修　士　学　位　論　文

題　目

タクシーの運転支援システム構築に関する研究

指導教員

潮 俊光 教 授

報告者

広本 将基

平成29年2月1日

大阪大学基礎工学研究科
システム創成専攻社会システム数理領域
博士前期課程

概要

流しのタクシーが効率よく乗客を乗せるための運転支援システムの開発は，運転手の待遇改善につながる重要な課題である．本報告では，過去の乗車データと現在の流しのタクシーの分布から最適な進行方向を決定する方法を提案する．対象領域をいくつかの分割領域に分割し，各部分領域での需要予測をもとに部分領域ごとの流しのタクシーの変化を混合論理ダイナミカルシステムを使ってモデル化する．そして，モデル予測制御を応用して，各部分領域でのタクシーの最適移動分布を求める．提案手法の有効性は，流しのタクシーが周囲の需要に対して貪欲に運行した場合との比較を行うことによって示す．

目次

第 1 章

緒論

1.1　研究背景と目的

タクシー業界は道路運送法の下で様々な規制がかけられていた．しかし，2002 年に道路運送法が改正され，規制緩和が行われた．そのため，タクシー会社の新規参入が増え，都市部でのタクシーの供給が増えた．また，名古屋ではタクシーの自動運転による実証実験が行われている．こうした状況では，データに基づく配車や運行の方法を考えることは重要である．

一方，近年では通信環境が整備され，プロセッサーの性能が向上し，通信用チップが安価に入手できるようになった．つまり，大量のデータを観測，収集し，解析することが容易になった．そのため，サイバーフィジカルシステムの考え方に基づく制御が注目を浴びている．

本論文ではタクシー乗務員の運行をサポートするシステムと，合理的な運行をするための制御器を提案する．また，その制御器の有効性を個々のドライバーが貪欲に運行した場合と比較を行うことによって示す．

1.2　論文の構成

本報告の構成について述べる．第 2 章では，タクシー業界の現状について説明を行い，私達が利用できるデータと提案するシステムについて述べる．第 3 章では，タクシーの移動モデルを混合論理ダイナミカルシステムでモデル化する．そして，そのモデルを用いたモデル予測制御法を提案し，その有効性と計算時間にかかる時間を示す．第 4 章では，提案システムで実装したニューラルネットワークを用いた需要予測について述べ，数値評価を行った結果を示す．最後に，第 5 章では結論と今後の課題について述べる．

第 2 章

システム構成

2.1　緒言

本章では，我々が提案するシステムについて説明する．

2.2　結言

あ

第 3 章

モデル予測制御 - 集中型最適化の場合 -

3.1　緒言

あ

3.2　あ

時刻 k のときの各領域（セル）$i(i = 1, 2, \ldots, N)$ での空車数を $x_i(k)$ とおく．時間区間 $[k,\ k+1)$ の間に，領域 i で実車になるタクシー数を $s_i(k)$，空車になるタクシー数を $e_i(k)$ とおく．入力として，時間区間 $[k,\ k+1)$ に間に領域 i から j へ移動する空車数 $u_{i,j}(k)$ とおく．ここで，$u_{i,i}(k)$ は領域 i にとどまる空車数である．すると各領域の空車数のダイナミクスは,

$$x_i(k+1) = x_i(k) - s_i(k) + e_i(k) + \sum_{j=1}^{N} \Big(u_{j,i}(k) - u_{i,j}(k) \Big) \tag{3.1}$$

となる．

$d_i(k)$ を時刻 k のときの領域 i で発生する需要とおく．

$$d_i(k+1) = d_i(k) - s_i(k) + p_i(k) \tag{3.2}$$

である．ただし，$p_i(k)$ は時間区間 $[k,\ k+1)$ の間で新たに発生する需要であり，実データから予想される．制御理論的に言えば，外乱のようなもの．時間区間 $[k, k+1)$ に間に空車になるタクシー数 $e_i(k)$ は

$$e_i(k) = \beta_i r(k) \tag{3.3}$$

ただし，$r(k)$ は時刻 k のときの実車の総数で，β_i は領域 i で実車全体の中で領域 i で空車になる割合である．つまり，時刻 k のときの実車の中から $\beta_i r(k)$ だけが時間区間 $[k,\ k+1)$ の間で領域 i で空車になることを表し，β_i は実データから推定される．実車の総数 $r(k)$ は，式 (3.3) を用いると

$$\begin{aligned} r(k+1) &= r(k) + \sum_{i=1}^{N} \Big(s_i(k) - e_i(k) \Big) \\ &= r(k) + \sum_{i=1}^{N} \Big(s_i(k) - \beta_i r(k) \Big) \\ &= \Big(1 - \sum_{i=1}^{N} \beta_i \Big) r(k) + \sum_{i=1}^{N} s_i(k) \end{aligned} \tag{3.4}$$

である．ここで，入力に関する制約として，各領域 i について

$$x_i(k) = \sum_{j=1}^{N} u_{i,j}(k) \tag{3.5}$$

を与える．このことは，各領域において時刻 k での空車をどこに移動させるかを決定し，それに沿って，空車が移動すると仮定していることになる．空車は制御入力に従って移動してから乗車できると仮定する．

このように入力（移動する空車数））を与えると，式 (3.1), (3.3), (3.5) からシステムダイナミクスは

$$x_i(k+1) = \beta_i r(k) - s_i(k) + \sum_{j=1}^{N} u_{j,i}(k) \tag{3.6}$$

となる．ここで，式 (3.4), (3.5), (3.6) から

$$\begin{aligned} r(k+1) + \sum_{i=1}^{N} x_i(k+1) &= \Big(1 - \sum_{i=1}^{N} \beta_i \Big) r(k) + \sum_{i=1}^{N} s_i(k) + \sum_{i=1}^{N} \Big(\beta_i r(k) - s_i(k) + \sum_{j=1}^{N} u_{j,i}(k) \Big) \\ &= r(k) + \sum_{i=1}^{N} x_i(k) \end{aligned}$$

この式は，タクシーの総数が時間で変動しないことを意味する．もともとタクシーの総数が変化するような制御をかけていないので，この結果は妥当といえる．そこで，タクシーの総数を L とおくと

$$r(k) = L - \sum_{i=1}^{N} x_i(k) \tag{3.7}$$

とおける．したがって，式 (3.6) は

$$x_i(k+1) = \beta_i\left(L - \sum_{j=1}^{N} x_j(k)\right) - s_i(k) + \sum_{j=1}^{N} u_{j,i}(k) \tag{3.8}$$

さらに自動車の移動から必ず 0 にしなければならない $u_{i,j}(k)$ があるはずです．例えば，領域 i に隣接しない領域 ℓ については

$$u_{i,\ell}(k) = 0 \qquad \forall k \tag{3.9}$$

とおいてもよい．このような入力は，式 (3.6) からはずしておいてよいでしょう．

以上より，タクシーの総数 L を用いて，制約条件は以下のようになる．

$$x_i(k+1) = \beta_i\left(L - \sum_{j=1}^{N} x_j(k)\right) - s_i(k) + \sum_{j=1}^{N} u_{j,i}(k) \tag{3.10}$$

$$d_i(k+1) = d_i(k) - s_i(k) + p_i(k) \tag{3.11}$$

ここで，時間区間 $[k,\ k+1)$ の間で実車になる台数 $s_i(k)$ については以下のように考える．まず，時刻 k での空車が制御入力に従って，移動してから実車になりうるとする．このとき，時間区間 $[k,\ k+1)$ の間で実車から空車になるタクシーもすぐに実車になりうるので，時間区間 $[k,\ k+1)$ の間に領域 i にいる実車になりうるタクシーの台数は $\beta_i r(k) + \sum_{j=1}^{N} u_{j,i}(k)$ であり，実車になる台数はこの数を超えることはないので，

$$s_i(k) = \begin{cases} \alpha_i d_i(k) & \text{if } \beta_i\left(L - \sum_{j=1}^{N} x_j(k)\right) + \sum_{j=1}^{N} u_{j,i}(k) - \alpha_i d_i(k) \geq \\ \beta_i\left(L - \sum_{j=1}^{N} x_j(k)\right) + \sum_{j=1}^{N} u_{j,i}(k) & \text{otherwise} \end{cases} \tag{3.12}$$

ただし，α_i は領域 i においてタクシーに乗車できる乗客の割合（定数・同定する必要あり.）である．ここで，式 (3.12) が条件付きの式になっている．この式は以下のように変形すれば，システム全体は MLD（Mixed Logical Dynamical）システムになる．なお，MLD システムの性質については松本さんの卒論を見てください．

まず，以下の論理変数 $\delta_i(k) \in \{0,\ 1\}$ を導入する．

$$\delta_i(k) = \begin{cases} 1 & \text{if } h_i(x_1(k),\ \ldots, x_N(k),\ u_{1,i}(k), \ldots, u_{N,i}(k), d_i(k)) \geq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \tag{3.13}$$

と定義する．ただし，

$$h_i(x_1,\ \ldots, x_N,\ u_{1,i}, \ldots, u_{N,i},\ d_i) = \beta_i\left(L - \sum_{j=1}^{N} x_j\right) + \sum_{j=1}^{N} u_{j,i}(k) - \alpha_i d_i \tag{3.14}$$

である．このとき，松本さんの卒論の補題 2.3(i) から，制約条件式 (3.13) は次の不等式制約条件になる．

$$h_i^{inf}(1-\delta_i(k)) \leq h_i(k) \leq h_i^{sup}\delta_i(k) + (\delta_i(k)-1)\epsilon \tag{3.15}$$

ただし $h_i(k) = h_i(x_1(k),\ \ldots, x_N(k),\ u_{1,i}(k), \ldots, u_{N,i}(k),\ d_i(k))$ と略記し，h_i^{inf}, $h_i^{sup} \in R$ は取りうる任意の $(x_1,\ \ldots, x_N,\ u_{1,i}, \ldots, u_{N,i},\ d_i)$ に対して $h_i^{inf} \leq h_i(x_1,\ \ldots, x_N,\ u_{1,i}, \ldots, u_{N,i},\ d_i) \leq h_i^{sup}$ であり，$\epsilon \in R_+$ は十分に小さな正の実数である（この数は i に独立でよいでしょう．, h_i^{inf}, h_i^{sup} も i に独立に指定してもよいかもしれません．）．

式 (3.12) は以下のように変形できる．

$$\begin{aligned} s_i(k) &= \delta_i(k)\alpha_i d_i(k) + (1-\delta_i(k))S_i(k) && (3.16)\\ &= -\delta_i(k)h_i(k) + S_i(k) && (3.17) \end{aligned}$$

ただし，

$$S_i(k) = \beta_i\left(L - \sum_{j=1}^{N} x_j(k)\right) + \sum_{j=1}^{N} u_{j,i}(k)$$

である．ここで，

$$z_i(k) = -\delta_i(k)h_i(k) \qquad \Big(= \delta_i(k)(-h_i(k))\Big) \tag{3.18}$$

とおくと，

$$s_i(k) = z_i(k) + S_i(k) \tag{3.19}$$

となる，ここで，松本さんの卒論の補題 2.3(ii) から，式 (3.18) は，

$$\begin{aligned} -h_i^{sup}\delta_i(k) &\leq z_i(k) \leq -h_i^{inf}\delta_i(k) && (3.20)\\ -h_i(k) + h_i^{inf}(1-\delta_i(k)) &\leq z_i(k) \leq -h_i(k) + h_i^{sup}(1-\delta_i(k)) && (3.21) \end{aligned}$$

と変換できる．

これらの式は線形なので，求める最適化問題は混合整数計画問題（制約条件式が線形の等式または不等式で書かれている．）として定式化できる．

3.3 結言

あ

第 4 章

モデル予測制御 - 分散型最適化の場合 -

4.1　緒言

あ

4.2　結言

あ

第 5 章

結論

あ

謝辞

ありがとう

参考文献

[1] Reference 1
[2] Reference 2

付録 A

hoge