法が提示された。

表16 例題の安全走行の評価結果

No.	シナリオ	評価結果
①	自動車が直進中	事象(E_2)「アクセルを踏む」
②	左側に歩行者が出現	事象(E_6)「何も操作しない」
③	歩行者が左から右に道路を横断	事象(E_1)「ブレーキを踏む」

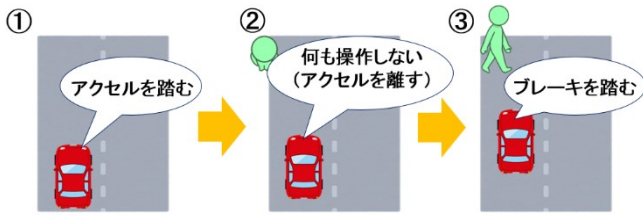


図5 適用結果

6 評価

開発方法により、以下の効果が期待できる。

(1) 安全走行の選択と提示の評価

BN の分析ツールである Weka[6]と評価方法で求めた安全確率を比較した。

シナリオ③の事象(E_1)における周辺事後確率を Weka で求めた。結果を図6に示す。

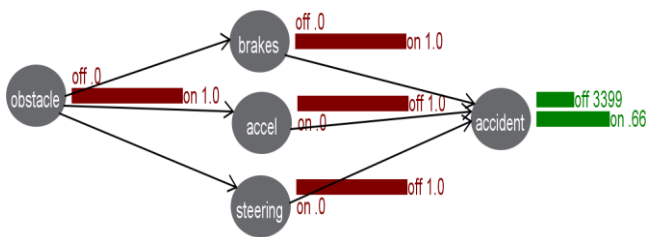


図6 事象(E_1)におけるZの周辺事後確率

同様に、シナリオ③の各事象における周辺事後確率を求め、Weka と評価方法でそれぞれ求めた安全確率を表17に示す。

表17 Weka と評価方法で求めた安全確率

事象	Weka	評価方法
$P(E_1)$	0.34	0.34
$P(E_2)$	0.23	0.23
$P(E_3)$	0.17	0.17
$P(E_4)$	0.30	0.30
$P(E_5)$	0.03	0.03
$P(E_6)$	0.11	0.11

表17より Weka と評価方法で求めた安全確率は同値となった。よって、Weka で正しく計算できることが分かり、Weka で評価方法の自動化が可能となる。

(2) 開発方法の評価

従来の自動車は、走行から事故発生までの情報が提示されることは無かった。しかし、安全走行の選択と提示により、事故発生までの情報がドライバーに提示されることで、衝突までのプロセスが視覚的にわかるようになった。

7 考察

(1) 走行ベイジアンネットワークモデルの有用性

走行 BN モデルでは、走行グラフモデルとこれに基づいた CPT を定義した。また、安全確率を求める評価方法を定義した。そして、動的 BN を用いることで、コンテキストの変化に応じて逐次走行グラフモデルを構成する必要がなくなり、同一モデル上でコンテキストの変化の表現が可能となった。

走行方法に関するデータが増加することで、安全確率の推定制度が向上するため、より最適な走行方法をドライバーに提示することが可能となる。よって、更なる事故の軽減に繋がる。

(2) 安全分析における動的ベイジアンネットワークの優位性
ミスユースケース分析を拡張した ADAS の安全性分析方法で用いられていた BN は、静的なためコンテキストの連続的変化に対応する確率評価が行えない[3]。本研究では、動的 BN を用いて定義したことにより、自動車コンテキストの変化に対応して安全確率を評価することが可能となった。

8 今後の課題

今後の課題を以下に示す。

- (1) 安全性に関わる複数のシナリオ設定とベイジアンネットワークのモデル化
- (2) ベイジアンネットワークにおける走行方法の連続性のモデル化
- (3) 重み付き確率による安全走行選択アルゴリズムの簡略化

9 まとめ

走行状況の変化に応じて適切な走行支援を行うことで、安全性を高める必要がある。

本研究では、動的 BN とコンテキストウェアコンピューティングを用いて、自動車コンテキストの変化に対応した安全な走行方法を提示する開発方法を提案した。

提案方法では、はじめにドライバーと自動車の操作を含めた振舞いを表現する走行 BN モデルを作成した。作成した走行 BN モデルを用いて、安全な走行方法を選択し提示した。

動的 BN を用いることで、同一の走行グラフモデル上でコンテキストの変化を表現することが可能となった。また、自動車コンテキストの変化に対応した最適な走行方法を提示することが可能となった。

10 参考文献

- [1] A. Aleksieva, BayANet: A Bayesian Networks Tool - School of Computer Science, The University of Manchester, Sep. 2018, http://www.cs.man.ac.uk/~gbrown/bayes_nets/.
- [2] A. K. Dey, et al., Towards a Better Understanding of Context and Context-Awareness, *Handheld and Ubiquitous Computing*, Springer, 1999, pp. 304-307.
- [3] M. Matsubara, et al., An Analysis Method of Safety Requirements for Automotive Software Systems, *Proc. of APSEC 2017*, IEEE, Dec. 2017, pp. 408-416.
- [4] 本村 陽一, 他, ベイジアンネットワーク技術, 東京電機大学出版局, 2006.
- [5] 白鳥 成彦, 他, ダイナミックベイジアンネットワークを用いた麻酔行為の表現, 2006 年度人工知能学会全国大会, Jun. 2006, pp. 1-3.
- [6] 植野 真臣, ベイジアンネットワーク, コロナ社, 2013.
- [7] Weka 3: Data Mining with Open Source Machine Learning Software in Javad, Waikato Univ., <https://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>.