

制約条件が変化する環境下における知的運転方式の提案

A proposal of an intelligent driving method under the environment where constraint condition changes

○ 高橋周太郎

安信誠二

澁谷長史

○Shutaro TAKAHASHI

Seiji YASUNOBU

Takeshi SHIBUYA

筑波大学 工学システム学類 知的制御システム研究室

University of Tsukuba

Intelligent control system Lab.

Abstract: Train plays a key role as public transportation in our daily life. However, if the transport volume decreases due to irregularities in the timetable of train, it'll be shock to our society. In this study, we proposed an intelligent driving method using an intelligent driving support system based on the knowledge of expert drivers under the environment where constraint condition changes. By giving appropriate support to drivers, it is confirmed that the proposed method is effective to the achievement of the recovery of transport volume.

1 はじめに

現代の日本社会は鉄道等の公共交通機関によって支えられているため、それらのダイヤの乱れが生じると輸送量が減り、社会に大きな影響がでてしまう。

一般に、時刻情報が所定のダイヤから乱れると、運転手は走行する中で様々な情報を利用しながらできるだけ目的地に早く到着する事、安全性を考慮して、運転技術により輸送量の回復を実現しようと試みる。しかしそのような列車の運転は、動的に変化する制約条件(制限速度・信号機の表示が切り替わる時刻)を考慮しながらの多目的な作業となり、困難な作業である。

そこで本論文では、人間の感覚や知識を取り入れた知的制御の適用を考え、熟練者の知識を列車の制御器に組み込むことで、制約条件が変化しても目的地にできるだけ早く到着(輸送量の回復)できる的確かつ柔軟な知的運転方式を提案し、その有用性を示す。具体的には熟練者の知識を列車の制御器に組み込んだ知的運転支援システム構築し、それを利用した運転方式を提案する。そして非熟練者による運転シミュレーションを行い、提案した知的運転方式の有用性を示す。

2 列車の運転

2.1 運転作法

列車の運転手は以下の情報を利用でき、(1)~(3)の条件を順守しながら運転を行っている。

- 信号機の表示が切り替わる時刻
- 現在位置から信号機までの距離
- 現在位置から停車位置までの距離

(1) 制限速度の順守

(2) 信号機・通過駅付近における通過時刻の順守

(3) 指定した停車位置に精度良く停車

2.2 信号機付近における列車の運転

本節では目的地にできるだけ早く到着(輸送量を回復)するための運転として、信号機付近における列車の運転について検討する。信号機付近における列車の運転は、信号機の表示が赤から青に切り替る直前に急停車し、切り替った直後に急加速するような走行が1番理想的である。しかし列車は特性上、瞬時の停車・発進という動作が困難な乗り物であるため、そのような走行をすることができない。

その際、列車の動特性を熟知した熟練者は、与えられた情報を利用して図.1のように、信号機付近を制限速度ギリギリの速度で通過するように運転をする。一方で非熟練者は与えられた情報を上手く利用できないため、信号機付近で一旦停車し、再発車するという運転をする。この停車・再発車にかかる時間によって、熟練者の運転と比較して到着時間に時間差が生じ、熟練者はこの時間差分だけ、目的地に早く到達することができるため、輸送量の回復につなげることができる。

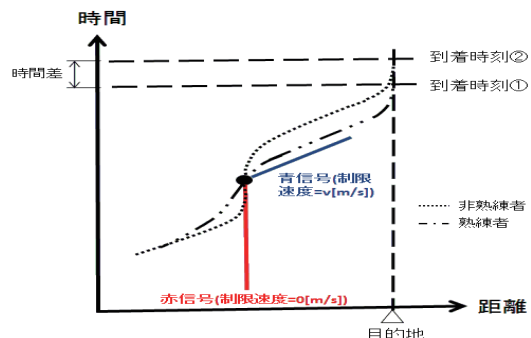


図 1: 信号機付近での速度パターン

力の最小値を制御ノッチとして決定する。

5.2.1 走行制御部

走行制御部では運転目標設定部で算出した最終的な目標速度 v_m と、ノッチを操作した際に予測される予測速度 v_p の差をとり、その値を速度誤差 $v_e = v_m - v_p$ としてファジィ集合で評価し、操作量を決定する。また、前回にノッチを操作してからの経過時間をメンバーシップ関数で評価することによって、ノッチ操作頻度の評価を行い、これを乗り心地としての判断要素として操作量を決定する。

各操作候補に対して以上の評価を行い、評価値が1番高い操作候補を次の操作量として、出力する。

5.2.2 通過制御部

通過制御部ではあらかじめ設定した目標通過位置 X_{tp} と、ノッチを操作した際に予測される予測通過位置 X_{pp} の差をとり、その値を通過位置誤差 $X_{ep} = X_{tp} - X_{pp}$ として定義し、 X_{ep} の大きさをファジィ集合で評価している。さらに、通過位置に対する減速開始までの残り時間 t_{zp} をメンバーシップ関数により評価し、さらに走行制御部と同様にノッチ操作頻度の評価を行い、これを乗り心地としての判断要素として操作量を決定する。

各操作候補に対して以上の評価を行い、評価値が1番高い操作候補を次の操作量として、出力する。

5.2.3 停車制御部

停車制御部ではあらかじめ設定した目標停車位置 X_{ts} と、ノッチを操作した際に予測される予測停車位置 X_{ps} の差をとり、その値を停車位置誤差 $X_{es} = X_{ts} - X_{ps}$ として、 X_{es} の大きさをファジィ集合で評価している。さらに、停車位置に対する減速開始までの残り時間 t_{zs} をメンバーシップ関数により評価し、さらに走行制御部と同様にノッチ操作頻度の評価を行い、これを乗り心地としての判断要素として操作量を決定する。

各操作候補に対して以上の評価を行い、評価値が1番高い操作候補を次の操作量として、出力する。

5.3 支援実行部

支援情報の提示方法は図.3のような画面情報を利用する。図.3では非熟練者による操作(左側)が、操作量決定部で決定された制御ノッチ(右側)と同じになるように被支援者(非熟練者)に支援情報を掲示している。

以上の情報を用いて列車を運転すれば、被支援者が支援情報と同様のノッチ操作を行うことで、熟練者と同等の運転操作が可能となり、信号機付近における制限速度ギリギリの速度での通過・停車位置におけるスムーズで正確な停車が可能となる。これにより、輸送量の回復につながる運転を実現する。



図 3: 支援情報の掲示

6 シミュレーション

6.1 環境と条件

本シミュレーションでは出発から 100[s] 後に信号機の表示が赤から青に切り替る予定だったが、前方列車の影響で出発から 30[s] 経過後に制約条件(信号機の表示が切り替るまでの時刻情報(通過予定時刻))が 80[s] 後の時刻へと変化するという環境を想定し、列車の運転シミュレーションを行う。

ただし運転者は図.4のように初期位置を 0[m]、初速度を 0[m/s]、第 1 区間の制限速度を 23[m/s] として駅を出発し、第 2 区間の制限速度を 15[m/s] とする。さらに出発地点から目的地までの距離は 2000[m] とし、その間に 1 つの信号機 (1300[m] 地点) を設置し、変化する制約条件や現在状態を時々刻々考慮しながら、構築した知的運転支援システムを用いた非熟練者による列車の運転シミュレーションを行う。

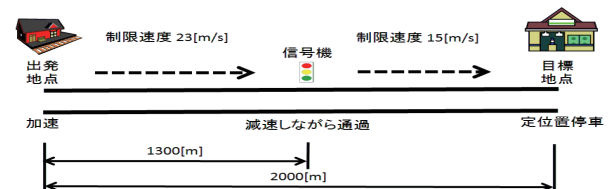


図 4: シミュレーション環境

6.2 結果と考察

図.5より、最終的な停車位置に関しては、知的運転支援システムを利用しない場合の停車位置が 2001.3[m] となりずれ (1.3[m]) が生じたのに対し、知的運転支援システム利用時は走行中に制約条件が変化した(通過時刻が変更になった)にもかかわらず 2000.02[m] となり、ずれが小さくなったことがわかる。また出発から 80[s] 後の通過位置に関しても、知的運転支援システムを利用しない場合の通過位置が 1299[m] となり 1[m] ほどずれが生じたのに対し、知的運転支援システムを利用した場合は 1300.3[m] となり、さらに制約条件が変化したにもかかわらず制限速度ギリギリの 15[m/s] で通過できていることが確認できた。以上の事から、知的運転支援システムを利用した運転は通過・停車位置の正確さの追求に有用であることが確認できた。

また図.7より、知的運転支援システムを利用しない場合のノッチ総変化回数が80回だったのに対して、知的運転支援システムを利用した場合の結果は32回となり、ノッチの総変化回数が減少したことがわかる。特に通過・停車中(減速時)でのノッチ変化回数を大幅に軽減できていることが確認できた。この結果から知的運転支援システムを利用した運転は、制約条件が走行中に変化してもノッチの総変化回数を削減でき、特に減速中のノッチ変化回数を大幅に軽減できるため、乗り心地の悪化の防止にも有用であることが確認できた。

さらに図.5と図.6より、知的運転支援システムを利用しない場合は与えられた情報を上手く利用できないため、信号機付近で一旦停車し、信号機の表示が赤から青に変わった瞬間に再発進したり停車位置付近で再加速していることがわかる。この停車(減速)・再発進(加速)の際にかかる時間により、目標停車位置到着時間が162[s]となった。これに対して知的運転支援システムを利用した場合は、走行中に制約条件が変化したにもかかわらず、出発から80[s]後に制限速度ギリギリの速度(15[m/s])で信号機付近を通過し、停車位置付近でスムーズに停車しているので、目的地到着時間が138.5[s]となり、知的運転支援システムを利用しない場合より23.5[s]早く目的地に到着できた。

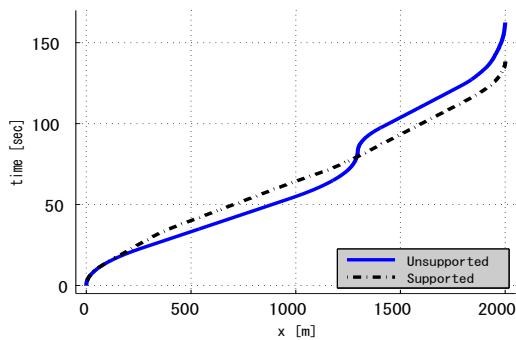


図 5: ST グラフ

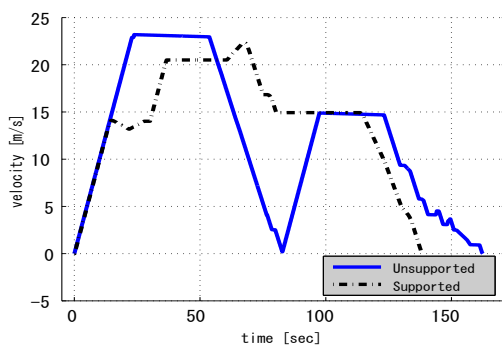


図 6: 速度の時間的变化

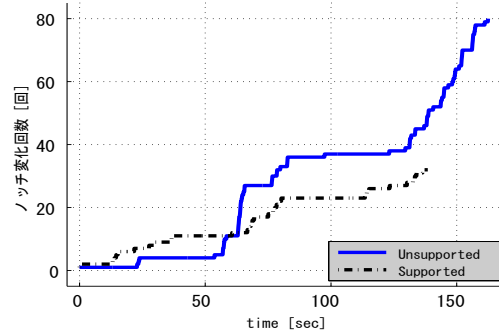


図 7: ノッチの総変化回数

以上の結果から走行中に制約条件が変化しても、知的運転支援システムを利用して運転すれば、非熟練者(被支援者)でも、正確に、快適に、迅速に目的地に到着するような運転ができ、輸送量の回復につながる運転ができる事がわかった。これにより、提案した知的運転方式が、制約条件が変化する環境下における輸送量の回復に有用であることを示した。

7 おわりに

本研究では信号機付近における熟練者の運転について解析し、熟練者の知識に基づいた知的運転支援システムを構築した。そして、構築した知的運転支援システムを用いた非熟練者による列車運転のシミュレーション実験を行い、制約条件が動的に変化する環境下においても、構築した知的運転支援システムを利用して運転をすれば、非熟練者でも正確に、快適に、迅速に目的地へ到着でき、輸送量の回復につながる運転ができる事を示した。これにより、提案した知的運転方式は輸送量の回復に有用であることを示した。

参考文献

- [1] 安信誠二:「ファジィ工学」, 昭晃堂, 1991.
- [2] 佐藤勝太, 安信誠二: 所定時刻に定位置停止を実現する知的運転支援システムの構築, 第37回知能システムシンポジウム, pp.231-234 (2010.3)
- [3] 高橋周太郎, 安信誠二: 「動的に変化する環境下における知的運転支援システムの開発」, 第60回知的制御研究会, pp.12-13, 2011

連絡先

〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

筑波大学 理工学群 工学システム学類

知的制御システム研究室 高橋周太郎

E-mail: takahashi@fz.iit.tsukuba.ac.jp