1F3-03

自動交渉のフィードバックシステムによる定式化と解析
Modeling of automatic negotiation by a feedback system and its analysis

津村 幸治 *
Koji Tsumura

Abstract In this paper, we deal with automatic negotiation for general purposes. Under the development for smart city or social systems, automatic negotiation has became one of significant research fields and it has been actively investigated in a research community with an international competition in the last decade. However, the transition behavior of the automatic negotiation systems, the conditions on the success or failure of negotiations, or the robustness for the uncertainties of the conditions is not enough investigated. With this back ground, in this paper, we aim to develop a mathematical model for the dynamics of automatic negotiation and propose a model as a feedback system between two agents. A process of negotiation is composed of an offer from an agent to the other, acceptance or reject with a renewed offer to the other, and the repetition of the above process. From above, this process can be regarded as a feedback system between agents and the offers are its signals. The acceptance or the reject is decided by the policies of the agents and the estimation of the opponent policies. Then, we explain the fundamental structure of the negotiation dynamics and show its realizations.

Key Words: Automatic negotiation, Feedback system, Modeling

1 はじめに

交渉というプロセスは，従来は人同士，あるいは企業・団体同士の間で行われるものと考えられてきたが，スマートな社会システムの実現のためには，人工的なエージェント・システムの間での自動交渉の技術の開発が不可欠である．例えば自動運転のビークル同士による合流や交差点通過時の優先の決定，人同士では見つけるのが困難な，複雑だが両者にとって win-win となる契約条件の発見，極めて高速な交渉，といった自動交渉の技術が，優れたスマート社会システムの実現のためのキーテクノロジと考えられる．

以上を背景に，近年，自動交渉の研究は関連するコミュニティの間で活発に行われ，この 10 年，毎年，自動交渉のアルゴリズムの優秀さを競う国際的なコンペティションも開催されてきている [1]．そこでは交渉を進める上での様々な戦略の提案，シミュレーション結果の解析による戦略の優越，交渉成立の条件 (パレート最適など) に関する解析，などについて議論されている．しかし，このような研究・開発の盛り上がりの一方で，戦略の理論的最適性，交渉成立に至る交渉過程の解析，環境変化や外乱へのロバストネスなどに関する研究は十分ではない．

そこで本研究では，交渉過程がエージェント間における交渉条件の提示と，それを受けての対案の提示の繰り返しであることから，これを複数の動的システムがフィードバック結合した閉ループシステムととらえ，その動的な閉ループシステムにおける信号，つまり交渉条件の収束性，戦略の最適性，あるいは交渉システム全体のロバストネスについて，制御理論の方法論に従って解析することを主目的とする．

特に本稿では，議論を進めるための土台となる交渉の数理モデルの導出や，その構造について議論する．つまり交渉エージェントとしてどのような機能を持つ必要があり，その振る舞いの数理モデルがどうあるべきか，について考察する．

2 自動交渉の基礎とモデリングのアイデア

まずはじめに自動交渉における基本用語や概念 [2, 3] について説明する．交渉に参加する者を agent p あるいは player p と呼ぶ (本稿では以下 player p と呼ぶ)．また交渉の対象を論点 (issue) と呼ぶ．論点は 1 つでも複数でもよく，複数の場合には各論点にインデックス $i = 1, 2, \ldots, N$ が割り振られているものとする．各論点 i には，player 間で合意すべき値 ω_i (value) が定義される．また value の player ごとの属性を明示する場合には ω_i^p と表記する．value ω_i^p は連続的 value あるいは離散的 value がありえる．各 player が合意すべき value は，論点が一つのスカラの場合を特別の場合として含めると，一般にはベクトル

$$\omega^p := \begin{bmatrix} \omega_1^p & \omega_2^p & \cdots & \omega_N^p \end{bmatrix}^\top \quad (1)$$

と表される．また ω^p がとり得る値の集合を交渉空間 (negotiation domain) Ω と呼ぶ．次に player p は選好情報 (preference) あるいは効用関数 (utility) $U_p(\omega^p)$ を有しており，一般にはそれは交渉相手から秘匿される．効

*東京大学, NEDO SIP, tsumura@i.u-tokyo.ac.jp

用関数は例えば

$$U_p(\omega^p) := \sum_i W_i^p u_i^p(\omega_i^p) \tag{2}$$

$$\sum_i W_i^p = 1 \tag{3}$$

などと与えられる．ここで $u_i^p(\omega_i^p)$ は論点 i についての player p の効用関数，W_i^p はその重みである．上の効用関数の例は $u_i^p(\omega_i^p)$ の線形和で表せるものであるが，一般には複数の論点にまたがる相互作用のある効用関数も考えられる．

交渉の過程は次のようである．ただしここでは簡単のために，player 1, player 2 の 2 名の間の交渉について説明する．ある時刻 t で player 1 が合意案候補 (bid) ω^1 を提示する (offer)．player 2 は受け取った ω^1 に対して「受け入れる」(accept),「合意候補を拒否し対案の合意候補 ω^2 を player 1 に提示する」(offer),「交渉を破棄する」(end_negotiation) といった振る舞いをする．accept と end_negotiation の場合は，そこで交渉は終了する．offer の場合は player 1 と player 2 で立場を入れ替え，上と同じ手続きを繰り返す．

次に accept と offer がどのように決められるのかについて説明する．Fig. 1 は 2 者による交渉の，ある時点における典型的な効用関数 $U_1(\omega^1)$，$U_2(\omega^2)$，閾値 (下限) S_1, S_2，value ω^1, ω^2 の許容領域 Ω_1, Ω_2 (top view) の概略を表す．この図の場合，Ω_1, Ω_2 には共通集合が存在しないため，このままでは player 1, player 2 は accept できず，end_negotiation を返すか offer を繰り返す．以下では offer を返し交渉を続ける場合を考えよう．また簡単のため，ここでは効用関数 $U_1(\omega^1)$，$U_2(\omega^2)$ は固定され，閾値 S_1, S_2 のみ更新可能としよう．accept を実現させるためには，Fig. 2 にあるように閾値 S_1, S_2 を下げ，許容領域 Ω_1, Ω_2 を拡大しなければならない．Fig. 2 は，それによって許容領域に共通集合が現れ，両者に accept の可能性が生じた状況を表している．図中の ω^{1*} は player 1 にとって，共通集合内の最適な offer の候補を表す．

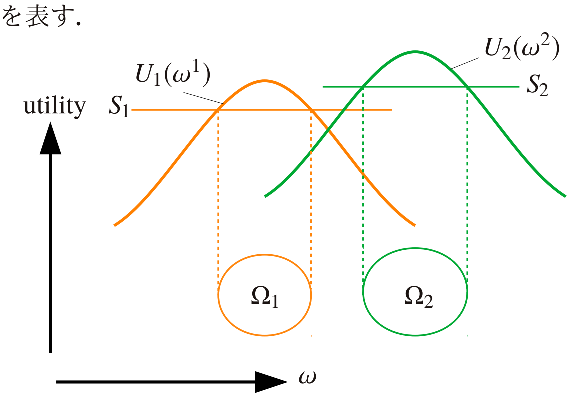

Fig. 1: Utility functions, thresholds, and the acceptable regions

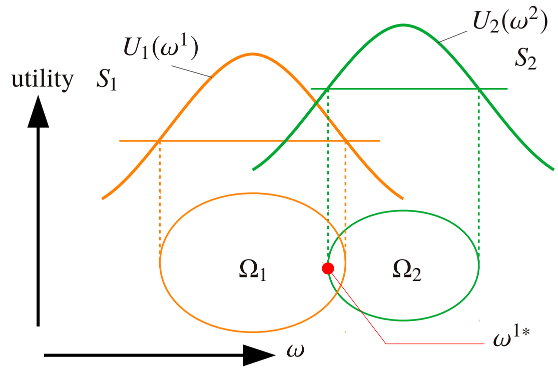

Fig. 2: Utility functions, thresholds, the acceptable regions, and a candidate of offer ω^{1*} for player 1

以上より，交渉の過程においては各 player 自身内での閾値の更新と，それぞれの戦略に基づく bid の offer が繰り返される．戦略とは，最終的な交渉の合意案によって自身が得られる効用の値をより良くするために，相手への bid の offer と閾値の更新をどのように決定するのかを表す．各 player にとって合意案をより良くするには，相手の状況，つまり相手の効用関数，閾値，戦略を，相手の offer の履歴から，より正確に推測する必要がある．その一方で，自身の offer の履歴は相手に自身の情報を推定させる手がかりを与えることとなり，ここに交渉の難しさがある．

以上をまとめると 2 者間の交渉では，I. 受け取った offer あるいはその履歴から，相手の効用関数や閾値等を推定する，II. 推定値と戦略に基づき相手へ offer する，の繰り返しであり，2 つのサブシステム間の閉ループシステム (Fig. 3) と見なすことが可能であることがわかる．そこでまずは，制御理論の場合にならって，次のようなモデルで交渉過程を表現することを考えよう．

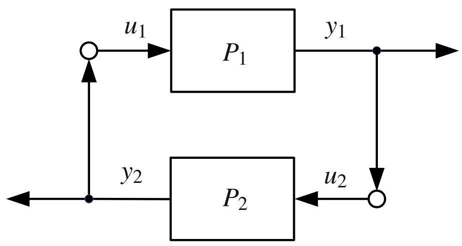

Fig. 3: Feedback system model for automatic negotiation

player 1: $$x_1[t+1] = f_1(x_1[t], u_1[t]) \tag{4}$$

$$y_1[t] = g_1(x_1[t], u_1[t]) \tag{5}$$

player 2: $$x_2[t+1] = f_2(x_2[t], u_2[t]) \tag{6}$$

$$y_2[t] = g_2(x_2[t], u_2[t]) \tag{7}$$

feedback connection: $$u_1[t] = y_2[t] \tag{8}$$

$$u_2[t] = y_1[t] \tag{9}$$

ただし $y_\bullet$ は offer，$u_\bullet$ は相手から受け取った offer，$x_\bullet$ は相手のパラメタの推定値，$f_\bullet$ は $x_\bullet$ の推定器，$g_\bullet$ は offer を決定する最適化器とする．

本稿の以下では，上述のようなモデルで交渉が表現できるか，$x_\bullet$, $f_\bullet$, $g_\bullet$ は具体的にどう表現されるのか，コンパクトな実現はなにか，を議論しよう．

先と同様に 2 者の player 間における交渉を考える．上で述べた説明から，各エージェントの振る舞いを表すために必要と考えられる信号，関数およびその記号を次に与える．

player 1 (player 2 も同様)

- $z_1[t]$: player 1 の許容領域 Ω_1 と戦略を特徴付ける変数
- $\tilde{z}_2[t]$: player 2 の許容領域 Ω_2 の 推定領域 $\tilde{\Omega}_2$ と戦略の推定を特徴付ける変数
- $\theta_{z_2}[t]$: $\tilde{z}_2$ の確率密度関数の変数
- $\tilde{\theta}_{z_1}[t]$: player 2 の θ_{z_1} の推定値
- $\tilde{\theta}'_{z_1}[t]$: $\tilde{\theta}_{z_1}[t]$ の確率密度関数の変数
- $y_1[t]$: player 1 の提案
- $u_1[t]$: player 2 からの提案，つまり $u_1[t] = y_2[t]$
- $f_1(\cdot)$: θ_{z_2} を与える推定器
- $g_1(\cdot)$: z_1, θ_{z_2} に基づく player 1 にとっての最適条件 y_1 を計算する (見つける) 最適化アルゴリズム

以上の準備のもと，player 1 の動作の基本として次を考える．

player 1

$$\theta_{z_2}[t] = f_1(u_1[t]) \tag{10}$$

where

$$(\theta_{z_2}[t],\ \tilde{\theta}'_{z_1}[t]) = \arg\max_{\theta_{z_2},\tilde{\theta}'_{z_1}} \int_{D^2_{u_1[t]}} p(\tilde{z}_2;\theta_{z_2})p(\tilde{\theta}_{z_1};\tilde{\theta}'_{z_1})d\tilde{z}_2 d\tilde{\theta}_{z_1} \tag{11}$$

$$D^2_{u_1[t]} := \left\{(\tilde{z}_2,\tilde{\theta}_{z_1})\,\middle|\,u_1[t] = g_2(\tilde{z}_2,\tilde{\theta}_{z_1})\right\} \tag{12}$$

$$y_1[t] = g_1(z_1[t],\theta_{z_2}[t]) \tag{13}$$

前述したように，交渉で自身に有利な提案をするためには，相手の許容領域と戦略等をよりよく推定しなければならない．player 1 にとってそれは $z_2[t]$ のよりよい推定値 $\tilde{z}_2[t]$ を求めることであり，さらにそれは $\theta_{z_2}[t]$ の導出と同値である．この計算は式 (10) でなされ，player 1 にとって新たな情報であるところの入力 $u_1[t] = y_2[t]$ を用いて実行される．またその具体的な計算は式 (11) で与えられる．また $p(\bullet)$ は確率密度関数を表す．式 (11) は尤度の最大値を与えるパラメタ $\theta_{z_2}, \tilde{\theta}'_{z_1}$ の計算であり，f_1 が最尤推定により実現されていることを表す．また最尤推定では，情報 $u_1[t] = y_2[t]$ と整合する $(\tilde{z}_2[t], \tilde{\theta}_{z_1}[t])$ の可能な集合 $D^2_{u_1[t]}$ ((12) 式) 上での周辺分布を用いて計算される．最後に式 (13) では，player 1 自身の戦略・許容領域と推定された player 2 の戦略・許容領域とを加味し，新たな offer $y_1[t]$ を計算している．その具体的なものとしては，

$$\begin{aligned}
g_1(z_1,\theta_{z_2}) &: z_1,\theta_{z_2} \mapsto y_1 \\
&y_1 = \arg\max_{y_1} U_1(y_1;\theta_1) \\
&\text{s.t.}\quad y_1 \in \Omega_1(z_1) \cap \tilde{\Omega}_2(\theta_{z_2}) \\
&U_1(\cdot) : \text{utility function of player 1}
\end{aligned}$$

などが考えられる．ただしここでは player 1 の許容領域 Ω_1 が z_1 によって表され，player 2 の許容領域 Ω_2 の推定領域 $\tilde{\Omega}_2$ が θ_{z_2} によって表され，(A)「許容領域の共通集合から U_1 を最大化する y_1 を選ぶ」，という簡単な場合を表している (Fig. 2 参照)．なお (A) の内容そのものが一つの戦略を表しており，その戦略の選択自体を z_1 の 1 変数として含めても良い．

player 2 の振る舞いについても同様に次の様に与えられる．

player 2

$$\theta_{z_1}[t] = f_2(u_2[t]) \tag{14}$$

where

$$(\theta_{z_1}[t],\ \tilde{\theta}'_{z_2}[t]) = \arg_{\theta_{z_1},\tilde{\theta}'_{z_2}} \int_{D^1_{u_2[t]}} p(\tilde{z}_1;\theta_{z_1})p(\tilde{\theta}_{z_2};\tilde{\theta}'_{z_2})d\tilde{z}_1 d\tilde{\theta}_{z_2} \tag{15}$$

$$D^1_{u_2[t]} := \left\{(\tilde{z}_1,\tilde{\theta}_{z_2})\,\middle|\,u_2[t] = g_1(\tilde{z}_1,\tilde{\theta}_{z_2})\right\} \tag{16}$$

$$y_2[t+1] = g_2(z_2[t],\theta_{z_1}[t]) \tag{17}$$

ただし制御システムの場合と異なり，ここでは y_2 の時刻を一つ進めるモデルとした．これは交渉の場合には，一方の player の offer とそれに対する他方の player の代案である offer がなされる時刻は 1 時刻ずれると考えるのが自然であるためである．

次に上で与えた基本的な動作を元に，その振る舞いが式 (4)–(9) のようにまとめられ得るか否かを考えたい．そこで以下では初期時刻から player 1, player 2 の振る舞いを順に追ってみよう．

$t = 0$ はじめに時刻 $t = 0$ の状況を考える．

player 1

$$y_1[0] = g_1(z_1[0],\theta_{z_2}[0]) \tag{18}$$

初期時刻では，player 1 は θ_{z_2} を推定するための，player 2 からの offer の情報は無いので，事前情報に基づく何らかの $\theta_{z_2}[0]$ を用いて，式 (18) で offer $y_1[0]$ を与える．また $\theta_{z_2}[0]$ は player 2 にも既知と仮定する (この仮定

は取り除けるが，ここでは player 1 と player 2 の動作の，以降の表現を対象にするため)．この offer を受けた player 2 の $t=0$ での振る舞いは次に与えられる．

player 2

$$\theta_{z_1}[0] = f_2(u_2[0] = y_1[0]) \tag{19}$$

where

$$(\theta_{z_1}[0],\ \tilde{\theta}'_{z_2}[0]) = \arg\max_{\theta_{z_1}, \tilde{\theta}'_{z_2}} \int_{D^1_{u_2[0]}} p(\tilde{z}_1; \theta_{z_1}) p(\tilde{\theta}_{z_2}; \tilde{\theta}'_{z_2}) d\tilde{z}_1 d\tilde{\theta}_{z_2} \tag{20}$$

$$D^1_{u_2[0]} := \left\{ (\tilde{z}_1, \tilde{\theta}_{z_2}) \,\middle|\, u_2[0] = g_1(\tilde{z}_1, \tilde{\theta}_{z_2}) \right\} \tag{21}$$

$$y_2[1] = g_2(z_2[0], \theta_{z_1}[0])) \tag{22}$$

ここで式 (20)–(21) の計算における $\tilde{\theta}_{z_2}$ については先に $\theta_{z_2}[0]$ は player 2 にも既知としたので，確定値 $\tilde{\theta}_{z_2} = \theta_{z_2}[0]$ に置き換えられる．よって式 (20)–(21) は

$$\theta_{z_1}[0] = \arg\max_{\theta_{z_1}} \int_{D^1_{u_2[0]}} p(\tilde{z}_1; \theta_{z_1}) d\tilde{z}_1 \tag{23}$$

$$D^1_{u_2[0]} := \left\{ (\tilde{z}_1, \tilde{\theta}_{z_2}) \,\middle|\, u_2[0] = g_1(\tilde{z}_1, \theta_{z_2}[0]) \right\} \tag{24}$$

に置き換えられる．またさらに注意すべきことは，式 (23)–(24) の計算は，player 1 も，それ自身の出力である $y_1[0](= u_2[0])$ の情報を用いれば完全に再現できるということである．

以上を踏まえ次に時刻 $t=1$ での振る舞いを見る．

$t=1$

player 1

$$\theta_{z_2}[1] = f_1(u_1[1] = y_2[1]) \tag{25}$$

where

$$(\theta_{z_2}[1],\ \tilde{\theta}'_{z_1}[1]) = \arg\max_{\theta_{z_2}, \tilde{\theta}'_{z_1}} \int_{D^2_{u_1[1]}} p(\tilde{z}_2; \theta_{z_2}) p(\tilde{\theta}_{z_1}; \tilde{\theta}'_{z_1}) d\tilde{z}_2 d\tilde{\theta}_{z_1} \tag{26}$$

$$D^2_{u_1[1]} := \left\{ (\tilde{z}_2, \tilde{\theta}_{z_1}) \,\middle|\, u_1[1] = g_2(\tilde{z}_2, \tilde{\theta}_{z_1}) \right\} \tag{27}$$

$$y_1[1] = g_1(z_1[1], \theta_{z_2}[1]) \tag{28}$$

ここで先に示したように，$\theta_{z_1}[0] = f_2(y_1[0])$ の値は player 1 にも既知であるので，確率変数 $\tilde{\theta}_{z_1}[1]$ は確定値 $\tilde{\theta}_{z_1}[1] = \theta_{z_1}[0]$ となる．また $\tilde{\theta}'_{z_1}[1]$ も不必要である．よって (26) 式は次で置き換えられる．

$$\theta_{z_2}[1] = \arg\max_{\theta_{z_2}} \int_{D^2_{u_1[1]}} p(\tilde{z}_2; \theta_{z_2}) d\tilde{z}_2 \tag{29}$$

$$D^2_{u_1[1], \theta_{z_2}[0]} := \left\{ \tilde{z}_2 \,\middle|\, u_1[1] = g_2(\tilde{z}_2, \theta_{z_1}[0]) \right\} \tag{30}$$

同じことが player 2 にも成り立つので，次を得る．

player 2

$$\theta_{z_1}[1] = f_2(u_2[1] = y_1[1]) \tag{31}$$

$$= \arg\max_{\theta_{z_1}} \int_{D^1_{u_2[0], \theta_{z_2}[0], u_2[1], \theta_{z_2}[1]}} p(\tilde{z}_1; \theta_{z_1}) d\tilde{z}_1 \tag{32}$$

$$D^1_{u_2[0], \theta_{z_2}[0], u_2[1], \theta_{z_2}[1]} := \left\{ \tilde{z}_1 \,\middle|\, u_2[0] = g_1(\tilde{z}_1, \theta_{z_2}[0]), u_2[1] = g_1(\tilde{z}_1, \theta_{z_2}[1]) \right\} \tag{33}$$

$$y_2[2] = g_2(z_2[1], \theta_{z_1}[1]) \tag{34}$$

ここで注意する点として，$D^1_{\bullet}$ の集合が，その時刻までの履歴でもって定義されることである．

以上の考察から，一般の時刻における各 player の動作を変数同士の関係に焦点をあて，まずは次の様にまとめられる．

player 1

$$\theta_{z_2}[t] = \arg\max_{\theta_{z_2}} \int_{D^2_{\ldots, u_1[t-1], \theta_{z_1}[t-2], u_1[t], \theta_{z_1}[t-1]}} p(\tilde{z}_2; \theta_{z_2}) d\tilde{z}_2 = f_1(\ldots, u_1[t-1], \theta_{z_1}[t-2], u_1[t], \theta_{z_1}[t-1]) \tag{35}$$

$$\theta_{z_1}[t] = \arg\max_{\theta_{z_1}} \int_{D^1_{\ldots, u_2[t-1], \theta_{z_2}[t-1], u_2[t], \theta_{z_2}[t]}} p(\tilde{z}_1; \theta_{z_1}) d\tilde{z}_1 =: h_1(\ldots, u_2[t-1], \theta_{z_2}[t-1], u_2[t], \theta_{z_2}[t]) \tag{36}$$

$$y_1[t] = g_1(z_1[t], \theta_{z_2}[t]) \tag{37}$$

以下では $\overline{\bullet}[t]$ を信号 $\bullet$ の時刻 t までの時系列を表すことにする．ここで式 (36)–(37) における $\theta_{z_2}[t]$ は，式 (35) より $\overline{\theta}_{z_1}[t-1], \overline{u}_1[t]$ の関数であることを考慮すると，

$$\theta_{z_2}[t] = f_1(\overline{\theta}_{z_1}[t-1], \overline{u}_1[t]) \tag{38}$$

$$\theta_{z_1}[t] = h_1(z_1[t], \overline{\theta}_{z_1}[t-1], \overline{u}_1[t]) \tag{39}$$

$$y_1[t] = g_1(z_1[t], \overline{\theta}_{z_1}[t-1], \overline{u}_1[t]) \tag{40}$$

と表せる．この中で式 (38) は式 (39)–(40) の中に含まれていると考え，player 1 のダイナミクスを最小の変数のみを用いて表すと，

$$\theta_{z_1}[t] = h_1(z_1[t], \overline{\theta}_{z_1}[t-1], \overline{u}_1[t]) \tag{41}$$

$$y_1[t] = g_1(z_1[t], \overline{\theta}_{z_1}[t-1], \overline{u}_1[t]) \tag{42}$$

となる．player 2 についても同様に，

$$\theta_{z_2}[t+1] = h_2(z_2[t], \overline{\theta}_{z_2}[t], \overline{u}_2[t]) \tag{43}$$

$$y_2[t+1] = g_2(z_2[t], \overline{\theta}_{z_2}[t], \overline{u}_2[t]) \tag{44}$$

と表せる．

以上の考察からわかることは，相手の player の変数を最尤推定する場合，式 (41)–(44) にあるようにそのダ

イナミクスを表現するには時刻 t までにやりとりした履歴を用いる必要があり，それを記憶する状態変数の次元は時刻とともに増大する．式 (4)–(9) のような有限次元の状態変数で各ダイナミクスを表現するには，次の 2 つが考えられる．

1. 最尤推定で用いるデータの履歴を，直近のものから決まった長さの過去の履歴に置き換える (例 : 直近 3 つのデータのみによる最尤推定など).

2. 具体的な密度関数 p，$g_\bullet$ のクラスを限定し，最尤推定が過去の決まった長さの履歴で計算可能な場合 (例：Kalman filter など).

このうち 1 の場合，式 (41)–(44) は次となる．

$$x_1[t] = Ax_1[t-1] + B_{\theta_{z_1}}\theta_{z_1}[t] + B_{u_1}u_1[t] \tag{45}$$
$$\theta_{z_1}[t] = h_1(z_1[t], x_1[t]) \tag{46}$$
$$y_1[t] = g_1(z_1[t], x_1[t]) \tag{47}$$

ただし $x_1[t]$ は時刻 t までの直近 m 個の θ_{z_1} と u_1 のデータをスタックしたベクトルである．上式はさらに，

$$x_1[t] = \tilde{h}_1(z_1[t], x_1[t-1], u_1[t]) \tag{48}$$
$$y_1[t] = g_1(z_1[t], x_1[t]) \tag{49}$$

とまとめられる．ここで式 (48) の $\tilde{h}_1$ は，式 (45)–(46) を一つにまとめた map である．

3 考察

以上の議論より，1 の場合は，自動交渉の過程を合理的観点で式 (4)–(9) の形式で表現することは可能である．その一方で，式 (48)–(49) と player 2 のそれとの閉ループシステムあるいは式 (41)–(42) と player 2 のそれとの閉ループシステムの平衡点の存在，その安定性，最適性等については，これまでの一般論のままでは議論が難しい．一方，2 の場合はより具体的な問題設定を与え，Kalman filter に類似する構造を有するか否かを見極める必要がある．

4 まとめ

本論文では，自動交渉システムの開発の社会的重要性について説明し，その交渉過程をフィードバック制御の数理モデルによって定式化した．またそのダイナミクスが，どの程度コンパクトに表現できるのか否かについて説明した．今後の課題は，そのダイナミクスの平衡点，安定性，最適性，ロバストネス等の解析である．

参考文献

[1] C. M. Jonker, R. Aydoğan, T. Baarslag, K. Fujita, T. Ito, K.Hindiks: Automated Negotiating Agents Competition (ANAC), Proceedings of the Thirty-First AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI-17)

[2] T. Baarslag, M. J. C. Hendrikx, K. V. Hindriks, C. M. Jonker, Learning about the opponent in automated bilateral negotiation: a comprehensive survey of opponent modeling techniques, Autonomous Agents and Multi-agent Systems, 30, pp. 849–898 (2016)

[3] 藤田，森，伊藤：ANAC: Automated Negotiating Agents Competition (国際自動交渉エージェント競技会)，人工知能，31-2，pp. 237–247 (2016)