

フェロモンモデル: 交通渋滞予測への適用

合同エージェントワークショップ&シンポジウム(JAWS2004)
長野県 ホテルメゾン軽井沢
2004年10月28日(木)

安藤靖志¹, 深澤良彰¹, 増谷修², 岩崎弘利², 本位田真一^{3,4}

¹早稲田大学 ²(株)デンソーアイティラボラトリ ³国立情報学研究所 ⁴東京大学

発表内容

- 背景
- 従来研究
- フェロモン
- 渋滞フェロモンモデル
- シミュレーション環境
- 評価結果
- まとめ

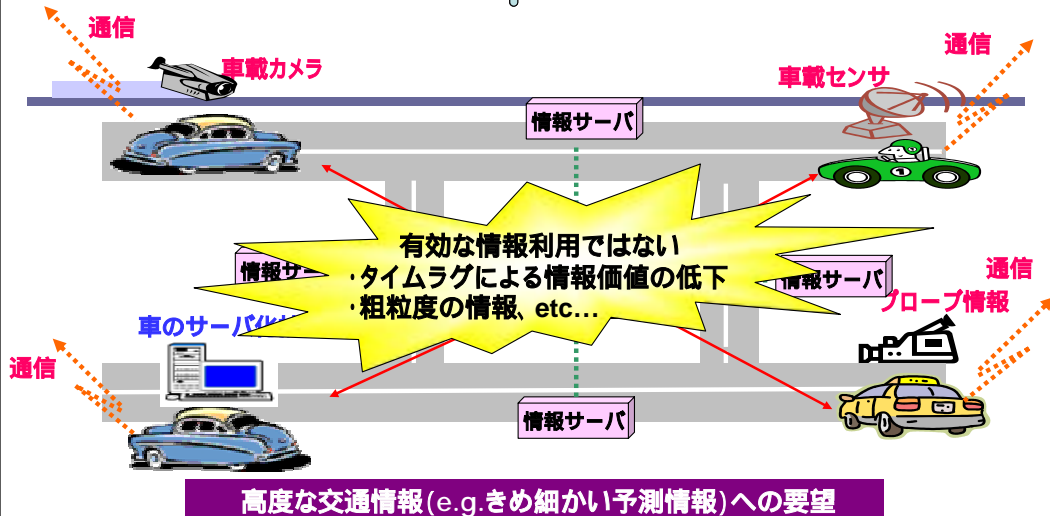
発表内容

- 背景
 - 前提環境、研究動機・目的
- 従来研究
- フェロモン
- 渋滞フェロモンモデル
- シミュレーション環境
- 評価結果
- まとめ

3

【研究背景】

現状の車社会



【動機・目的】

- トップダウン型の情報配信からの発想転換
 - ▼ 現地情報を現地の車が有効活用して短期先を予測出来ないか？
- ▶ フェロモンモデルの渋滞予測への適用可能性を追求

発表内容

- 背景
- 従来研究
- フェロモン
- 渋滞フェロモンモデル
- シミュレーション環境
- 評価結果
- まとめ

5

従来研究 - 渋滞予測 -

- 渋滞履歴情報の**統計分析**による予測
 - Honda、Nissan、Pioneerなどのカーナビで採用
 - VICSの過去データを利用
 - 現在のこの分野の研究は分析方法が多様化
 - 「決定木を利用した交通渋滞予測手法に関する考察」(NTT、IPSJ2004)など
- 問題点
 - ✗ 分単位で細かく変動する予測は困難
 - ✗ 膨大な過去データが必要
 - ✗ VICSレベルの空間/時間分解能しか得られない
- 提案手法の特徴
 - ◆ 細粒度(時間・空間)の情報利用
 - ◆ 非センター型(VICSのような集中情報処理で生じるタイムラグを解消)
 - ◆ 細かい街路で有効な数分先の渋滞予測を取得

6

発表内容

- 背景
- 従来研究
- フェロモン
- 渋滞フェロモンモデル
- シミュレーション環境
- 評価結果
- まとめ

7

フェロモン

- **定義** [生態科学]
 - 生物が体外に分泌し、同種の個体間におけるコミュニケーションを媒介する化学物質
- **種類**
 - 誘引フェロモン(ex.アリの道標フェロモン)、忌避フェロモン(ex.ハチの警戒フェロモン)、...
- **特有の性質とその利点**
 - **自己補強(Self-reinforce)**・・・可能性の高い情報は自然と高まる
 - **蒸発(Evaporation)**・・・古い情報は消され、他個体に新鮮な情報を提供する
 - **拡散(Propagation)**・・・発生源から離れた場所にも情報提供
- **工学分野での応用**
 - 主に分散協調的な最適化手法として利用されている
ex. ネットワークルーティング、無人飛行機経路誘導、複数移動センサの監視効率向上化

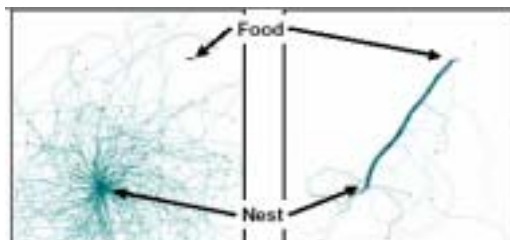


図. アリの採餌行動

[引用]: John A.Sauter, Robert Matthews, H.Van Dyke Parunak, Steven Brueckner "Evolving Adaptive Pheromone Path Planning Mechanisms" Proceedings of Workshop on Autonomy Oriented Computation

8

発表内容

- 背景
- 従来研究
- フェロモン
- 渋滞フェロモンモデル
- シミュレーション環境
- 評価結果
- まとめ

9

交通システムとの対応(概要)

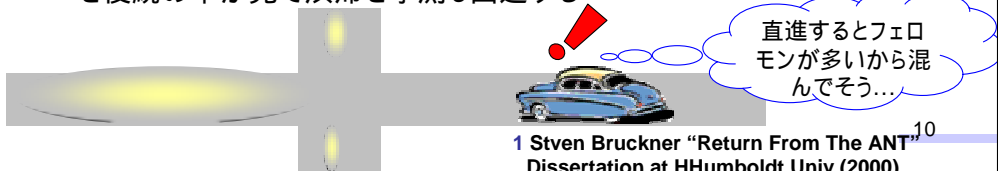
基本コンセプト

- 車を個々の要素であるアリやハチとみなしてモデル化
- 車速度センサ・通信機器を搭載して走行する車 = 車エージェント
- 渋滞を感知したらフェロモンを散布しながら走行



渋滞予測

- フェロモン濃度の状態遷移モデル(1)に基づいて状態遷移
フェロモンの濃度変化 = 交通の集中度の推移
- 先行して走行する車エージェント群が出したフェロモン濃度の分布状況を後続の車が見て渋滞を予測し回避する



発生モデル

- 各車エージェントは渋滞度の強さに応じてフェロモンを発生
- 渋滞度 = 走行速度の逆数
 - 通過速度小 渋滞度大 フェロモン発生量大
 - 通過速度大 渋滞度小 フェロモン発生量小

- ✦ $r(t,p)$: 時刻 t において場 p で車エージェントが放出する発生フェロモン量
- ✦ $v(t,p)$: 時刻 t において場 p を通過する速度

$$r(t, p) = \quad \times \frac{1}{v(t, p)}$$

- 場を担うものが情報サーバ
 - 車エージェントから発せられたフェロモンは、近隣の情報サーバに対して蓄積される
- 車種により発生パラメータ変化
 - 商用車両(e.g.バス・タクシー)の発生量 一般車両発生量 $commercial \geq general$



11

蒸発モデル

- 情報サーバに蓄積されているフェロモン濃度は時間経過ごとに蒸発し減少する

- ✦ $s(t,p)$: 時刻 t における場 p の蓄積フェロモン濃度
- ✦ $E \in (0,1)$: 蒸発パラメータ(正確には残存率)
- ✦ $r(t',x)$: 時刻 t' において場 p で発生されたフェロモン
- ✦ $q(t,x)$: 時刻 t において場 p に拡散により伝わるフェロモン



$$s(t+1, p) = E * s(t, p) + \sum r(t', p) + q(t, p)$$

12

拡散モデル(1/2)

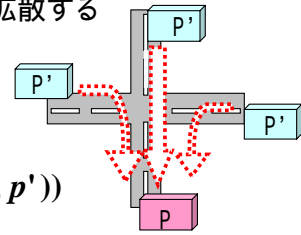
- 情報サーバに蓄積されたフェロモンは2次元平面上を拡散する
- 拡散は隣接する情報サーバ間の通信により実現

- ◆ $P = \{p'\}$: 場 p に隣接する場の集合(上流場)
- ◆ $N: P \rightarrow P$: 場間の隣接関係

$$q(t+1, p) = \sum_{p' \in N(p')} \frac{f(p, p')}{|N(p')|} (r(t', p') + q(t, p'))$$

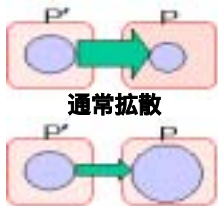
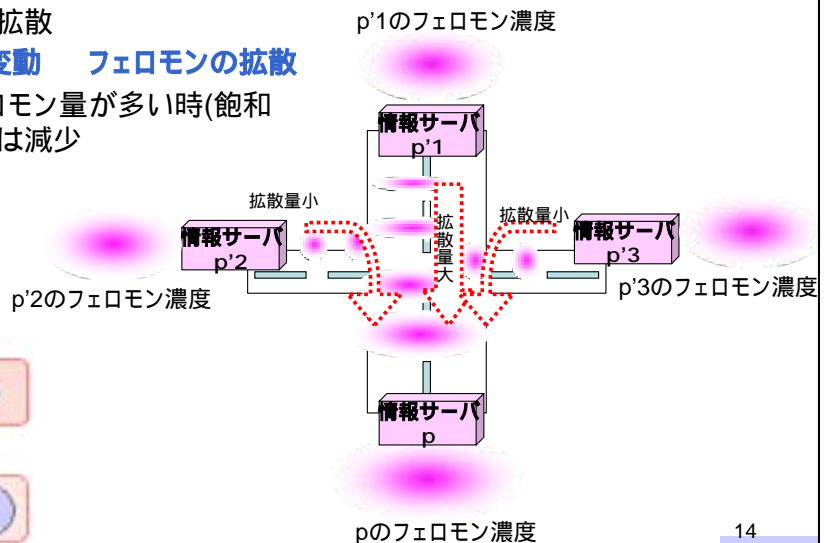
- ◆ $F \in [0, 1]$: 拡散パラメータ

$$F = f(p, p') = \begin{cases} \beta & p \text{ と } p' \text{ が同一道路上の関係} & s(t, p') \leq \text{threshold} \\ \frac{s(t, p')}{s(t, p')} & p \text{ と } p' \text{ が同一道路上の関係} & \text{threshold} < s(t, p') \\ \beta & p \text{ と } p' \text{ が同一道路上でない関係} & s(t, p') \leq \text{threshold} \\ \frac{s(t, p')}{s(t, p')} & p \text{ と } p' \text{ が同一道路上でない関係} & \text{threshold} < s(t, p') \end{cases} \geq$$



拡散モデル(2/2)

- 進行方向への拡散
 - ◆ 交通流の変動 フェロモンの拡散
- 拡散先のフェロモン量が多い時(飽和時)は、拡散量は減少



発表内容

- 背景
- 従来研究
- フェロモン
- 渋滞フェロモンモデル
- シミュレーション環境
- 評価結果
- まとめ

15

シミュレーション環境 データ

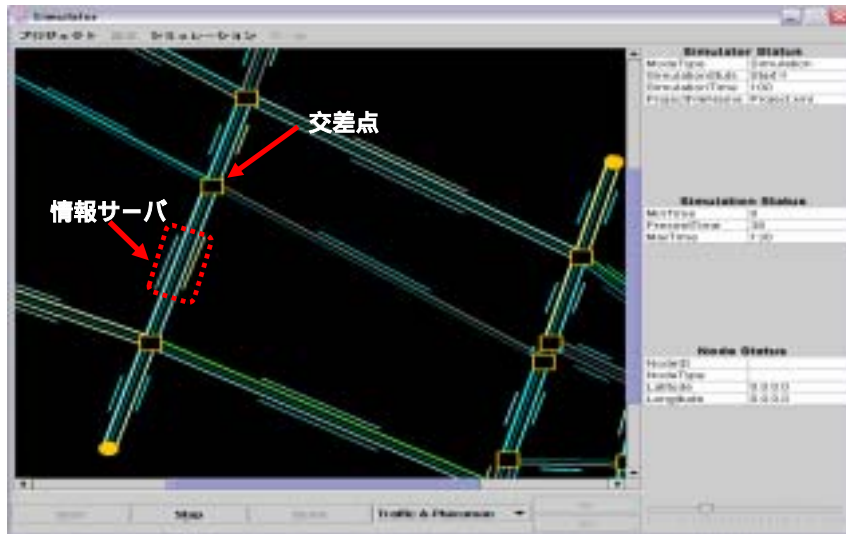
- 吉祥寺・三鷹ベンチマークデータセット(3)
 - AVENUEという交通シミュレータの検証に使ったものを公開
- 公開データ
 - 道路ネットワークデータ
 - 車両走行軌跡データ(ナンバープレートデータ)
 - AM7:50 ~ AM10:00
- スペック
 - 総軌跡台数: 12000台以上
- エリアの特徴
 - 交通量は非常に多い
 - 流量変動が激しい



シミュレーション環境 シミュレータ

■ フェロモンシミュレータ

- 道路ネットワーク上の実測交通データの状況再現と、モデル式に従ったフェロモン濃度の分布シミュレーションを同時に扱う



17

発表内容

- 背景
- 従来研究
- フェロモン
- 渋滞フェロモンモデル
- シミュレーション環境
- 評価結果
- まとめ

18

評価1 予測精度[パラメータ固定]

■シミュレーションエリア内の区間Aにおける旅行時間の実績値と、区間上に設置されている情報サーバが示すフェロモン予測値(常に1分先予測値を示す)を比較

■比較参考として、持続予測方式による予測値と精度比較

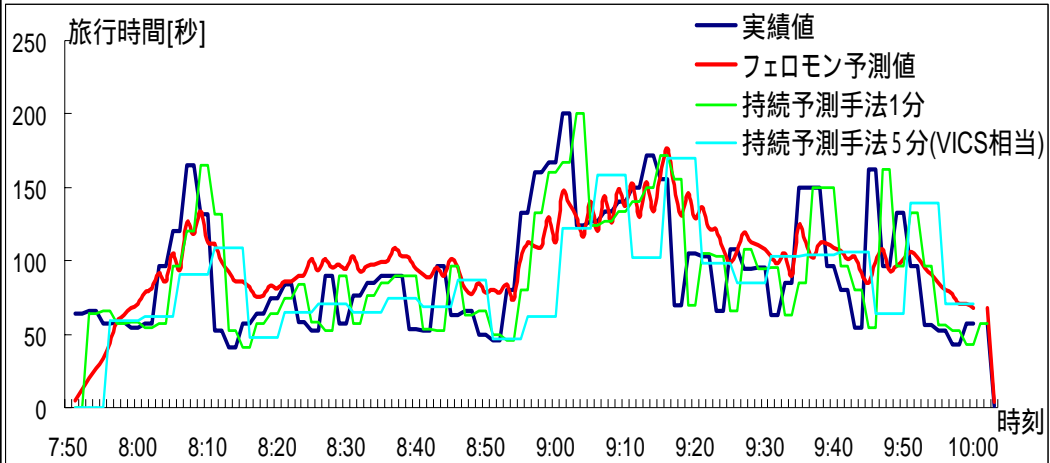


図. 区間Aにおける予測値と実績値、持続予測手法の比較

評価1 予測精度[パラメータ固定]

表1. 区間Aにおける実績値とフェロモン予測値、持続予測値の相関係数とRMS誤差の平均値

	相関係数	RMS誤差[sec]
フェロモン予測値 - 実績値	0.63	31.5
持続予測手法(1分) - 実績値	0.48	35.2

表2. 全区間(吉祥寺通り以西エリア内)における持続予測値とフェロモン予測値、持続予測値の相関係数とRMS誤差の平均値

	相関係数	RMS誤差[sec]
フェロモン予測値 - 実績値	0.59	45.6
持続予測手法(1分) - 実績値	0.41	56.5

評価2-1 パラメータと予測精度の関係

■ 発生パラメータ

- **仮定**：バス・タクシーなどの商用車両の走行は、「不意な停止が多い」、「追い越しにくい」、などといった理由から、一般車両に比較して渋滞を引き起こす原因になりやすい
- **実験**：各車エージェントのフェロモン発生量を定めるパラメータ α を、一般車両と商用車両で異なる値に設定 $\alpha_{commercial} \geq \alpha_{general}$

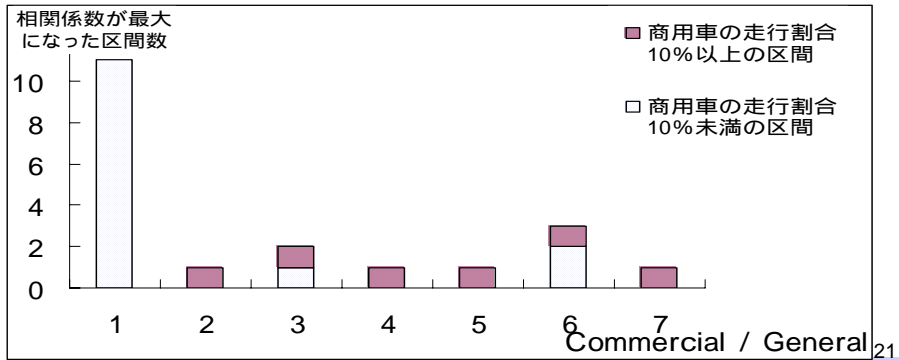


図. 一般車両と商用車両の発生パラメータを変化させた場合の予測精度への影響

評価2-2 パラメータと予測精度の関係

■ 蒸発率パラメータ

- 区間特性に関係なく、0.7～0.8に設定した場合に予測精度が上昇

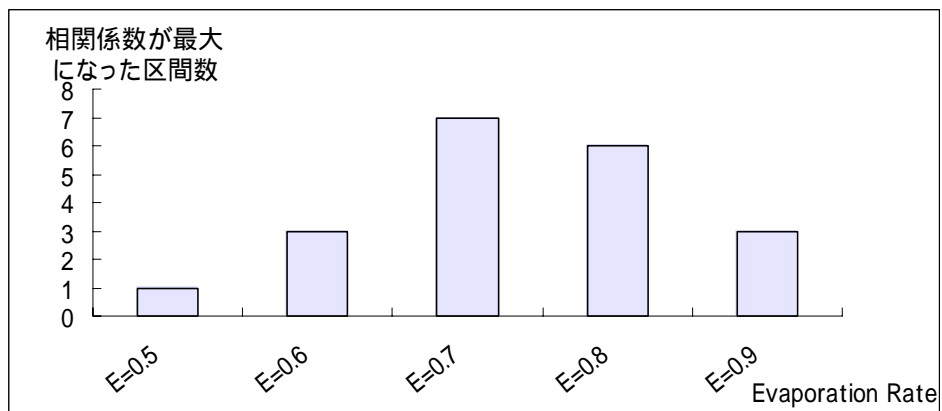


図. 蒸発率パラメータと予測精度の関係

考察

■ 評価2[パラメータ感度分析]の結果より

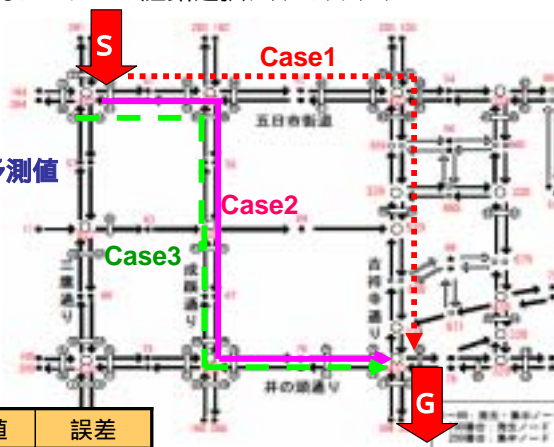
- 区間の特性(ex.バス・タクシー存在量)に影響するパラメータと、特性に関係なく一定の最適値を得るパラメータが存在した
 - 発生ポリシーを与えることにより、より一層予測精度の向上が見込めるという知見を得た

23

評価3 経路探索の有効性

✦ 地点Sから地点Gまでの経路を一般的なカーナビの経路選択アルゴリズム(ダイクストラ法)を用いて計算

- Case1: コスト= 距離
- Case2: コスト = Pheromone予測値
- Case3: コスト = 持続予測方式(1分)予測値



	最短時間経路	予測値	実績値	誤差
case 1	x		706.6	
case 2		480.9	512.2	31.3
case 3		562.5	512.2	50.3

24

発表内容

- 背景
- 従来研究
- フェロモン
- 渋滞フェロモンモデル
- シミュレーション環境
- 評価結果
- まとめ

25

まとめと今後の課題

■ まとめ

- 実世界の移動体(車)に対してフェロモンを利用
- 走行する車を車エージェントとして捉え、フェロモン発生・蒸発・拡散モデルを定義し、交通渋滞予測の領域に適用
- 実測交通データを用いて、実世界の道路環境に近似した状況でシミュレーションを行い、効果を検証
- 有用な予測情報を提供。経路選択への有効性を確認
- モデルにおけるパラメータを分析し、本手法の一般性を考察し、モデル拡張の知見を得た

■ 今後の課題

- パラメータ感度分析
- モデル再検討
 - ex. 発生ポリシーの導入効果検証
- 交通システム全体の混雑緩和検証

26

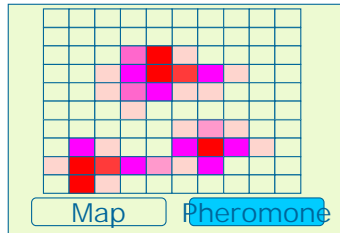
実際の利用形態

■ 車載器(カーナビ)上での利用

- フェロモン計算モジュールの導入箇所(フェロモン場サーバ):
 - 路車間通信で路側でフェロモン計算 (今回提案モデル)
 - 車載器は路側から情報を受ける and フェロモンを出す機能を組み込む.
 - 路センサデータ(e.g.VICSリンク)を入手し、車載器でフェロモン計算
 - 車車間でフェロモン計算
- エージェント:
 - 車に搭載(各種センサと連携しフェロモン発生量を制御)
- 利用シーン(エンドユーザ視点):



推奨ルート表示



数分後の予測フェロモン状態

数分後に到達する場所の渋滞を予測し、快適な経路を選択

27

ご清聴ありがとうございます

合同エージェントワークショップ&シンポジウム(JAWS2004)

フェロモンモデル: 交通渋滞予測への適用

安藤靖志¹, 深澤良彰¹, 増谷修², 岩崎弘利², 本位田真一^{3,4}

¹早稲田大学 ²(株)デンソーアイティ-ラボラトリ ³国立情報学研究所 ⁴東京大学