

# 自律分散型交通システム

## 信号機を用いない交差点交通制御の可能性

### On the Possibility of Signal-free Road Traffic Control

松本哲明<sup>\*1</sup> TANEV Ivan<sup>\*2</sup> 下原勝憲<sup>\*2</sup> 三木光範<sup>\*2</sup> 廣安知之<sup>\*3</sup>  
 Yoshiaki MATSUMOTO Ivan TANEV Katsunori SHIMOHARA Mitsunori MIKI Tomo HIROYASU

<sup>\*1</sup> 同志社大学大学院工学研究科 <sup>\*2</sup> 同志社大学理工学部 <sup>\*2</sup> 同志社大学生命医科学部  
 Graduate School of Engineering, Doshisha University Faculty of Science and Engineering, Doshisha University Faculty of Life and  
 Medical Sciences, Doshisha University

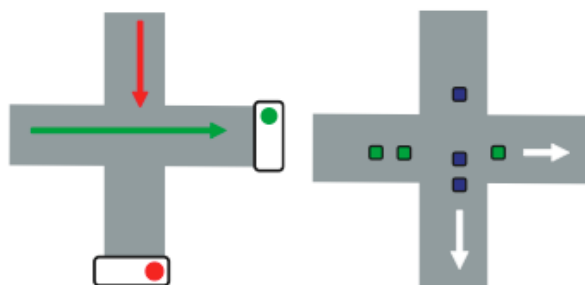
In this paper, we proposed Priority-Based Road Traffic Control (PBC). PBC is a sort of multi-agent system, assuming autonomous vehicle as agents, in which road traffic should be control through interactions between car agents with some intelligence. PBC protocol is the common protocol through which car agents calculate their priority when their driving lines mutually interfere, and determine the order of priority in passing a given intersection. We applied Genetic Programming to evolve the dynamic formula of priority so that the PBC protocol enables adaptive and efficient road traffic control even without signals. We conducted simulations to verify the effect of the proposed PBC in comparison with some other methods, and clarified that the proposed PBC is quite effective in improving the road traffic in an intersection even without traffic signals.

## 1. はじめに

道路交通渋滞の解消を目的とする研究の中で、信号機制御の研究は古くから盛んに行われてきた。それらの研究は信号機と人がコミュニケーションすることによって成り立つ従来の信号機システムを前提として研究されてきた。しかし、DARPA URBAN CHALLENGE のように無人走行車両が市街地を走行する状況では、必ずしも従来の信号機システムを用いる必要はないのではないだろうか。そもそも、なぜ我々は信号機システムを利用してきたのか。信号機を用いない交通制御システムのシミュレーションを通して交通制御の本質とは何かを探る。

## 2. 交通制御システムの設計思想

信号機システムは、交差する交通流に交互に通行許可を与え交通制御を行う。(図.1(a)) 回線交換型通信が通信の開始から終了まで回線を占有するように、許可を与えられた交通流は信号機が切り替わるまで交差点を占有し交差点の利用効率が低い。



(a) 信号機システム (回線交換型) (b) 自律分散型交通システム (パケット交換型)

図 1: 設計思想の違い

パケット交換型通信は回線交換型通信に比べ障害に強く、回線利用効率が高い。パケット交換型通信が回線の空いている時に順次パケットを送出していくように、交差点の空いている時に各車両が順次交差点を通過する自律分散型交通システムが信号機を用いない交通システムとして考えられる(図.1(b))。

## 3. Priority-Based Traffic Control(PBC)

信号機を用いない交通システムとして Priority-Based Traffic Control を提案する。

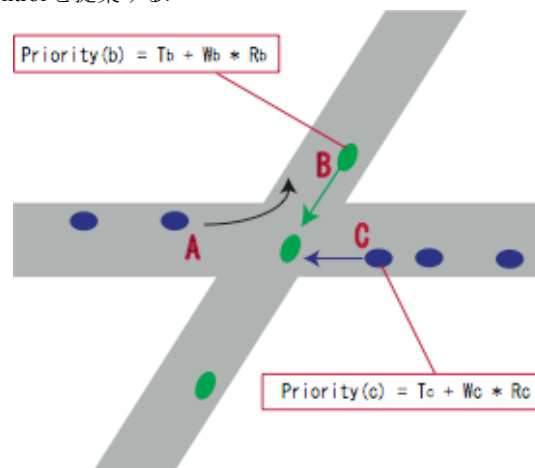


図 2: Priority-Based Traffic Control

### 3.1 システムのデザイン

Priority-Based Traffic Control(PBC)は、知能を持った車両エージェントの相互作用により交通を制御するマルチエージェントシステムである。車両エージェントは、無人走行車両(Unmanned Car または Autonomous Vehicle)を想定している。センサーから得る環境情報のほか、車車間通信を用いて他車の情報を取得する。車両エージェントは、集めた情報を共通のプロトコルに従って処理し行動を決定する。交通はこれらの相互作用により自律分散的に制御される。

### 3.2 PBC プロトコル

PBC における共通プロトコルを PBC プロトコルと呼ぶ。図 2 における車両 A のように他の車両と交通導線が交錯しない場合は、停止することなく交差点を通過する。車両 B,C のように交通導線が交錯する場合は Priority を計算し、Priority の高い車両が優先的に交差点を通過する。

PBC は、Priority に基づき交差点交通を制御する。そのため、系全体の時間効率を向上させる(交差点通過時の平均待ち時間を少なくする)ような Priority 計算式が望ましい。しかし、望ましい計算式の導出は困難なため、本稿では遺伝的プログラミング(GP)を用いて試行錯誤的に計算式の発見を試みた。次節で詳細を述べる。

## 4. Priority 計算式の進化シミュレーション

### 4.1 概要

進化シミュレーションのフローチャートを図.3 に示す。まず、Priority 計算式を生成し、生成された計算式を用いて交通シミュレーションを行う。シミュレーションの結果得られた「交差点通過時の平均待ち時間」を適合度として遺伝操作を行い、Priority 計算式を進化させた。

### 4.2 環境の設定

交通密度(1 分間の平均通過台数)の異なる 12 通りの環境で独立に進化計算を行った。交通密度は、「1 車線当り 150 台/時間(図.4 10 台/分)」から「1 車線当り 1800 台/時間(図.4 120 台/分)」の間を等間隔に分割し 12 通りの交通密度を用意した。

共通の設定を以下に示す。交差点 1×1、片側 1 車線、交差点への車両進入はポアソン生起する。「7:2:1」の比率でランダムに直進、左折、右折する。車両は 4 方向から各 50 台進入し、計 200 台が通過すると 1 回のシミュレーションが終了する。

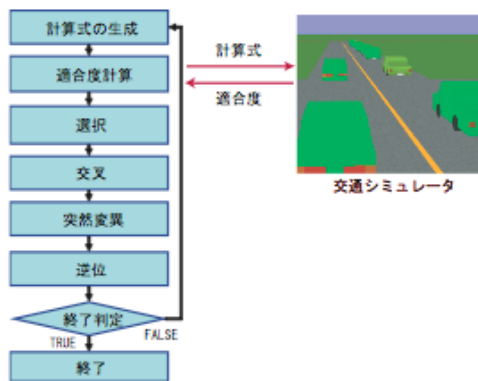


図 3: GP のフローチャート

## 5. 他の制御方法との性能比較

固定信号制御(60 秒ごとに信号が切り替る)、適応的信号制御(状況に応じて信号を切替える)、Dice 方式(Priority を計算式ではなくサイコロによって決定)、提案手法(PBC)、上記 4 方式(表.1)の性能を比較した。図.4 に結果を示す。表.1 では「車の台数」、「各車両の待ち時間」など何らかの情報(その場の状況)を元に交通を制御する方式を「状況判断あり」と分類した。また、その場の状況によらず固定的な制御を繰り返すものを「状況判断なし」と分類した。表.1 の分類「信号なし」は、自律分散制御を指す。

### ・「状況判断あり」の信号制御と自律分散制御の比較

信号制御における状況判断の効果と自律分散制御における状況判断の効果と比較する。信号制御は渋滞が発生する(1 車線当り 1800 台/時間を超える)と状況判断の効果が見られなかった。一方、自律分散制御においては交通密度の増加に比例して状況判断の効果が拡大した。この結果から、自律分散制御では何らかの情報を元にその場の状況を判断して交通制御を行うことで、信号制御に比べ道路容量を論理的に増大させることを明らかにした。

表 1: 交通制御手法の分類

	状況判断なし	状況判断あり
信号あり	固定信号制御	適応的信号制御
信号なし	Dice 方式	PBC

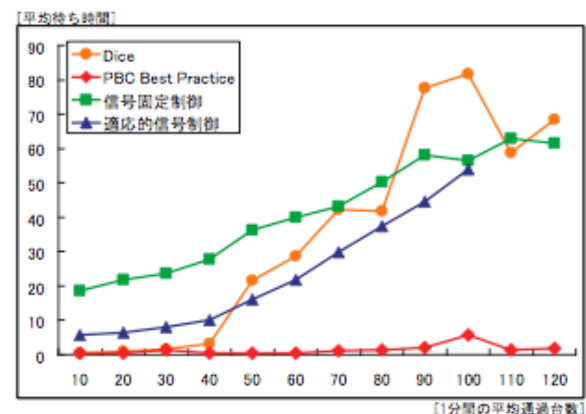


図 4: 他の制御方法との性能比較

## 6. おわりに

本稿では、信号機を用いない交差点交通制御手法 PBC のシミュレーションにより自律分散型交通システムの可能性を示した。今回は、PBC という交通ルールを 1 つの十字型交差点に適用したが、アフォーダンスの概念が示すように交差点の形状ごとに自然な交通ルールがあると考えられる。十字型交差点の他に、ヨーロッパでよく見るラウンドアバウト型交差点があるが、十字型交差点とは異なる交通ルールで運用されている。効率の良い交通ルールを追求する場合、交差点の形状が単純なほど交通ルールは難しく、形状が複雑なほど交通ルールは単純なように思われる。つまり、十字型交差点のような単純な形状においては、高度な交通ルールにより制御する必要があるということである。それは、人では計算不可能なルールであるかもしれない。今後は、複数の十字型交差点を対象とした問題に取り組むと共に、新たな交通ルール発見手法の適用を試みる。