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

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，合理的な運行の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．

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

第 2 章では，私達が提案するシステムについて述べる．第 3 章では，私達が提案する制御器について述べる．第 4 章では，需要予測の方法について述べる．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

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

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

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

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