

NAIST-IS-MT1551003

修士論文

逐次ベイズ推定による車線変更時刻の推定

浅山 和宣

2017 年 1 月 21 日

奈良先端科学技術大学院大学
情報科学研究科 情報科学専攻

本論文は奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科に
修士（工学）授与の要件として提出した修士論文である。

浅山 和宣

審査委員：

池田 和司 教授 （主指導教員）

久保 孝富 特任准教授 （副指導教官）

逐次ベイズ推定による車線変更時刻の推定*

浅山 和宣

内容梗概

キーワード

修士論文，奈良先端科学技術大学院大学

*奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 情報科学専攻 修士論文, NAIST-IS-MT1551003, 2017 年 1 月 21 日.

Estimation of Timing of Lane Changing by Sequential Bayes Inference*

Kazuki Asayama

Abstract

Keywords:

Master's Thesis, NAIST

*Master's Thesis, Department of Information Science, Graduate School of Information Science,
Nara Institute of Science and Technology, NAIST-IS-MT1551003, January 21, 2017.

目次

図目次	v
第 1 章 はじめに	1
1.1 背景	1
第 2 章 運転行動データと可視化	2
2.1 運転行動データ	2
2.2 特徴抽出	3
2.2.1 可視化	3
2.2.2 主成分分析	5
第 3 章 車線変更時刻推定法	7
3.1 逐次ベイズ推定	7
第 4 章 結果	8
第 5 章 考察	9
第 6 章 総括	10
謝辞	11
参考文献	12

図目次

2.1	ある運転行動に対する，車線変更開始 10 秒前から車線変更開始までの特徴の組み合わせの散布図と，単一の特徴量のヒストグラム．上から（もしくは左から）順番に，アクセル，ブレーキ，ハンドル，前方車両との相対距離，前方車両との相対速度，前方車両との加速度考慮の TTC の逆数，右後方車両との相対距離，右後方車両との相対速度，右後方車両との加速度考慮の TTC の逆数となっている．プロットが緑から赤になるにつれて車線変更開始に近づいていることを示している．	4
2.2	車線変更開始 10 秒前の時点における先行車両との相対距離と相対速度を，すべてのデータにおいてプロットした散布図．x 軸が距離を，y 軸が速度を表す．	5
2.3	車線変更開始 0.5 秒前の時点における先行車両との相対距離と相対速度を，すべてのデータにおいてプロットした散布図．x 軸が距離を，y 軸が速度を表す．	5
2.4	主成分分析を行ったあとのデータ点から，各時刻ごとに二次元正規分布を求め，楕円としてプロットしたもの．楕円の大きさは，標準偏差の 2 倍になっている．緑から赤に近づくに連れて車線変更開始が近づいている．	6

第 1 章 はじめに

1.1 背景

近年運転行動についての研究が盛んにされており ...

TTC という指標 ...

そのため本研究では，車線変更開始までのタイミングを推定するための手法を開発した．

第 2 章 運転行動データと可視化

この章では，本研究において用いられた運転行動データの詳細について述べる．またこの運転行動データから，車線変更のタイミング推定に有用であると思われる特徴を抽出した後に，車線変更直前の特徴量の変化を可視化した．

2.1 運転行動データ

本研究においては，名古屋大学が収集した運転行動データを用いた．このデータには，10 名の被験者が名古屋高速道路を走行した際の，自車両の挙動や計器の情報，周辺車両との位置関係，走行中の道路の情報等の様々な運転行動が，サンプリングレート 10Hz で記録されている．これらの情報のうち，本研究で利用した情報を次に示す．

- 車線変更ラベル
- アクセルの踏み込み圧
- ブレーキの踏み込み圧
- ハンドルの操舵角
- 自車両中心と周辺車両中心点との相対位置
- 周辺車両との相対距離

車線変更ラベルは，運転者が車線変更の最中であるかどうかを表しており，左車線変更に-1，直進に 0，右車線変更に 1 の値が割り振られている．ここで，車線変更の開始のタイミングは，「車載カメラによる動画内で白線が左右に動き始めたとき」で，車線変更終了のタイミングは「その白線の動きが止まったとき」と定義されている．

周辺車両との相対位置，相対速度は車載のレーザーレンジファインダーを用いて計測されており，前後方に対して最大 100m の車両を検知することができる．相対位置，相対速度は，道路平面に対して車両進行方向と，その垂直方向の 2 次元に値を持っている．また，相対位置は，単に計測器から車の輪郭までの距離を出しているのではなく，自車両，周辺車両の中心位置を推定して計測している．

高速道路における走行に際しては、普段通りに車線変更をして前方車両を抜き、車両を抜き終わったら走行車線へ戻るように被験者たちに指示がなされている。車線変更は、右車線変更左車線変更ともに、各被験者で平均 30 回程度行われており、すべてを合計すると、合計 341 回の右車線変更、335 回の左車線変更が行われていた。

2.2 特徴抽出

次に、この運転行動データを用いて、車線変更のタイミングの推定に有用だと思われる特徴の抽出を行った。まず、車線変更を行う前に何らかの特徴的な操作が現れる可能性を考え、車のアクセル、ブレーキの踏み込み圧、ハンドルの操作角を特徴量として定めた。

次に、周辺車両との関係性が車線変更に関わっていると考えられるため、これを特徴とする。対象とする周辺車両は、自車両に先行して走行している車両と自車両の右後方を走っている車両とする。特徴は、これらの周辺車両との相対距離、相対速度と、衝突までの時間 (TTC) とした。ただし、TTC は、加速度まで考慮したうえで逆数を計算した ($iTTC_{2nd}$)。ここで $iTTC_{2nd}$ は以下のように計算することができる。

$$iTTC_{2nd} = \frac{a_x^{rel}}{-2v_x^{rel} \pm \sqrt{(v_x^{rel})^2 - 2a_x^{rel}x}} \quad (2.2.1)$$

2.2.1 可視化

これらの特徴量が車線変更が始まる直前にどのような変化をするのかを見るために、車線変更開始 10 秒前から車線変更開始 0.5 秒前 (これを「直前」と表す) までに取った値を、0.5 秒間隔でプロットした。まず、一回の車線変更に対して上記の特徴量それぞれの組み合わせをプロットしたものが、図 2.1 である。車線変更 10 秒前を緑色で、直前を赤色で、その間を黒として特徴量の変動を表している。対角の位置に当たるものがヒストグラムとなっている。ここから、どの特徴のヒストグラムを見ても色が分離されておらず、単一の特徴から車線変更か否かの分離は困難であることがわかる。しかし散布図をみると、先行車両との相対距離、相対速

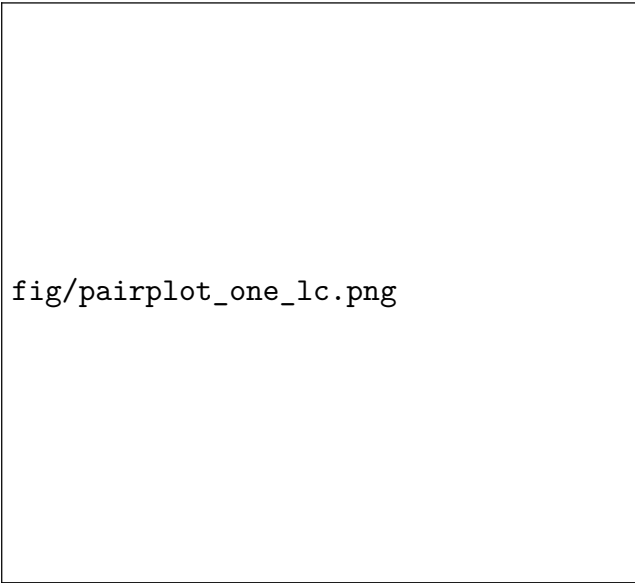


図 2.1 ある運転行動に対する，車線変更開始 10 秒前から車線変更開始までの特徴の組み合わせの散布図と，単一の特徴量のヒストグラム．上から（もしくは左から）順番に，アクセル，ブレーキ，ハンドル，前方車両との相対距離，前方車両との相対速度，前方車両との加速度考慮の TTC の逆数，右後方車両との相対距離，右後方車両との相対速度，右後方車両との加速度考慮の TTC の逆数となっている．プロットが緑から赤になるにつれて車線変更開始に近づいていることを示している．

度の組み合わせにおいて時系列に沿ってデータ点が並んでおり，特徴として有用であることが伺える．次に，先行車両との相対距離，相対速度の時系列に沿ったデータ点の移動の傾向を見るために，10 秒前における，または直前におけるすべての車線変更トライアルについてのデータ点を表したものが図 2.2 と図 2.3 である．これらから，車線変更開始前の各時刻における相対距離と相対速度は，二次元のガウス分布に従っていると見ることができる．

また，0.5 秒ごとに散布図をつなげると，データ点が回転しながら収束していくように見ることができた．この情報を特徴として持たせるために特徴量の時間差分が必要だと考え，0.5 秒前のデータも特徴として盛り込み，以下に表されるような 4



図 2.2 車線変更開始 10 秒前の時点における先行車両との相対距離と相対速度を，すべてのデータにおいてプロットした散布図．x 軸が距離を，y 軸が速度を表す．

図 2.3 車線変更開始 0.5 秒前の時点における先行車両との相対距離と相対速度を，すべてのデータにおいてプロットした散布図．x 軸が距離を，y 軸が速度を表す．

次元の特徴とした．

$$feature_s(n) = \{distance_{s(n)}^{rel}, velocity_{s(n)}^{rel}, distance_{s(n+1)}^{rel}, velocity_{s(n+1)}^{rel}\} \quad (2.2.2)$$

ここで， n を 1 から 20 までの整数とすると時刻 $s(n)[sec]$ は $s(n) = n/2$ と表される．

2.2.2 主成分分析

この 4 次元の特徴を 2 次元に落とすために主成分分析 (PCA) を行った．このとき，上位 2 成分の寄与率は以下ようになった．二つの成分で，99% 超の成分を

	第一主成分	第二主成分
寄与率	0.979	0.013

説明できることがわかる．また，PCA を行ったあとのデータ点から得られるガウ

ス分布の時間変化を楕円で表示したものを図 2.4 に示す．これから，車線変更開始

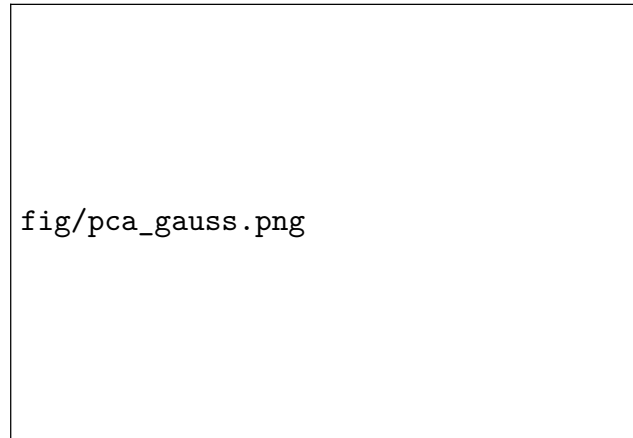


図 2.4 主成分分析を行ったあとのデータ点から，各時刻ごとに二次元正規分布を求め，楕円としてプロットしたもの．楕円の大きさは，標準偏差の 2 倍になっている．緑から赤に近づくに連れて車線変更開始が近づいている．

に近づくにつれて，楕円の平均がずれていき，分散が小さくなっており確率的には導出できそうだが，完全に分離することは難しいことがよみとれる．そのため，各時刻に対するガウス分布を予め保持しておくことで逐次的に車線変更までのタイミングの確率分布を更新する手法が有効であると考えられる．

第 3 章 車線変更時刻推定法

前章では，車線変更前の前方車両との距離，速度が二次元の正規分布に従っていると考えられることを示した．本章においては，この仮定を用いて，逐次的に車線変更を行う時刻を推定する手法について解説する．まず，では

3.1 逐次ベイズ推定

車線変更を開始するまでの時間を n (N 以下の任意の自然数) と置く．自車両と周辺車両の関係についての観測値が与えられていない時， n は一様分布であると仮定する．この時事前分布は

$$p(n) = 1/N \quad (3.1.1)$$

と表される．次に観測値が得られた時，変数 n に対する確率分布 $p(n)$ を更新し，更新する．ところで？ここで，二次元の正規分布は，

$$\mathcal{N}(\mathbf{x}|\boldsymbol{\mu}, \boldsymbol{\Sigma}) = \frac{1}{2\pi |\boldsymbol{\Sigma}|^{1/2}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} (\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu})^T \boldsymbol{\Sigma}^{-1} (\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu}) \right\} \quad (3.1.2)$$

と書ける．ただし， $\boldsymbol{\mu}$ は 2 次元の平均ベクトル， $\boldsymbol{\Sigma}$ は 2×2 の共分散行列， $|\boldsymbol{\Sigma}|$ は $\boldsymbol{\Sigma}$ の行列式である．

x の観測値 t 個の観測値のデータ集合 $\mathcal{D}_t = \{x_1, \dots, x_t\}$

観測値 x

これらから，サンプルが得られた時，どのガウス分布に属するのかについて事前分布を仮定し，各時刻の持つガウス分布の尤度を用いて分布を更新することで車線変更からの時刻推定を試みた．各時刻における n の式は，以下のようにして表される．10 秒前から 0.5 秒間隔でデータを与え，分布を更新した．事後分布の重み付き平均をとった時，MAP 推定を行った．今回， $N = 10$

第 4 章 結果

前章の推定の結果として，まずは，各時刻ごとに分布の重み付き平均をとったときの推定結果は，以下ようになった, [1] daaa

第 5 章 考察

第 6 章 総括

謝辞

感謝，感謝です．

参考文献

- [1] i and w. test. *testtt*, Vol. 42, No. 4, pp. 1007–1015, apr 2001.