

高速道路における安全運転支援システムの開発

木間 俊宏[†] 藤村 嘉一[†] 上條 俊介[†]

東京大学生産技術研究所[†]

あらまし

本論文では、高速道路の事故要因として考えられている臨界領域の交通流において、下流から上流へと伝播する衝撃波を検知する画像センサを開発している。またこの画像センサを利用して、下流側で発生する衝撃波の情報を、上流を走行中のドライバに警告する安全運転支援システムを開発している。本システムの誤報率および欠報率に関する検討を行った結果、本システムでは、上流側よりも下流側のセンサにおいて衝撃波の検知および警告を決定する方がよいことを示している。

1. まえがき

近年、道路交通における事故件数自体は依然増加傾向にある。この背景の下、世界各国で安全運転支援システムの研究・開発が盛んに行われている。これらの多くは、路車間通信を用いた路車協調型のシステムであり、そのプロジェクト例としては、アメリカの VII (Vehicle Infrastructure Integration)[1] や日本の AHS[2] などが挙げられる。

現在、これらのシステムは有用な効果を挙げているが、多くの事故要因解析はいまだ不十分である。それらを解明するための取り組みとして我々は首都高速道路赤坂トンネルを対象として、画像監視による事故検出の実験と超音波センサのデータ収集を行っている[3]。

本論文では、その要因分析の結果事故要因として判明した、臨界領域の交通流における下流のボトルネック地点であるジャンクションからの衝撃波の伝播を検知することを可能にする画像センサを開発する。また、この画像センサを用いた衝撃波の伝播に関する評価を行い、衝撃波衝突事故防止システムを提案する。

2. 臨界領域の交通流における事故を防ぐ安全運転支援システム

図 1 に首都高速道路 4 号線の概略図を示す。本道路には図 1(a) のように数台の超音波センサが設置されており、また特に赤坂トンネル付近には図 1(b) のように約 70~80m 毎に ITV カメラが設置されている。そこで、これらのセンサを利用して事故要因である衝撃波を検知し、上流を走行中のドライバに対して情報提供を行うことで事故防止が可能であると考えられる。

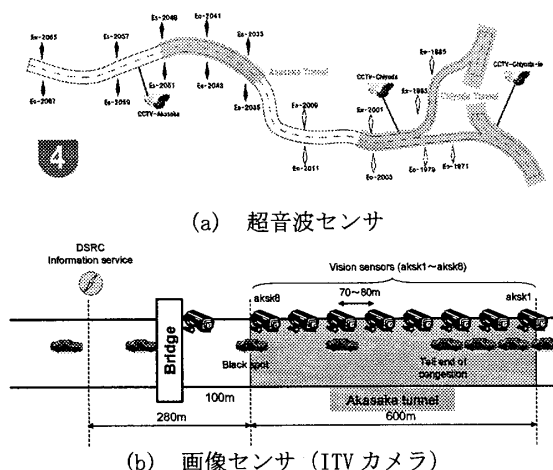


図 1 赤坂トンネル付近におけるセンサ群

このようなシステムでは、衝撃波の到来を検知するために、センサを用いて交通流の平均速度等を算出すること、および衝撃波がどの位置に発生・到達した際に情報提供を行うのがよいかに関する詳細な解析が必要である。そのため、本論文では、粒度の細かい画像センサを用いることを想定し、まず 3. において衝撃波の詳細な解析を可能にするツールとしての画像センサの開発について述べる。また、その画像センサを用いた衝撃波の解析およびその結果に基づく事故防止システムに関する評価を 4. において述べる。

3. 画像センサの開発

図 2 に開発した画像センサを用いた安全運転支援システムの流れを示す。本システムではまず ST-MRF モデル[4]に基づく車両のトラッキングが行われ、このトラッキングの結果を基に 0.1 秒毎のフレームにおいて交通流の平均速度が算出される。

次に、車両のトラッキングにより算出された平均速度をもとに衝撃波の検知が行われる。衝撃波の検知アルゴリズムを図 3 に示す。ここでは、過去 128 フレームの平均速度から交通流の混雑度が判定され、衝撃波の検知および警告が行われる。

上記の画像センサの性能を評価するために、衝撃波検知実験を行った結果、衝撃波は欠報なく検出された。また少数の誤報が発生したが、その原因は、連続する 2 つの衝撃波同士をひとつの衝撃波とみなしてしまい、検出の解除が行われなかったことに起因する。

A Study on VII system to prevent accidents in the critical flow
Kaichi Fujimura[†], Konoma Toshihoro[†], Kamijo Shunsuke[†]
[†]Institute of Industrial Science the University of Tokyo.

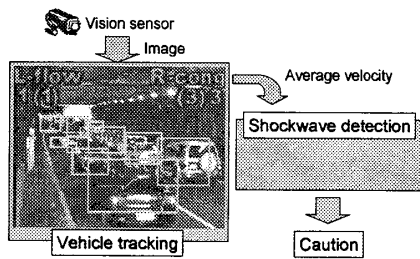


図2 画像センサによる衝撃波事故防止システム

$$score_n = \begin{cases} 1 & \text{average velocity} \geq 40 \quad (\text{km/h}) \\ 2 & 20 < \text{average velocity} < 40 \\ 3 & \text{average velocity} \leq 20 \end{cases}$$

$$\text{average score} = \left(\sum_{i=n-128}^n score_i \right) / 128$$

$$condition_n = \begin{cases} \text{flow} & \text{average score} \leq 1.6 \\ \text{critical} & 1.6 < \text{average score} < 2.4 \\ \text{congestion} & \text{average score} \geq 2.4 \end{cases}$$

$$warning_n = \begin{cases} \text{on} & condition_n = \text{congestion} \\ \text{on} & condition_n = \text{critical} \\ & \& condition_{n-1} = \text{congestion} \\ \text{off} & condition_n = \text{flow} \end{cases}$$

図3 衝撃波検知アルゴリズム

4. 衝撃波事故防止システムの評価

本論文における衝突防止システムでは、衝撃波の検出位置が重要である。検出位置が上流の情報提供位置に近すぎると、すでに下流で発生していた衝撃波に情報提供を受けていないドライバーが遭遇する可能性（欠報）が増加し、検出位置が上流の情報提供位置よりも遠すぎると、逆に下流で発生していた衝撃波の解消等によりドライバーが衝撃波に遭遇しない可能性（誤報）が増加する。この欠報や誤報はドライバーの心理状態に影響を与え、システムの信頼性に関わるため、最小限に留めることが望まれる。本節では、この欠報や誤報の割合を以下のように定義し、これらに関する評価を行うことで、適した衝撃波の検出位置を求める。

$$\text{False rate} = \frac{N_{\text{receive, not encounter}}}{N_{\text{receive}}}$$

$$\text{Recall rate} = \frac{N_{\text{encounter, not receiving}}}{N_{\text{encounter}}}$$

N_{receive} : The number of vehicle receiving warning

$N_{\text{receive, not encounter}}$: The number of vehicle not coming across shockwave while receiving warning

$N_{\text{encounter}}$: The number of vehicle encountering shockwave

$N_{\text{encounter, not receiving}}$: The number of vehicle not receiving warning while come across shockwave

ここで、3. において開発した画像センサを用いて、赤坂トンネルに設置されている8つのITVカメラの画像から衝撃波の伝播に関する詳細な解析を行った。解析は、2007年11月2~4日における7:00~22:00までのデータを用いて行われ、この期間中に情報提供位置（DSRC地点）を通過した車

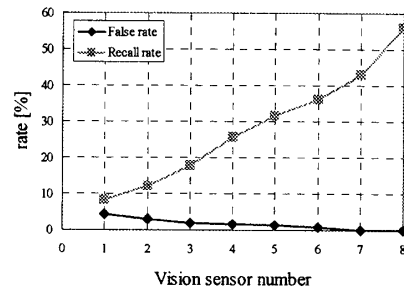


図4 発報センサ位置と誤報率・欠報率

両台数は38897台であった。その結果を基に衝撃波の検出を決定する画像センサの位置と誤報率、欠報率の関係を算出した結果を図4に示す。図4より、発報を決定する画像センサが上流になる（センサ番号が小さい）ほど、欠報率が増加し、誤報率が減少することがわかる。また、欠報率と比較して誤報率がそれほど大きくないことから、両者の数値から総合的に考えると、発報を決定する画像センサの位置は下流ほど良いこと、すなわちaks1あるいはaks2の画像センサが適していることがわかった。

5. むすび

本論文では、臨界領域の交通流において下流側で発生する衝撃波の伝播を上流のドライバに警告する路車協調型の安全運転支援システムを開発した。本システムでは高速道路路上に設置されている画像センサにより衝撃波を検出する。また、ドライバに対するシステムの信頼性を評価するために、誤報率および欠報率に関する検討を行い、上流側よりも下流側のセンサにおいて衝撃波の検知を行い、警告の有無を決定する方がよいことを示した。

今後は、本システムにおいて発生する誤報や欠報がドライバーの心理および行動に与える影響について見当を行っていく予定である。

参考文献

- [1] James A. Misener, et al: "PATH Investigations in Vehicle-Roadside Cooperation and Safety: A Foundation for Safety and Vehicle-Infrastructure Integration Research", Proceedings of the 9th IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC'06), Toronto, Canada, 2006.
- [2] Harutoshi Yamada, Setuo Hirai, Hideto Hatakenaka, Taka-yuki Hirasawa, Isao Yamazaki, Hiroyuki Mizutani, "Effects of AHS for Safety in Curve Sections", 13th World Congress on Intelligent Transport Systems, 2006.
- [3] Naoki Sumiya, Kenji Fujihira, Shunsuke Kamijo, "Incident Detection on Highway by Sensor Fusion", 13th World Congress on Intelligent Transport Systems, Paper No. 1203, 2006.
- [4] Shunsuke Kamijo, Hiroshi Inoue, "Incident Detection from Low-angle Images of Heavy Traffics in Tunnels," Proceedings of the 10th IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC'07), Seattle, USA, CD-ROM, pp. 0-0, 2007.