室蘭工業大学
学術資源アーカイブ
Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive

超音波センサを用いた感覚運動写像による一次元最適速度ロボット

メタデータ	言語: Japanese
	出版者: 交通流数理研究会
	公開日: 2018-03-02
	キーワード (Ja):
	キーワード (En):
	作成者: 田中, 啓太郎, 佐々木, 卓哉, 本田, 泰
	メールアドレス:
	所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/00009577

超音波センサを用いた感覚運動写像による一次元最適速度ロボット

田中啓太郎[1]，佐々木卓哉[1]，本田泰[2]

[1] 室蘭工業大学 情報電子工学系専攻
[2] 室蘭工業大学 しくみ情報系

概要

超音波センサを用いた感覚運動写像によって，壁からの距離を一定に保つ走行ロボットを開発した．本走行ロボットを用いて一次元交通流を形成しその過程を観測する．また，前方車との距離を超音波センサで測り最適速度モデルによってその速度を制御した．22 台の走行ロボットによる実験で一次元交通流における各車の位置情報を観測した．

One dimensional optimal velocity robots by use of a sensory motor mapping by a ultrasonic sensor

Keitaro Tanaka[1]，Takuya Sasaki[1]，Yasushi Honda [2]

[1] Division of Information and Electronic Engineering, Muroran Institute of Technology
[2] College of Information and Systems, Muroran Institute of Technology

Abstract

We have developed a traffic robot which keeps a constant distance from a wall by use of a sensory motor mapping by a ultrasonic sensor. We have observed the one dimensional traffic flow of robots which run on a circuit. Moreover each traffic robots are controled by using the optimal velocity model. Positions of 22 robots are observed in this study.

1 はじめに

交通流は日常的に観測できるなじみ深い現象であり，1990 年代からさかんに研究が行われてきた．交通流には，少なくとも滑らかな流れ（自由流）と渋滞が存在することが直観的にわかる．名古屋ドームにおける実車実験においても渋滞は発生しており，ボトルネック構造がなくても渋滞は発生すると予測される [1].

また交通渋滞の数値シミュレーションから，車両密度が高いときは車のわずかな摂動によって渋滞が発生すると考えられている（不安定な交通流である）[2]．以上を踏まえると，人間が運転していることが渋滞発生の原因であるとは限らないと予測されるが，実車を使った実験だけでは，能力のばらつきやヒューマンエラーを完全に排除することができない．本研究では最適速度モデルを実装した走行ロボット（最適速度ロボット）を開発し，周囲約 10m の 1 次元サーキットを用いて 22 台の交通流実験を行った．

2 走行ロボット

走行ロボットは図 1 に示すレゴマインドストーム EV3（Linux-OS）を採用する．本実験に用いる走行ロボットが満たさなければならない条件は 2 つである．

- 円周上のコースを周回する（感覚運動写像を導入）

- 交通流モデルの実装（最適速度モデルを採用）

以上 2 点を実現するために走行ロボットに超音波センサを 2 つ搭載する．右前方に付けた超音波センサは壁との距離を計測し感覚運動写像を実現する．正面に取り付けた超音波センサは車間距離を計測し最適速度モデルを実現する．この 2 つの条件を満たした走行ロボットを最適速度ロボットとする．

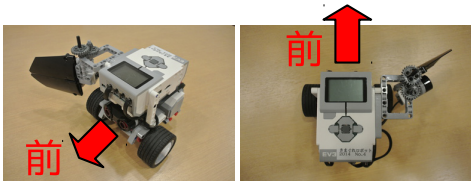

図 1: 超音波センサを 2 個搭載した最適速度ロボット

2.1 円軌道のための感覚運動写像

走行ロボットに円を描く周回走行をさせるため，感覚運動写像を導入する．図 1 の右前方に付けた超音波センサでコースの壁との距離を計測し，そのセンサ値に応じてモータ出力値を調節する．図 2 のような円形のコースを作成した．コースの作成に際して，2009 年にナゴヤドームで行われた交通渋滞形成実験を参考にした [1]．本実験とのスケールの比較を表 1 に示す．最高速度の比は今後の実験で合わせる．

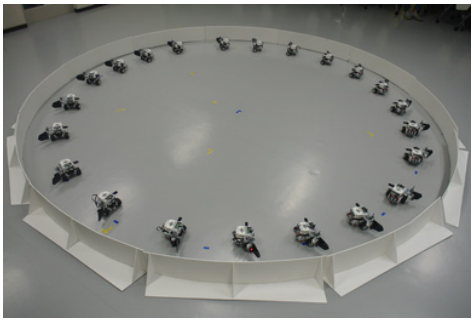

図 2: コース

	本実験	実車実験 [1]	比
コース半径	1.71[m]	50[m]	1:29.2
車長	140[mm]	3,885[mm]	1:27.8

表 1: スケールの比較

感覚運動写像の式を (1)(2) 式に示す．(1) 式は壁に沿って走行させるために右側（壁側）のモータの出力 r_R を調整する式である．(2) 式は (1) 式によって壁から離れ過ぎないように左側のモータの出力 r_L を調整する式である．

r_R はセンサ値 s_R の単調減少関数，また r_L は s_R の単調増加関数であれば上記の条件を満たす．なおかつモータ制御値は 100 %を越えることは出来ない．これらの要件を満たし更に曲がり方を滑らかにするために本研究では双曲線関数を用いた．図 3 はこれらをグラフにしたものであり，横軸は超音波センサで計測した壁との距離 s_R，縦軸はモータの出力値である．数式中の記号や文字の意味は表 2 に示す．

記号	意味
r_R, r_L	左右のモータの制御値
$r_{\max}$	モータ制御値の最大値 [50 %]
s_R	右前方に付けた超音波センサ値 [mm]
g	ゲイン (0.14)
c, d	調整用パラメータ (15.0, 500.0)

表 2: 各記号の意味（感覚運動写像）

$$r_R = (r_{\max} - c) \cdot \tanh\left(\frac{g \cdot (d - s_R)}{r_{\max} - c}\right) + c \quad (1)$$

$$r_L = (r_{\max} - c) \cdot \tanh\left(\frac{g \cdot s_R}{r_{\max} - c}\right) + c \quad (2)$$

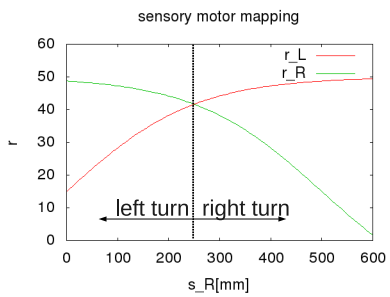

図 3: 感覚運動写像による左右のモータ出力値

走行ロボットは左右の出力 (r_L,r_R) が一致しているとき ($s_R \approx 250$) 直進する．$s_R < 250$ のときロボットは左折し $s_R > 250$ のとき右折するので結果として壁の左側に沿って走行する．

1 台の走行ロボットの軌跡を図 4 に示す．軌跡はモーションキャプチャ[3] で観測している．なお，この後の走行ロボットの軌跡のデータも全てモーションキャプチャで観測している．一次元走行ロボットとして円軌道を形成していることが分かる．

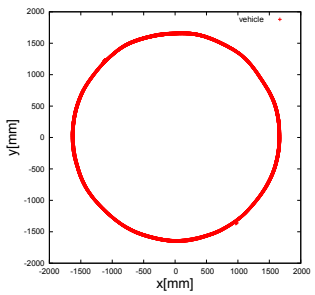

図 4: 1 台の走行ロボットの軌跡

2.2 最適速度モデル

1990 年代に入り，様々な交通流の物理モデルが提案された．本実験では最適速度モデルを採用する [2][4]．ロボットは先行車両との相対距離に依存して最適速度を維持しようと加速度を制御する．数式中の記号や文字の意味は表 3 に示す．

記号	意味
$x_n(t)$	時刻 t における n 番めの車の座標
$\Delta x_n(t)$	先行車との車頭距離
a	感応度 (1.0)
h	微小時間 (各ループ実測，約 1[ms])
x_{neutral}	安全距離
x_{width}	車長 (140[mm])

表 3: 各記号の意味（最適速度関数）

最適速度モデルの運動方程式を (3) 式に示す．

$$\ddot{x}_n(t) = a\left\{V(\Delta x_n(t)) - \dot{x}_n(t)\right\} \tag{3}$$

$\dot{x}_n(t+h)$ のテイラー展開を 1 次の項まで用いると (4) 式が導出される．

$$\dot{x}_n(t+h) \approx \dot{x}_n(t) + \ddot{x}_n(t)\cdot h \tag{4}$$

(3) 式を (4) 式に代入することで (5) 式が得られる．

$$\dot{x}_n(t+h) \approx ahV(\Delta x_n(t)) + (1-ah)\dot{x}_n(t) \tag{5}$$

最適速度関数は (6) 式を採用する [4]．

$$V(\Delta x(t)) = \frac{1}{2}\cdot\left\{\tanh\left(\frac{\Delta x(t) - x_{\mathrm{neutral}}}{x_{\mathrm{width}}}\right) + \tanh\left(\frac{x_{\mathrm{neutral}}}{x_{\mathrm{width}}}\right)\right\} \tag{6}$$

2.3 モータ出力値の決定

感覚運動写像で求めた r_R，r_L と (5) 式で更新される $\dot{x}_n(t)$ の積を左右のモータの出力値 r'_R，r'_L とした．(5)(6) 式より $ah < 1$ のとき $\dot{x}_n(t) < 1$ なので r'_R，r'_L は r_{MAX} 以下の値を取る．$\dot{x}_n(t)$ の値を r_R，r_L にかけることで，先行車両との相対距離に応じたモータ出力値を決定する．

$$r'_R = \dot{x}_n(t)\cdot r_R \tag{7}$$

$$r'_L = \dot{x}_n(t)\cdot r_L \tag{8}$$

3 交通流形成実験

最適速度ロボットを用いて交通流形成実験を行った．22 台の最適速度ロボットを並べた例を図 2 に示した．初期配置は壁との距離を約 250mm，車頭距離を約 490mm としている（表 1 に示す本実験のコースの半径はこれを踏まえて 1.71m である）．

3.1 実験時のパラメータ

実験時の各パラメータの値を表 3 に示す．(7)(8) 式で求めたモータ制御値が最大値 $r_{\max}$ になるときの最高速度 $V_{\max} = 0.72$[km/h]$= 0.20$[m/s] である（速度はモーションキャプチャで測定した）．x_{neutral} の値については実験毎に変更しているため後述する．

3.2 実験結果

22 台の最適速度ロボットが成した交通流を図 5〜図 7 に示す．横軸はコースの円周におけるロボットの位置を，縦軸は時間をそれぞれ示している．

x_{neutral} の値を 280mm，500mm，600mm の 3 パターンに変化させて実験した．x_{neutral} は最適速度関数における変曲点を表す．最適速度ロボットは先行車両との車頭距離を常に x_{neutral} に保とうとする．現在の車頭距離を Δx とすると，最適速度ロボットは $\Delta x > x_{\mathrm{neutral}}$ であるときは安全であるために加速し，$\Delta x < x_{\mathrm{neutral}}$ であるときは危険であるために減速するという振る舞いをみせると予測される．

x_{neutral}=280，500，600[mm] としたときの交通流をそれぞれ図 5，図 6，図 7 に示す．軌跡が途切れている部分はモーションキャプチャによる位置取得ができなかった位置である．

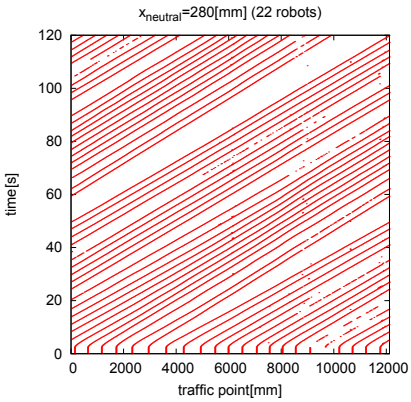

図 5: x_{neutral}=280[mm] のときの交通流

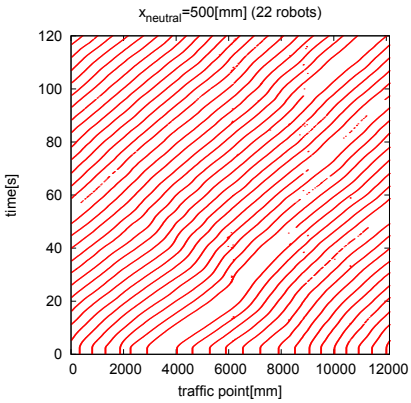

図 6: x_{neutral}=500[mm] のときの交通流

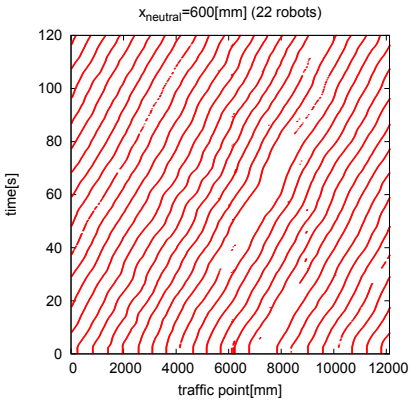

図 7: x_{neutral}=600[mm] のときの交通流

3.3 考察

本実験では表 1 のようにナゴヤドームの実験とコース半径及び車長のスケールを合わせた．一方，滑らかな円軌道を得るために最高速度 $V_{\max}$ の比は 0.72[km/h]:40[km/h]=1:55.6 とした．

観測された交通流の安定性を評価するために本研究で用いた 3 種類の x_{neutral} に対して線形安定性解析を行った [2]．$V'(b)$ と $\frac{a}{2}$ の値を比較することで得られた解析結果を表 4 に示す．なお，平均車間距離 $b = 0.49$[m]，感応度 $a = 1.0$ である．この解析結果から $x_{\mathrm{neutral}} = 280$[mm]（図 5）及び $x_{\mathrm{neutral}} = 600$[mm]（図 7）は安定した交通流であると考えられる．一方，$x_{\mathrm{neutral}} = 500$[mm]（図 6）は不安定な交通流であると考えられる．実際に 10〜50sec において不安定な交通流が観測された．

x_{neutral}	$V'(b)$	安定性
280[mm]	$0.13 < \frac{a}{2}$	安定
500[mm]	$0.71 > \frac{a}{2}$	不安定
600[mm]	$0.40 < \frac{a}{2}$	安定

表 4: 交通流の線形安定性解析

4 まとめ

最適速度関数と感覚運動写像を搭載した最適速度ロボットを開発した．22 台の最適速度ロボットを円周上のコースに沿って走らせ，形成された交通流を観測した．観測した交通流の安定性を線形安定性解析を用いて評価した．安定した交通流と不安定な交通流を確認した．

今後は最高速度を大きくして実験を行い，ナゴヤドームの実験 [1] の結果と比較する．今回の実験では一定値としていたパラメータを変更しシミュレーション結果などと比較する．

参考文献

[1] 只木進一, 菊池誠，福井稔，中山章宏，西成活裕，柴田章博，杉山雄規，吉田立，湯川諭，第 19 回交通流のシミュレーションシンポジウム論文集, 65-68, (2013).

[2] M.Bando，K.Hasebe，A.Nakayama，A.Shibata，Y.Sugiyama，PHYSICAL REVIEW E 51，1035-1042，(1995).

[3] 佐々木卓哉，本田泰，第 19 回交通流のシミュレーションシンポジウム論文集, 49-52, (2013).

[4] 菊池誠, 杉山雄規，只木進一，湯川諭，日本物理学会講演梗概集，最適速度関数に基づく結合写像交通流シミュレータ, 28a-Yj-7, (1997).