

機関番号：34310

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20500218

研究課題名 (和文) 進化的方法論を用いたドライビング・エージェントの自動設計

研究課題名 (英文) Evolution of Driving Styles of Driving Agent for Automated Control of Scale Car

研究代表者

イヴァン・タネヴ (Ivan TANEV)

同志社大学・理工学部・准教授

研究者番号：30388045

研究成果の概要 (和文)：

このプロジェクトでは、ドライビング・エージェント (人に代わり車を運転するコンピュータ・システム) の運転走行スタイルや技術を進化させる革新的な手法を開発した。ただし現段階ではエージェントが自動制御するのは実車ではなく縮尺モデルの車である。また私たちは障害物の位置の特定や自らの制御空間へのマッピングをリアルタイムで行うための自然に学ぶアプローチを開発した。最後に、障害物の自動回避を実現するにあたり、実際の障害物を用いる実験では避けられない衝突による縮尺モデルカーや障害物の物理的破損等の問題を解決し、シミュレーションを効率化するため、実験環境に仮想現実を組み合わせる拡張現実の枠組みを開発した。

研究成果の概要 (英文)：

In this project we developed an evolutionary approach to evolve the driving style of driving agent. The agent automatically controls a scale car. Also, we developed a nature-inspired approach for real-time localization and mapping of obstacle. Finally, we developed an augmented reality framework in order to simulate the obstacle and solve the problems of dealing with real obstacles. These problems are physical damage to the car and obstacle, slow repositioning, and mechanical wear of the components of moving real obstacle.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：情報学

科研費の分科・細目：情報学 感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：ドライビング・エージェント、進化的アルゴリズム、遺伝的アルゴリズム、ドライビング・スタイル、拡張現実

## 1. 研究の背景と動機

運転支援は現代の交通システムにおける安全と効率に関わる重要な要因と認識されている。しかしながら、そのような運転支援はプラットフォームの構築に関する課題に直面しているのも事実である。すなわち①現実の交通状況を表現する適切性とコスト効率性、②交通事故を想定した場合の十分な安全性の2つである。特に後者については、ドライビング・エージェント（人に代わり車を運転するコンピュータ・システム）として実現できる可能性が高く、進化的な方法論を用いて、ドライビング・エージェントの自動設計法を開発することが可能である。

そこで本研究では、カーレースの領域に焦点を当て、レーシングカーのスケールモデルをコンピュータがリモートで制御する自動走行エージェントの設計問題を取り上げ、人間と競争可能とするための迅速かつ一貫性のある方法を検討することとした。進化型自動走行エージェントが人間と競争可能な認識基準に到達可能か、そしてまた進化的方法論でそのような解を自動的に得ることができるのかを確認することとした。

## 2. 研究の目的

自動走行エージェントの運転スタイルの進化においては、人間の運転者が直面する課題のいくつかを解決することを目指した。

まずサーキットの周回走行で最高の（すなわち最短の）ラップ時間を実現するため、走行ラインの選択、コーナーへの突入スピードと角度を獲得し、それらをエージェント自身が定義する必要がある。つぎにその定義された最適なライン上を走っているか否かをエージェント自身が正確に判断するために、車

の現在の車の状態（位置、方向および速度）と環境を認識し、タイムリーかつ正確に車の制御に反応する必要がある。

本研究の目的は、サーキットの周回運転において人間の運転者と競争可能なレベルで、レーシングカーのスケールモデル（以下"車"と呼ぶ）をリモートで動作・制御することができる駆動エージェントの機能を迅速かつ一貫した方法で自律的に進化させる設計法を開発することである。そのような機能を持つ自動走行エージェントは、リモート制御のスケールモデルだけでなく、ソフトウェアモデリングされた車にも適用可能で、運転走行のソフトウェアの適応性能を競うレースゲーム競技会の機会を開拓することにも貢献できる。またここで提案する漸進的なアプローチは、別の環境下での種々のタスクにおいて最適解を自ら発見できる遠隔操作車両の制御ソフトウェアの自動設計に適用することができる。

本目標を達成するための課題を以下に示す。

**Task 1:** 車の現状認識に基づく運転制御におけるフィードバックの遅延に対処するためのスケールモデルの制御アプローチの開発（図1）。

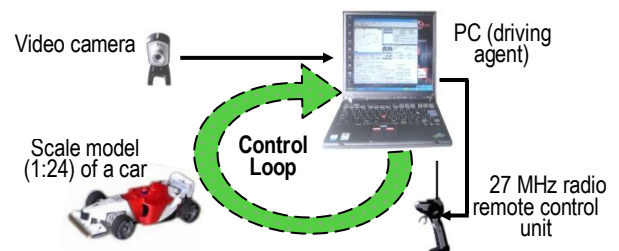


図 1: システム構成

**Task 2:** エージェントの運転スタイルの定義と障害物回避機能と運転スタイルを記述する属性としてのキーパラメータに定式化。

**Task 3:** 最適な走行ラインに自らを駆動させる主要な属性を設定し、最速の走行ラインの自動獲得アルゴリズムの開発。

### 3. 研究の方法

最初のタスクを解決するために我々は車の予測 (anticipatory) モデルを提案した。ビデオフィードの待ち時間を伴うフィードバック制御ループ (図 1) の導入による遅れは運転エージェントの現在のアクションが時間的にはすでに遅れていることを意味する。本システムで使用するハードウェアの場合、集約された待ち時間が車の知覚位置に与える最大誤差は 90 ミリ秒であり、後述するように約 2000 ミリメートル/秒の最大速度で走行するとき 180 ミリメートルのエラーが発生する。これらのエラーの累積的な影響は、正確に比較的簡単に解ける 0 型、S や 8 の字型の周回コースさえも難しいものにする。

予測モデルを組み込んだ提案手法では、ドライビング・エージェントは、予測モデルにより得られる、予想される現在の車の状態や周辺環境の状態に基づいて、取るべき行動を生成することができる。ドライビング・エージェントが、現時点で入手可能な (90 ミリ秒古い) 情報から車の本質的な状態 (位置、向き、および速度) を見込んで車の内部モデルにスロットルとステアリングのコマンドを生成する動作履歴の例を図 2 に示す。それは、さらに車の予想される本質的な位置と方向の観点から、関連する周囲の環境に対する知

覚情報も予想することになる。

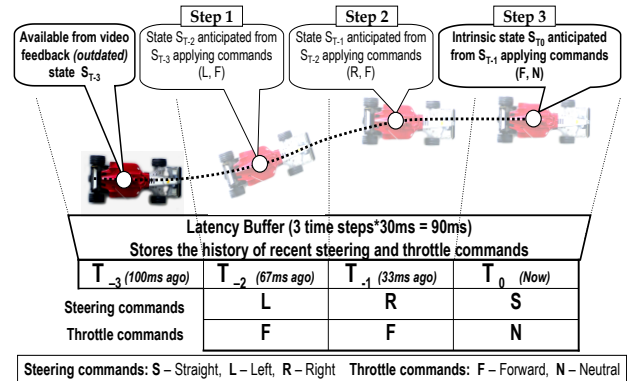


図 2: 車の状態の予測 (anticipatory) モデル

2 番目のタスクを解決するために、運転スタイルを、車がコーナーを回る前、途中、回った後の走行ラインと定義し、その線に沿って移動する速度を考慮することとした。またキーパラメータとして、①コーナーへの接近 ②ターニングギア、③スロットルリフトオフゾーン: 直線ギアからターニングギアに減速するためにスロットルをオフする領域、④ブレーキ速度: 減速のためにブレーキを適用する速度のしきい値、⑤アプローチ角度: ターン頂点の方位角、を導入した。特にアプローチ角度が大きいほど、旋回半径も大きな走行ラインをもたらすことになる。

図 3 に示すように、エージェントが維持しようとしている値としてこれらの属性の要求値を表示することにより、エージェントの機能をアルゴリズム的方法で定式化することが可能となる。

3 番目のタスクを解決するために、自動的にドライビング・スタイルの属性を進化させる進化的アルゴリズムを開発した。提案した遺伝的アルゴリズム (GA) の遺伝型は、

```

1. At each time step do begin
2. //--- Processing the perceptions of the driving agent:
3. Obtain the current agent's perceptions of car's state: position (P),
orientation (O) and speed (V);
4. Anticipatory modeling: obtain the anticipated intrinsic perceptions
P*, O* and V* of the car from the current perceptions and the
memorized history of the commands applied to the internal model of
the car
5. Obtain the agent's perceptions of the environment:
6. approach angle (AA), and distance (AD) to the apex of the current
turn
7. //--- Reactions of the agent to the current perceptions
8. // --- Steering control:
9. if (AA > Desired AA) and (abs(AA - Desired AA) > Desired
Threshold AA)
10. then SetSteering(Left)
11. else if (AA < Desired AA) and (abs(AA - Desired AA) > Desired
Threshold AA)
12. then SetSteering(Right) else SetSteering(Straight);
13. // --- Throttle control:
14. if AD > Desired Throttle Lift-off Zone
15. then ShiftGear (Desired Straight Line Gear)
16. else if (V > Desired Braking Velocity)
17. then SetThrottle(Reverse) else ShiftGear( Preferred Turning
Gear);
18. end

```

図3:ドライビング・エージェントの機能

所定のサーキット上の各ターンに関わる運転スタイルの重要なパラメータの値をコードする。原理的には遺伝子型は、対応するパラメータの数値をフィーチャーした直鎖状染色体として表現することができる。遺伝子型の例を図4に示す。

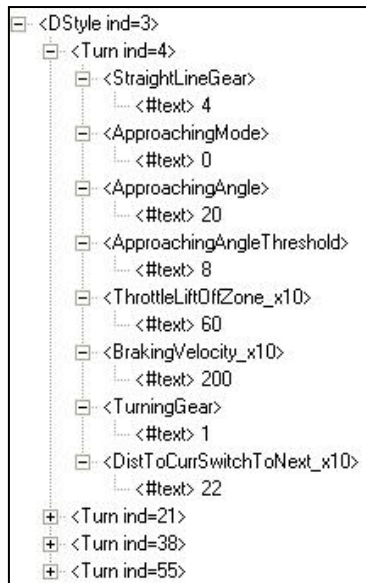


図4. GA のサンプルの遺伝子型

#### 4. 研究成果

本研究の目的は、遺伝的アルゴリズムを用いた、レーシングカーのスケールモデルをリモートで最速で運転制御することができるエージェントの駆動機能の自動設計である。エージェントの行動は、単純なリモートコントロールユニットを経由して車に伝達される。エージェントはオーバーヘッドカメラのライブビデオフィードから環境を知覚する。そのため必然的に生ずるビデオフィードの時間遅延に対処するため、車自身のアクション生成の内因性を考慮して、自身や周囲状況に関する時間遅れの情報から現在の状況を予測するモデリングアプローチを具体化した。

つぎにエージェントの運転スタイルの概念の形式化と障害物回避機能と運転スタイルを記述するキーパラメータの定義し、ソフトウェア環境でのオフラインおよびスケールカーを用いた現実の実験環境でのオンラインの両方において、それらキーパラメータに基づくドライビング・エージェントの運転スタイルの自動獲得を遺伝的アルゴリズムで実現した。オンライン進化の過程で、改善されたラップタイム値は、自動車のソフトウェアモデルの進化から得られた値に非常に近い結果となった。周回トラック上に障害物があり、それが先験的に既知の場合についても、事実上障害物のない場合と同様に、オンライン進化でも最適化を実現した。これらの成果は、先験的に知られている環境状況でさまざまなタスクに対して最適解を見つけることができる遠隔操作車両の制御ソフトウェアの自動設計へのステップと見なすことができる。さらには人間と競争可能な技術レベルを達成した結果、人間が、人間と同程度に強力なコンピュータ・システムと競合するレースゲームの枠組みを開発する可能性を

検証したものと考えることもできる。

また、リモートカーのスケールモデルを運転制御するドライビング・エージェントの進化のための拡張現実の枠組みを提案した。フレームワークは、①交通シミュレーションにおけるシステム構成要素の実質的存在化（物理的存在の場合の破損や摩耗を回避できる）を可能とし、②それらシステムの構成要素の迅速かつ柔軟な自動再配置を実現し、③シミュレーションの安全性を確保することを実現した。シミュレーション実験の結果、提案手法の実現可能性を確認した。

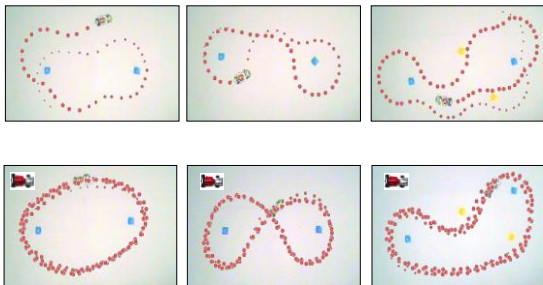


図5: 予測モデルなし(上部)とあり(下部)のドライビング・ライン

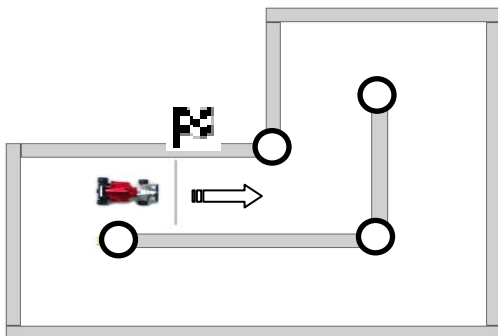


図6: ドライビング・エージェントの進化のために使用されたサンプル・サーキット

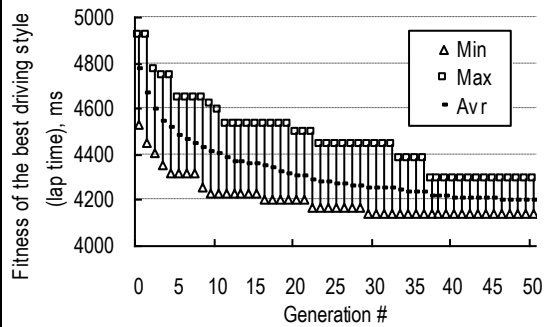


図7: ドライビング・エージェントの進化の結果: ラップタイム



図8: 拡張現実の環境

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[ジャーナル論文] (計3件)

- ① Ivan Tanev and Katsunori Shimohara, XML-based Genetic Programming Framework: Design Philosophy, Implementation, and Applications, *Artificial Life and Robotics*, Vol.15, No.4, 2010, pp.376-380, 査読有.
- ② Tanev, I., Yamazaki, H., Hiroyasu, T. and Shimohara, K., Evolution of General Driving Rules of a Driving Agent, *Proceedings of the 10<sup>th</sup> Int. Conf. on the Simulation of Adaptive Behavior (SAB'08)*, LNAI5040, 2008, pp.488-498, 査読有.
- ③ Tanev, I. and Shimohara, K., On the Generality of the Evolved Driving Rules of an Agent Operating a Model of a Car, *Proceedings of IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC2008)*, 52, 2008, pp.263-283, 査読有.

[学会発表] (計5件)

- ① Ivan Tanev and Katsunori Shimohara, Augmented Reality Framework for Evolution of Driving Agent Remotely Operating a Scale Model of a Car, International Conference on Humanized Systems(ICHS-2010), 2010/9/17-19, Kyoto, Japan.
- ② Iio, T., Tanev, I., Shimohara, K., and Miki, M., An Automatic Design of the Driving Agent with the Functionality of Collision Avoidance with Another Car, 8th International Workshop on Social Intelligence Design (SID 2009), 2009/11/9, Kyoto, Japan.
- ③ Iio, T., Tanev, I., Shimohara, K., and Miki, M., Design of Collision Avoidance Algorithm for The Driving Agent, International Conference on Humanized Systems 2009, 2009/10/31 ~ 2009/11/1, Seoul, Korea.
- ④ Tanev, I. and Shimohara, K., Nature Inspired Design of Autonomous Driving Agent - Realtime Localization, Mapping and Avoidance of Obstacle Based on Motion Parallax, 13 International Conference on Knowledge-Based Intelligent Information & Engineering Systems 2009 (KES 2009), 2009/9/30, Santiago, Chile.
- ⑤ 杉田浩希, 西端健二, Ivan Tanev, 下原勝憲, 自律型ドライビングエージェントの自動設計—オンボードカメラを用いた障害物回避—, 計測自動制御学会 第36回知能システムシンポジウム, 2009年3月18日, 京都市

[その他]

YouTube Videos:

1) PC-controlled scale car: obstacle avoidance in augmented reality  
URL:<http://www.youtube.com/watch?v=8W-mV6C8LuQ>

2) Realtime Obstacle Detection and Avoidance by PC-controlled Scale Car  
URL:[http://www.youtube.com/watch?v=y1wB1\\_uLRxo](http://www.youtube.com/watch?v=y1wB1_uLRxo)

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

イヴァン・タネヴ (Ivan TANEV)  
同志社大学・理工学部・准教授  
研究者番号：30388045

### (2)研究分担者

下原 勝憲 (SHIMOHARA KATSUNORI)  
同志社大学・理工学部・教授  
研究者番号：10395105

### (3)連携研究者

なし