

[招待論文] ITS 運転支援・自動運転におけるリアルタイム処理

津川 定之

産業技術総合研究所 ITS 研究グループ 〒305-8564 つくば市並木 1-2-1 つくば東

E-mail: tsugawa.s@aist.go.jp

あらまし ITS ならびに ITS における運転支援・自動運転の概況を述べ、その後、運転支援・自動運転のためのセンシング、制御、通信のリアルタイム処理について筆者らの研究を中心に紹介する。紹介するリアルタイム処理は、ビジョンによる自動運転システムにおけるセンシングと制御、車両群自動運転におけるセンシング、制御、車車間通信、ドライバのモニタに基づく運転支援におけるセンシングである。これらのリアルタイム処理は、高速コンピュータの利用だけでなく、高速アルゴリズム、遅れの補償、欠落データの推定などによって実現されている。

キーワード ITS (高度交通システム)、運転支援、自動運転、ビジョン、車両制御、車車間通信。

Real-Time Processing in ITS Driver Assistance and Automated Driving

Sadayuki Tsugawa

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, ITS Research Group

E-mail: tsugawa.s@aist.go.jp

Abstract After the introduction of the Intelligent Transport Systems (ITS), and the driver assistance systems and the automated driving systems, the real-time processing in the sensing, control, and communications for the systems will be described focusing on the work by the authors. The real-time processing includes sensing and control in the vision-based automated driving, sensing, control and inter-vehicle communications in the automated platooning, and sensing in the driver assistance system with driver monitoring. The real-time processing has been achieved by the use of fast algorithms, the compensation of the delay, and the estimation for the data lack as well as by the use of high-speed computers.

Keywords ITS (Intelligent Transport Systems), driver assistance, automated driving, vision, vehicle control, inter-vehicle communications.

概要

運転支援・自動運転のためのセンシング、制御、通信のリアルタイム処理について、筆者らの研究を中心に、1970年代から90年代のビジョンを用いた自動運転システム[1][2]、2000年にデモを行った車群自動運転システム[3]、現在行っている運転支援システム[4]を紹介する。

参考文献

- [1] 谷田部, ほか: ビジョンシステムをもつ車両の自律走行制御, 計測と制御, 総合論文, Vol.30, No.11, pp.1014-1028 (1991).
- [2] 富田, ほか: マシンビジョンによるインテリジェントビークルのプレビューラテラル制御, システム制御情報学会論文誌, Vol.7, No.2, pp.35-41 (1994).
- [3] Kato, S., et al: Vehicle Control Algorithms for Cooperative Driving with Automated Vehicles and Inter-Vehicle Communications, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol.3, No.3, PP.155-161 (2002).
- [4] Tsugawa, S., et al: Human Centered ITS View Aid System: The Concept and Precursor Studies, Proc. 9th ITS World Congress (CD-ROM) (2002).

略語

- ACC: Adaptive Cruise Control
APTS: Advanced Public Transportation Systems
ARTS: Advanced Rural Transportation Systems
ATIS: Advanced Traveler Information Systems
ATMS: Advanced Traffic Management Systems
AVCSS: Advanced Vehicle Control and Safety Systems
CVO: Commercial Vehicle Operations
ETC: Electronic Toll Collection
ITS: Intelligent Transport Systems
ITS アメリカ: Intelligent Transportation Society of America
IVHS: Intelligent Vehicle-Highway Systems
NavLab: Navigation Laboratory
PATH: Partners for Advanced Transit and Highways
VaMoRs: Versuchsfahrzeug fuer autonome Mobilitoet und Rechnersehen
VICS: Vehicle Information and Communication Systems
VITA: Vision Technology Application

ITS運転支援・自動運転におけるリアルタイム処理

電子情報通信学会コンピュータシステム研究会
2003年3月10日

津川 定之

産業技術総合研究所ITS研究グループ

アウトライン

- ITSとは何か
- 運転支援・自動運転とは何か
- 自動運転におけるセンシングと制御
 - ビジョンシステムによる自動運転システム
- 協調走行におけるセンシング, 制御, 通信
 - 車両群自動運転の技術とシステム
- 運転支援におけるセンシング
 - ドライバ適応型運転支援の技術とシステム
- まとめ

TSUGAWA

IEICECPST研究会

2

ITSとは何か

- ITSの定義
 - [定義1] センシング, 制御, エレクトロニクス, コンピュータ, 情報通信といったハイテクを使って自動車交通問題を解決するシステム
 - [定義1+] 陸海空における安全で効率的な人と物の移動を図るシステム
 - [定義2] ITS=IT(Information Tech)+TS(Transportation System)
- 筆者が考えるITS
 - [定義1]で定義されるITS
 - より適切な表現: IVHS

TSUGAWA

IEICECPST研究会

3

ITSに含まれるシステム

- ITSには大小多くのシステムが含まれる
- ITSアメリカによる分類
 - ATMS: 信号制御システム, ETC
 - ATIS: ナビゲーションシステム, VICS
 - AVCSS: 運転支援, 自動運転
 - CVO: 商業車の運行管理
 - APTS: 公共交通機関の情報化
 - ARTS: 都市間, 地方, 僻地のITS
- ここで取り上げるシステム: AVCSS

TSUGAWA

IEICECPST研究会

4

運転支援と自動運転とは何か

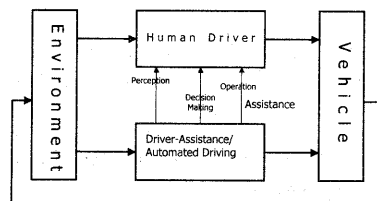
- 定義
 - 運転支援: ドライバの, 認知, 判断, 操作の一部を機械が代行するもの
 - 自動運転: すべてを機械が代行するもの
- 運転支援の難しさ
 - ヒューマンマシンインタフェース(人が運転制御ループにあること)

TSUGAWA

IEICECPST研究会

5

運転支援と自動運転の構成



TSUGAWA

IEICECPST研究会

6

AVCSSの歴史: 運転支援

- 当初の研究: 衝突回避システム
 - 1960-70: 電波利用レーダの研究[米]
- 実用化された車載システム[日]
 - 1982: 超音波利用後方監視装置
 - 1983: 居眠り検出システム
 - 1980代後半: レーザレーダ車間距離警報装置
 - 1995: ACC
 - 2001: レーンキープアシスト

TSUGAWA

IEICEPCPSY研究会

7

AVCSSの歴史: 自動運転

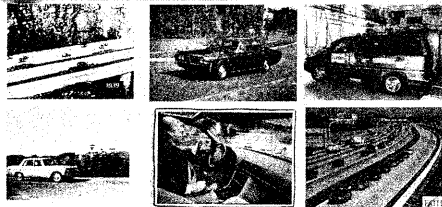
- 自動運転の研究: ITSの研究のうち最も早期に開始
- 1939: GMによるコンセプトFuturama
- 第1期: 1950-60代
 - 誘導ケーブルによる自動操舵
 - 米, 英, 独, 日
- 第2期: 1970-80代
 - マシンビジョンによる自動運転
 - 日(知能自動車), 米(NavLab), 独(VaMoRs)
- 第3期: 1980代後半-1997?
 - 各国のITSプロジェクト
 - 隊列自動走行

TSUGAWA

IEICEPCPSY研究会

8

自動運転システム



上: Futurama(1939) 上: 機械研知能自動車(1970s) 上: CMUのNavLab5(1995)
下: 機械研システム(1960s) 下: タイムラベンソVITAII(1994) 下: カリフォルニアPATH(1997)

TSUGAWA

IEICEPCPSY研究会

9

知能自動車におけるセンシング

- 知能自動車
 - 1970代, 80代
 - ビジョンシステムによる自動運転
- ビジョンシステム
 - ハードワイヤードロジックによるビデオ信号のリアルタイム処理
 - 路上立体物の検出
 - 視野: 5-20m, 視角: 40度



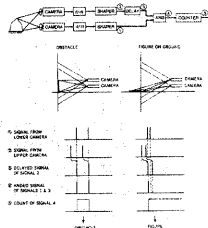
TSUGAWA

IEICEPCPSY研究会

10

知能自動車における ビジョンシステム動作原理

- 立体物検出原理
 - 視差に基づく
 - TVカメラ縦列のステレオビジョン



TSUGAWA

IEICEPCPSY研究会

11

知能自動車の制御

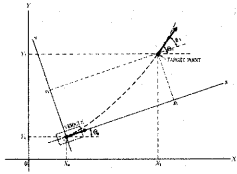
- 第1期: 1970代
 - コンピュータ: 8bitプロセッサ(MC6800), ユーティリティ
 - 走行速度: 20-30km/h
 - 制御アルゴリズム
 - 立体物位置をキーとするテーブルルックアップ
 - 制御周期100msec以内: "36km/h=1m/100msec"
- 第2期: 1980代前半
 - コンピュータ: LSI-11, モニタ: RT-11
 - 走行速度: 10km/h
 - 制御アルゴリズム
 - テッドレコニングに基づく自車位置と地図DB
 - 制御周期: 204.8msec

TSUGAWA

IEICEPCPSY研究会

12

知能自動車の制御



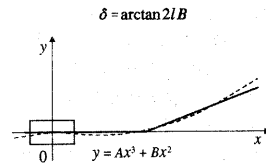
- 地点追従法
 - 地図DBから車が辿る点列を決定し、順次、点を通してするように操舵を決定する

TSUGAWA

IEICEPCPSY研究会

13

ビジョンをもつ自律車両への地点追従法の拡張



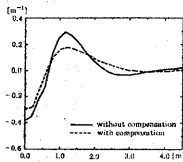
- 路面の参照線の3次曲線による近似
- 3次曲線の係数から操舵が求まる

TSUGAWA

IEICEPCPSY研究会

14

処理の遅れの補償



- 遅れの補償
 - 遅れ時間後の車両位置を推定し、その点における参照線の見え方(推定)から次周期の操舵を決定

TSUGAWA

IEICEPCPSY研究会

15

協調走行システム

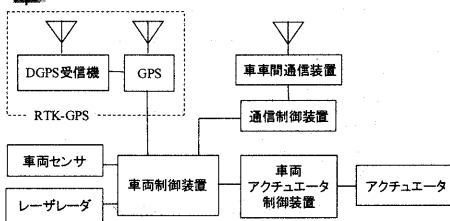
- 協調走行
 - 複数台の自動運転車両が複数車線にまたがってプラトーン(隊列)を形成し、車線変更、合流、分流、プラトーンへの参加・離脱を柔軟に行う走行システム
 - キーワード: 雁の渡り, イルカの群の遊泳
- 目的
 - 安全を大前提とした道路交通のスループットの向上
- 技術
 - 自動運転のためのセンシングと制御
 - プラトーン制御のための通信

TSUGAWA

IEICEPCPSY研究会

16

自動運転車両の構成



TSUGAWA

IEICEPCPSY研究会

17

車載コンピュータ

- 車両制御装置
 - OS: Windows NT
 - プロセサ: Pentium III, 1GHz
 - プログラム言語: C言語
 - 処理: マルチスレッド(RTK-GPS, 車車間通信, レーザレーダ, 速度制御, 操舵制御などをそれぞれスレッドとして分散処理)
- 通信制御装置
 - OS: PC-DOS7.0
 - プロセサ: Pentium III, 750MHz
 - プログラム言語: C言語

TSUGAWA

IEICEPCPSY研究会

18

車両のセンシング機能

- 自車位置の計測
 - RTK-GPS
 - テストコース上で静止状態での精度: 1-2cm
 - 測定周期: 200msec
 - 遅れ: 約100msec
- 障害物検出
 - レーザレーダ
 - 測定範囲: 100m以上

TSUGAWA

IEICECPSTY研究会

19

車車間通信

- 車両制御への応用時の車車間通信の要件
 - リアルタイムデータ伝送
 - 柔軟なネットワーク対応
- メディアアクセス制御方式
 - チャンネル占有 (ノンコンテンション) 型: 基地局から制御, 時分割制御
 - チャンネル共有 (コンテンション) 型: 自律的, CSMA
 - CSMAを採用
- CSMA
 - Non-persistent CSMA と p-persistent CSMA
 - シミュレーションで性能比較
 - Non-persistent CSMA を採用

TSUGAWA

IEICECPSTY研究会

20

車車間通信機能

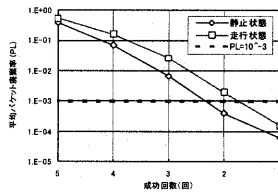
- プロトコル
 - DSRC, 5.8GHz, "DOLPHIN"
 - 車車間の通信周期: 20ms
 - 車両制御装置との通信周期: 100ms
 - 5回繰り返し, パケット衝突の可能性を低減
- 送受するデータ
 - GPSによる自車位置, x,y座標 各3バイト
 - 自車速度と移動方向 各3バイト
 - GPS時刻(データ新旧判別用) 4バイト
 - 障害物までの距離 5バイト

TSUGAWA

IEICECPSTY研究会

21

繰り返し回数と通信品質



- ・ データの欠落は, 車両制御時に推定して対処する

TSUGAWA

IEICECPSTY研究会

22

車両制御機能

- ラテラル制御
 - GPSによる自車位置と精密なデジタル地図
 - コースを点列で表現し, 点を順次通過するように操舵
- 先頭車のロンジチュージナル制御
 - 地図上の速度指令
- 後続車のロンジチュージナル制御
 - 車間距離と相対速度によるPD制御
 - 1車線上での車間距離: 20m
- プラトウンのフォーメーション
 - 千鳥格子状
 - 2車線上での車間距離: 34m, 相対車間距離: 17m

TSUGAWA

IEICECPSTY研究会

23

協調走行システムのデモ

- 自動運転車両: 5台
- テストコース: 3.2km, 3周
- デモでのイベント
 - Stop & go
 - プラトウニング
 - 緊急車による追い越し
 - 分流, 合流
 - 障害物検出, 車線変更による回避

TSUGAWA

IEICECPSTY研究会

24

我々の自動運転システム における処理の高速化

- アルゴリズムの高速化
 - 構造的に高速のアルゴリズム
 - ビデオ信号の直接処理
 - 画像処理の高速化を可能にするような車両制御アルゴリズム
- リアルタイム性の確保
 - 遅れの補償
 - 通信時の欠落データの対処: 再送ではなく推定

TSUGAWA

IEICEPSY研究会

25

人に優しい運転支援

- 運転支援の要件
 - 親切ではあるがお節介ではない
 - 適切であり、うるさくない
- 人に優しい運転支援の実現方法
 - ドライバ、ドライバ挙動、車両挙動のモニタリング
 - 運転支援と自動運転のシームレス化
 - 緊急時、短時間短距離の自動運転で路肩に止める
 - 車線逸脱時、警報、それに続く制御介入

TSUGAWA

IEICEPSY研究会

26

センシング: ドライバモニタリング

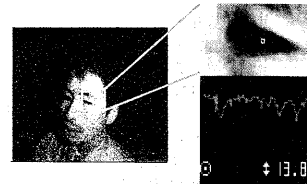
モニタリングの対象	方法
瞬き	マシンビジョン
視線方向	
脈拍	微小変位センサ

TSUGAWA

IEICEPSY研究会

27

センシング: 瞬き



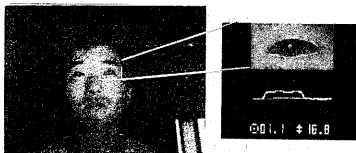
- リアビューミラー装着のカメラ
- パルス状赤外照射と画像処理

TSUGAWA

IEICEPSY研究会

28

センシング: 視線方向



- リアビューミラー装着のカメラ
- パルス状赤外照射と画像処理

TSUGAWA

IEICEPSY研究会

29

まとめ

- ITSの運転支援・自動運転分野におけるリアルタイム処理
 - センシング
 - 車両制御
 - 通信、特に車車間通信
- これらのシステムにおける要件
 - リアルタイム処理
 - 高速のアルゴリズム
 - 欠落データの推定

TSUGAWA

IEICEPSY研究会

30