

# プローブデータを用いた希望走行速度の 推定手法に関する基礎的研究

干川 順也<sup>1</sup>・中山 晶一郎<sup>2</sup>・山口 裕通<sup>3</sup>

<sup>1</sup>学生会員 金沢大学大学院 自然科学研究科 環境デザイン学専攻 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail:hoshikawa1008@stu.kanazawa-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 金沢大学 理工研究域 地球社会基盤学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail:nakayama@staff.kanazawa-u.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 金沢大学 理工研究域 地球社会基盤学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail:hyamaguchi@se.kanazawa-u.ac.jp

希望走行速度は、他の交通の影響を受けない状態で、ドライバーの意思により決まる速度である。道路のサービス水準を評価する情報の一つであり、道路の利便性や安全性を確保するための効果的な道路計画や管理、施策を実施する際に欠かせない情報でもある。本研究では、プローブデータを用いた希望走行速度の推定手法の提案を行った。具体的には、走行位置を時系列毎にプロットしたタイムスペース図を活用し、走行軌跡データから加減速や停止挙動を取り除き、速度が一定時間変化しない定常速度を導出した。この定常速度分布が希望走行速度と混雑流速度の混合ガウス分布に従うと仮定し、EMアルゴリズムを用いて平均希望走行速度や標準偏差を推定した。また、希望走行速度の決定要因となり得る道路交通環境や個人属性との関連についても考察を行った。

**Key Words :** probe data, desired speed, crowded speed, time space diagram, Gaussian Mixture Model

## 1. はじめに

道路交通工学において、渋滞や事故等の社会的損失を軽減し、道路利用者の利便性、安全性を向上させることは重要であり、道路管理者や行政には適切な道路計画や管理、施策の実施が求められている。道路のサービス水準を評価する情報の一つである希望走行速度は、一般に「実際の道路条件のもと、他の交通の影響を受けない状態で運転手が自分の意志で決める速度」を表している。各種交通シミュレーションにおいても、希望走行速度を用いることは多く、交通流特性や車群の形成過程等を把握し道路利用者の利便性を評価する上で、各種道路交通環境条件と希望走行速度やその分布との関係を明らかにしておくことは重要であると言える。

しかし、一般に車両感知器(トラフィックカウンター等)データからは車両別の速度分布は分析できず、単位時間・区間(場所)で集計された平均速度しか分からない。個別車両の速度を調べるためにはビデオ観測などの手法があるが、経済性等の問題により多くのデータの収集は簡単ではない。GPSを搭載した車両から得られる交通データであるプローブデータは、近年の情報通信・処理技

術の進展、GPSの精度向上に伴い、走行軌跡データの収集が容易になり、時間的に連続かつ広範囲にわたるデータの蓄積が急速に進んでいる。また、これまでは処理が膨大であり集計後のデータを扱っていたプローブデータについても、集計前の個車の走行軌跡データ(ドットデータ)の活用が可能となってきている。

以上のような背景の下、本研究ではプローブデータが有する走行軌跡データと挙動情報(加速や減速、停止等)に着目し、プローブデータを用いた希望走行速度の推定手法の提案を目的とする。具体的には、まずタイムスペース図を用いて、車両の走行軌跡データから、停止や加速、減速挙動の除去を行う。この作業により、速度が一定時間変化しない部分を抽出し、その速度(以下、定常速度とする)を求める。次に、定常速度分布が、希望走行速度分布と混雑速度分布の混合ガウス分布に従うと仮定し、パラメータ推定を行う。推定されたパラメータから、平均希望走行速度や希望走行速度のばらつき、希望走行速度が交通流全体に占める割合等の情報の把握が可能になると考えられる。さらに道路交通環境や制限速度、個人属性等と希望走行速度の関連について考察も行う。

## 2. 既往研究のまとめ

希望走行速度に関する既往研究として、洪・大口<sup>1)</sup>は首都高速道路において、自由流条件を設け、その条件を満たす自由流速度をETCデータから抽出し、その分布特性について分析している。車種別、降雨量別、利用回数別の自由流速度分布から、普通車の速度分布形状は正規分布に近いが、大型車は不規則な分布形状となっておりばらつきが小さくなっている。降雨量との関係は、ある時間雨量で速度の低下は緩やかになり速度の変動がほとんどなくなっている。また自由流速度は、利用者によって大きく異なり、同一利用者であっても何らかの原因によって選択される自由流速度は異なるとしている。中村・喜多<sup>2)</sup>は希望速度の高い車両が低い車両に追いつく確率を考慮した上で、単路区間上の2地点で観測される走行速度分布および車群台数分布から希望速度分布のパラメータを推定する手法を提案している。また希望走行速度の決定要因の推定を試みた研究も存在し、松尾・廣嶋<sup>3)</sup>は、知覚安全性と知覚利便性を考慮した知覚総コスト最小化原理に基づき、ある道路交通環境条件下における個々のドライバーの希望速度決定モデルを構築し提案している。ケーススタディを行いモデルのパラメータ推定を行うことで、道路交通環境条件が希望走行速度の決定に与える影響のみならず、通勤時間帯に走行しているドライバーの知覚利便性コストがその他の時間帯に走行しているドライバーに比べ高いために希望走行速度が高くなっていること等を示している。

さらに、定常速度に関して高田<sup>4)</sup>は、区間速度の理論を發展させ、区間長(走行時間)を無限大と考えることで、道路条件不変の無限に長い区間では、交通流内を走行している各車はその道路、交通条件に応じて必ずそれぞれ一つの定常速度を個有値として持っているとし、定常速度のばらつきが追越に直接関係するものと仮定し、追越し回数の推定を試みている。

以上のように、希望走行速度に関する研究はいくつか見られるが、希望走行速度分布の推定に関するものや希望速度分布から種々の分析を行う研究が多く、希望走行速度自体を推定することを目的とした研究は少ない。プローブデータは他の交通データでは困難であった車両挙動等の把握が可能となり、その情報は希望走行速度を推定する際にも重要であることから、プローブデータを用いた希望走行速度の推定手法の開発は有用であるといえる。

## 3. 利用データ・分析対象

### (1) 利用データ

本研究は、富士通交通・道路データサービスより提供いただいた貨物商用車(事業用トラック)の走行データから抽出・蓄積されたプローブデータ(富士通プローブデータ)を用いる。これは全国で約10万台の商用車から1秒毎の挙動情報を収集したものである。本研究は、表1に示すように、トリップ番号、ドットデータ日時、DRMリンク番号、吸着後緯度・経度、車測速度を用いる。なお富士通プローブデータは、車両の停止中はデータが記録されない仕様となっている。この仕様から図1のように車両の時系列毎の走行位置をプロットする(タイムスペース図)と、車両の停止により軌跡が途切れることが確認できる。

表1 データ項目

| トリップ番号 | 日時               | DRMリンク番号 | 緯度(°)    | 経度(°)    | 速度(km/h) |
|--------|------------------|----------|----------|----------|----------|
| ...    | ...              | ...      | ...      | ...      | ...      |
| 1      | 2016/7/1 2:24:14 | 12851287 | 36.53864 | 136.6037 | 62.7     |
| 1      | 2016/7/1 2:24:15 | 12851287 | 36.53881 | 136.6037 | 62.9     |
| 1      | 2016/7/1 2:24:16 | 12851287 | 36.53897 | 136.6037 | 63.1     |
| ...    | ...              | ...      | ...      | ...      | ...      |
| 1      | 2016/7/1 2:27:23 | 3360348  | 36.56222 | 136.6013 | 68.7     |
| 1      | 2016/7/1 2:27:24 | 3360348  | 36.5624  | 136.6014 | 69.4     |
| 1      | 2016/7/1 2:27:25 | 3360348  | 36.56256 | 136.6016 | 69       |

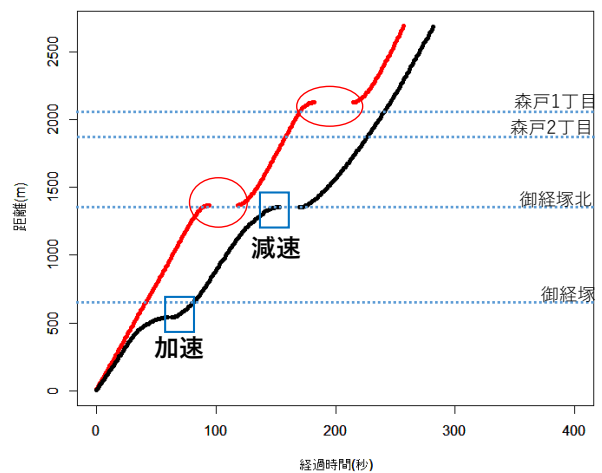


図1 タイムスペース図

### (2) 分析対象

石川県内の国道8号線御経塚・森戸間上り(新潟方面)、全長2,695m、制限速度60km/h区間を分析対象とした。この区間は、3車線道路であり、交差点付近では右折レーンにより4車線となる。また昼夜を通して交通量が多く南北に延びる直線道路となっている。信号交差点は4つ存在し、交差点の名称とその位置を図2に示す。分析対象期間は、2016/6/30~2016/7/31の約1か月間、3332トリップ分である。



図 2 分析対象 (国道 8 号線御経塚・森戸)

#### 4. 希望走行速度の推定手法

##### (1) 定常速度の抽出

プローブデータを用いて希望走行速度を推定するためには、走行軌跡データから加速減速モード、停止を除去する必要がある。希望走行速度は、他の交通の影響を受けない状況下における速度であり、加速や減速の影響が含んだままの走行軌跡データでは、実際より低い希望走行速度が推定される可能性があるためである。

そこでタイムスペース図を用いて加速減速モードと停止の除去を行う。タイムスペース図で表される走行軌跡軌跡の傾きは速度を表しており、車両の速度変動を視覚的に確認できる。また傾きが緩やかになる部分から速度低下、さらに詳細な車両挙動にも着目することで、加速減速モードも把握できる(図 1 参照)。前述のとおり、使用するプローブデータはその仕様から、車両の停止間はデータが記録されないため、走行軌跡データから停止の除去は不要である。加速減速モードの除去は、ドット間の速度差に条件(閾値)を設けることで行う。分析データが貨物商用車(事業用トラック)である点、対象区間の道路交通環境を考慮して、2つの条件を設け加速減速モードの除去を試みる。

- ① ドット間速度差が2km/h以上のドットデータを除外(図 3 参照)

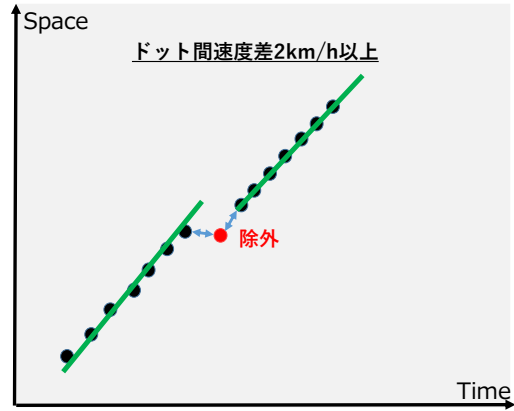


図 3 条件 1

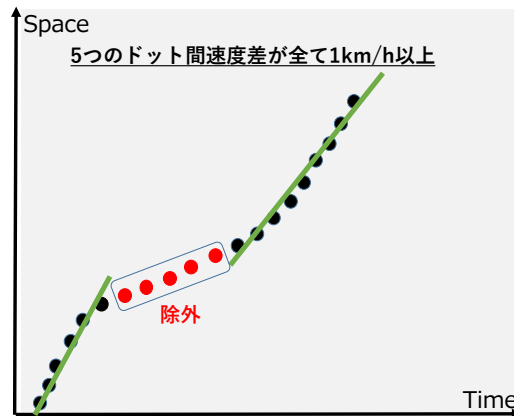


図 4 条件 1

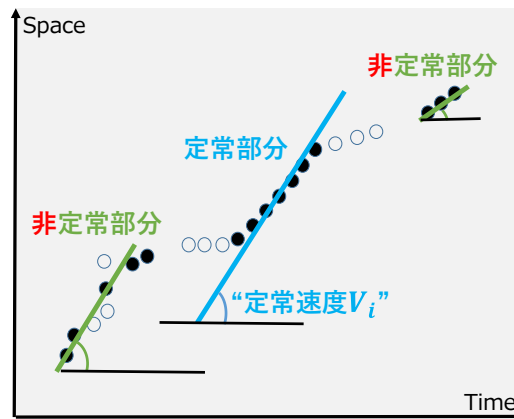


図 5 定常部分と定常速度

- ② 連続する5つのドット間速度差が全て1km/h以上の場合、5つ全てのドットデータを除外(図 4 参照)

①の条件は急停止や急加速による影響を軽減するためである。②の条件は緩やかな加速減速の影響を軽減するためである。上記の2つの条件により加速減速モードを除外した走行軌跡データを作成した。次にこの走行軌跡データから速度が一定時間変化せずに走行できている定常走行部分を抽出する。この定常走行部分の傾きを求めることで定常速度 $V_i$ を推定した(図 5 参照)。今回は15

秒以上と25秒以上走行できた場合を定常走行とし比較、分析を行う

(2) 混合ガウスモデル

一般に交通流は、自由流と混雑流で構成されている。自由流とは、下流部の交通容量の制約を受けない状況における交通流である。この交通流において、個々の車両は希望走行速度での走行が可能となる。混雑流とは、交通容量上のボトルネックにその地点の交通容量を超える交通需要が流入したときに、ボトルネックを先頭にして、その区間の上流に出現する交通容量の制約を受けた交通流である。この交通流において、個々の車両は全て追従走行となり、希望走行速度での走行は困難である。本研究では、混合ガウスモデル<sup>9)</sup>を用いることで自由流と混雑流を分別し、希望走行速度の推定を試みる。混合ガウスモデルとは、混合モデルの一種で、ガウス分布(正規分布)の線形重ね合わせで表されるモデルである十分な数のガウス分布を用いて、線形結合する重みの係数と各分布の平均と分散を調節すれば、ほぼどのような連続関数でも任意の精度で近似することができる。そこで、先行車の影響を受け希望走行速度で走行できていない車両の速度を混雑時速度と定義し、希望走行速度と混雑時速度の両速度分布を正規分布と仮定する。定常速度は加速減速や停止の影響を除いた走行速度であり、その速度分布は希望走行速度と混雑時速度の正規分布の線形結合で近似することが可能であると考えられる。つまり、定常速度は、(1)のように希望走行速度分布と混雑時分布の混合正規分布(混合ガウス分布)に従うといえる。

$$V_i \sim w_d N(\bar{V}_d, \sigma_d) + w_c N(\bar{V}_c, \sigma_c), \quad (1)$$

混合ガウス分布のパラメータである $w_d$ と $w_c$ は混合係数であり、希望走行速度分布と混雑時速度分布の重みであり、 $\bar{V}_d, \sigma_d$ と $\bar{V}_c, \sigma_c$ はそれぞれの分布の平均速度と標準偏差を表す。これらのパラメータをEMアルゴリズムを用いることで推定し、平均希望走行速度 $\bar{V}_d$ と標準偏差 $\sigma_d$ を求める。標準偏差は、ドライバー特性や道路交通環境(時間帯、交通量)、気象条件などによるばらつきを表していると考えられる。

5. 希望走行速度推定結果

(1) 2パターンの定常速度の混合ガウスモデル分析結果

15秒以上走行できた場合を定常走行とした際の、混合ガウスモデルとそのパラメータを図6と表2に、25秒以上走行を定常走行とした際の、混合ガウスモデルとそのパラメータを図7と表3に示す。

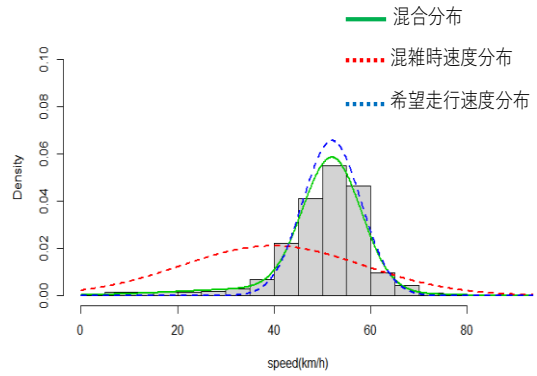


図6 15秒以上を定常走行とした混合ガウスモデル

表2 15秒以上を定常走行とした混合ガウスモデルのパラメータ

|            | 希望走行速度 | 混雑時速度 |
|------------|--------|-------|
| 混合割合       | 0.85   | 0.15  |
| 平均速度(km/h) | 52.0   | 39.9  |
| 標準偏差(km/h) | 6.0    | 18.9  |

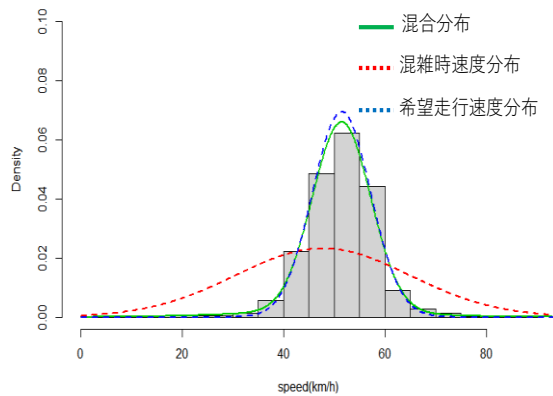


図7 25秒以上を定常走行とした混合ガウスモデル

表3 25秒以上を定常走行とした混合ガウスモデルのパラメータ

|            | 希望走行速度 | 混雑時速度 |
|------------|--------|-------|
| 混合割合       | 0.93   | 0.07  |
| 平均速度(km/h) | 51.5   | 47.7  |
| 標準偏差(km/h) | 5.7    | 17.2  |

平均希望走行速度は、15秒以上走行を定常走行とした場合が52.0km/h、標準偏差は6.0km/h、25秒以上走行を定常走行とした場合も平均希望走行速度が51.5km/h、標準偏差が5.7km/hでありほとんど同じである。分析区間の制限速度が60km/hであることから、今回推定された希望走行速度は制限速度内であり、実際の希望走行速度から



大きくずれているとは考えにくい。一方で混雑時速度は、2つの混合ガウスモデルで標準偏差が18.9km/hと17.2km/hで近い値であるが、25秒以上を定常走行平均混雑時速度は47.7km/hであり平均希望走行速度の51.5km/hと近い値になっている。これは25秒以上を定常走行とした場合、定常速度の大半が希望走行速度であると考えられ、混雑時速度と判定される速度がほとんど含まれていないと思われる。混合割合に着目すると混雑時速度の値は0.07と非常に小さい。そのため、混合ガウスモデルで定常速度を希望走行速度と混雑時速度に分類するのは難しく、25秒以上走行を定常走行とした場合の定常速度分布は希望走行速度分布のみの速度分布と判断したほうが合理的である。

**(2) 区間ごとの希望走行速度分析結果**

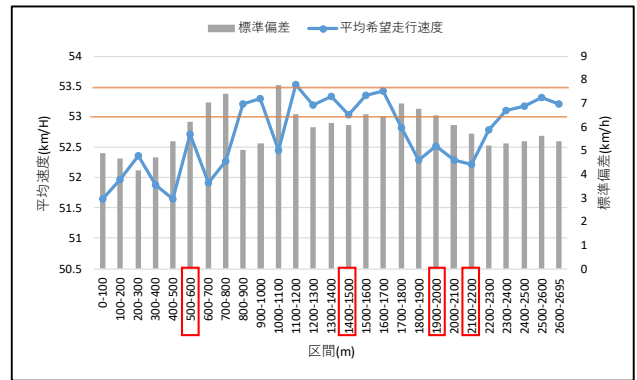
次に分析対象区間の100m毎の希望走行速度について分析を行う。今回は15秒以上走行を定常走行とし混合ガウスモデルを使い、平均希望走行速度と標準偏差を推定した。その分析結果を図8に示す。また、図9に区間別の定常走行の内訳を示す。定常走行の内訳とは、その区間を定常走行のまま通過できた場合、その区間で定常走行が終了した場合、その区間から定常走行を開始した場合の3種類の割合を示したものである。また図中の赤い四角で囲まれた区間は信号交差点が存在する区間である。

全体的な傾向として、信号交差点前の区間は徐々に平均希望走行速度が低下し、信号交差点区間を過ぎた後から徐々に平均希望走行速度が上昇する傾向がみられる。

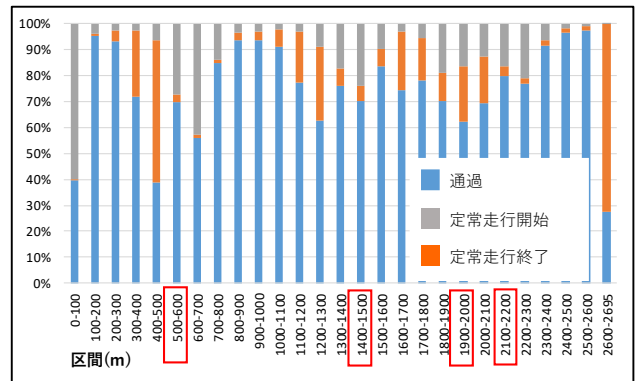
特定の区間に注目すると、400-500m区間は、前後区間や他の区間と比較して平均希望走行速度が低く、さらに図9からこの区間で定常走行が終了した割合も約40%と非常に高い。これは500-600m区間に存在する御経塚信号交差点の影響による停止や減速が原因だと考えられる。また800~1000m, 1100~1700m, 2300~2695m区間は、平均希望走行速度が約53.0~53.5km/hと早く、標準偏差も約5.0と比較的小さい。この区間は他の区間よりも多くのドライバーが早い速度を選択し、その選択する速度のばらつきも小さくなるような要因の存在が考えられる。

**6. おわりに**

本研究では、プローブデータを用いた希望走行速度の推定手法に関する基礎的な検討を行った。プローブデータの走行軌跡データから加速減速モードと停止を除去した定常速度分布が希望走行速度と混雑時速度の混合ガウスモデルで表現可能であるとし、平均希望走行速度やそのばらつきの推定をした。推定された平均希望走行速度は分析対象区間の制限速度を下回っており、実際の希望走行速度と大きくかけ離れた値ではないと判断できる。



**図8 区間ごとの希望走行速度**



**図9 区間別定常走行内訳**

また今回の手法を用いて適切な希望走行速度推定をするためには定常走行の抽出、設定方法が大事である。さらに区間別で希望走行速度を推定したことで、区間毎の速度変動から信号交差点の影響を確認でき、他の希望走行速度の決定要因となり得る存在の確認もできた。

今後の展望として、様々な抽出法・設定を試し、プローブデータの走行軌跡データから加速減速の影響を適切に除去した定常速度を読み取る方法を検討する。また希望走行速度分布や混雑時分布が正規分布であるか、混合ガウスモデルが適切に希望走行速度を読み取れているのか、その妥当性を検討する。そのために、道路交通環境や個人特性、気象条件などの影響をより明確にしていく必要があると思われる。

**謝辞:** 本研究は株式会社富士通交通・道路データサービスからデータを提供いただいた。ここに記して感謝いたします。

**参考文献**

- 1) 洪性俊, 割田博, 桑原雅夫: 首都高速道路における個別車両ベースの自由流速度の分布特性
- 2) 中村美保子, 喜多秀行: 追従車の存在を考慮した自由走行速度分布の推定法, 土木計画学研究・講演

- 集,CD-ROM,Vol 26 ,2002
- 3) 松尾幸二郎, 廣島康裕: 知覚総コスト最小化原理に基づく希望速度決定モデルに関する基礎的検討, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.68, No.5 ,pp.1331-1340, 2012
- 4) 高田弘: 速度分布の特性よりみた道路交通流の解析, 土木学会論文集,Vol125,pp.37-46,1966
- 5) 中村永友: 多変量正規混合分布モデルに基づく分類法,計算統計学,Vol8,No2,pp.117-133,1996

(2019. 10. 4 受付)

## BASIC RESEARCH ON DESIRED SPEED ESTIMATION METHOD BY USING PROBE DATA

Junya HOSHIKAWA, Shoichiro NAKAYAMA and Hiromichi YAMAGUCHI

The desired speed, which is information to evaluate the level of service on the road, is the speed that the driver wants to drive under free condition and not follow-up running. In this study, I try to estimate the desired speed by focusing on the behavior information and traveling locus of the probe data.

Specifically, first, in order to remove the acceleration / deceleration part from the prob data,I use a time space diagram that plots the travel position for each time series. Next,I extract the steady speed excluding the in acceleration / deceleration and stop. In addition, the steady speed is the speed which the speed does not change for a fixed time and driver can run for a long time. Finally, the steady speed is assumed to the Gaussian Mixture Model . By estimating the parameters using the EM algorithm, I estimate distribution of the desired travel speed and the crowded speed, the average desired travel speed and standard deviation .