

# マルチユーザな人間-機械系におけるオートメーションサブライズの検出

学籍番号：90104083 潮 研究室 鈴木絢子

## 1 結論

大規模かつ複雑なマシンを操作する際、マシンを機能的に分割し、複数の人間により1台のマシンを操作する。一般に、人間とマシンの間の相互作用に不整合が生じることをオートメーションサブライズ（以下 AS）という。本論文では従来の人間-機械系における AS[1] をマルチユーザに拡張し、これを検出するアルゴリズムを提案する。

## 2 マルチユーザな人間 - 機械系

マルチユーザな人間-機械系はマシンモデル、ユーザインタフェース（以下 UI）、および  $n$  個のユーザモデルから構成される。マシンモデルを離散事象システムとして以下の決定オートマトンで表す。

$$G_M = (X_M, \Sigma_M, \delta_M, x_{m,0}) \quad (1)$$

$X_M$  は状態集合、 $\Sigma_M$  は事象集合、 $\delta_M: X_M \times \Sigma_M \rightarrow X_M$  は状態遷移関数、 $x_{m,0}$  は初期状態であり、事象集合は  $\Sigma_M = \Sigma_M^{com} \cup \Sigma_M^{int}$  としてユーザコマンドの集合とマシンの内部事象の集合に分類できる。ユーザ  $i$  に表示されるディスプレイモードの集合を  $\Sigma_{U_i}$ 、UI を写像  $I_i: X_M \rightarrow X_{U_i}$ 、 $i = 1, 2, \dots, n$  とすると、ユーザモデル  $i$  は以下のような空動作つき非決定オートマトンとなる。

$$G_{U_i} = (X_{U_i}, \Sigma_{U_i}, \delta_{U_i}, x_{u_i,0}), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

ユーザモデル  $i$  の事象集合は  $\Sigma_{U_i} = \Sigma_{U_i}^{com} \cup \{\epsilon\}$  であり、ユーザ  $i$  のコマンドの集合と空動作  $\epsilon$  から成る。ユーザ  $i$  にとって不可観測な事象は全て空動作となるため  $\Sigma_M^{com} = \bigcup_i \Sigma_{U_i}^{com}$  である。そこで  $\Sigma_M$  と  $\Sigma_{U_i}$  の関係を表現する写像  $\Pi_i: \Sigma_M \rightarrow \Sigma_{U_i}$  を導入する。

$$\Pi_i(\sigma) = \begin{cases} \sigma & \text{if } \sigma \in \Sigma_{U_i}^{com} \\ \epsilon & \text{if } \sigma \in \Sigma_M \setminus \Sigma_{U_i}^{com} \end{cases} \quad (3)$$

次に Mode Confusion, Blocking State, Refusal State を以下のように再定義する。

**Mode Confusion**: あるユーザがコマンドを入力したとき、マシンのモードとユーザのモードが異なるという状況。

**Blocking State**: マシンの内部事象又はあるユーザのコマンドにより、他ユーザモデルで予想外のモード遷移が生じる状況。

**Refusal State**: あるユーザがコマンドを入力しても、マシンでは何も起こらないという状況。

## 3 合成モデルと AS 検出アルゴリズム

これまでに提案されているシングルユーザの場合のマシン、ユーザモデルの合成モデルを得るアルゴリズム [1] を拡張し、 $k$  個のユーザモデルとマシンモデルの合成モデル  $G_{C_k}$  が得られたとき、以下の遷移関数を適用して  $k+1$  番目のユーザモデル  $G_{U_{k+1}}$  を合成し  $G_{C_{k+1}}$  を得る。

$$G_{C_{k+1}} = (X_{C_{k+1}}, \Sigma_M, \delta_{C_{k+1}}, x_{c,0_{k+1}}) \quad (4)$$

初期状態を  $x_{c,0_{k+1}} = (x_{m,0}; x_{u_1,0}, \dots, x_{u_{k+1},0})$ 、事象集合を  $\Sigma_M$  とし、状態集合  $X_{C_{k+1}}$  を次のように定義する。

$$X_{C_{k+1}} = \{MC, BS, RS\} \cup \{(x_m; x_{u_1}, \dots, x_{u_{k+1}}) \mid x_m \in X_M; x_{u_i} \in X_{U_i}; \forall i, I_i(x_m) = x_{u_i}\}$$

MC, BS, RS はそれぞれ Mode Confusion, Blocking State, Refusal State となる状態の集合全体を表す特別な

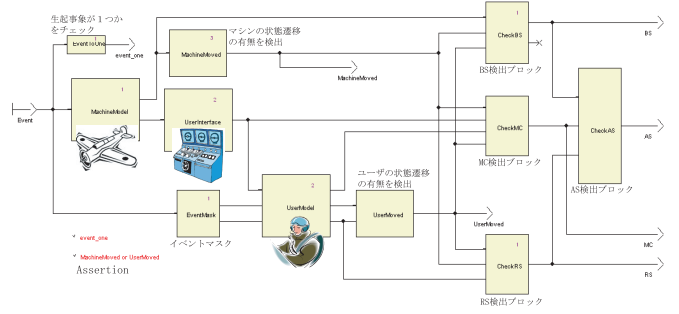


図1 SCADEを用いたAS検出モデル(シングルユーザの場合)

集合である。本論文では、ASからの遷移はないものとし、 $k$  回の合成で AS に遷移する状態については  $k+1$  回目の合成でもその結果を保持するものとして、その他の状態（全ての  $i = 1, \dots, n$  に対して  $I_i(x_m) = x_{u_i}$  が成り立つ状態の組  $(x_m; x_{u_1}, \dots, x_{u_n})$ ）からの遷移関数を以下のように定義する。また  $x_{c_k} \xrightarrow{\sigma} x'_{c_k}$  となる  $x'_{c_k}$  を  $x'_{c_k} = \{x'_m; x'_{u_1}, \dots, x'_{u_k}\}$  とする。

Case 1)  $\sigma \in \Sigma_{U_{k+1}}^{com}$  かつ、 $x_{u_{k+1}} \xrightarrow{\sigma} x'_{u_{k+1}}$  の場合、

1)-1  $-\delta_M(x_m, \sigma)!$  のとき、 $\delta_{C_{k+1}}((x_{c_k}, x_{u_{k+1}}), \sigma) = RS$ .

1)-2  $\delta_M(x_m, \sigma) = x'_m$  かつ、

1)-2-a  $I_{k+1}(x'_m) = x'_{u_{k+1}}$  かつ  $\forall i = 1, \dots, k$  に対して  $\delta_i(x_{u_i}, \sigma)!$  ならば、

$$\delta_{C_{k+1}}((x_{c_k}, x_{u_{k+1}}), \sigma) = (x'_{c_k}, x'_{u_{k+1}}).$$

1)-2-b  $I_{k+1}(x'_m) = x'_{u_{k+1}}$  かつ  $\exists i = 1, \dots, k$  に対して  $-\delta_i(x_{u_i}, \sigma)!$  ならば、

$$\delta_{C_{k+1}}((x_{c_k}, x_{u_{k+1}}), \sigma) = BS.$$

1)-2-c  $I_{k+1}(x'_m) \neq x'_{u_{k+1}}$  ならば、

$$\delta_{C_{k+1}}((x_{c_k}, x_{u_{k+1}}), \sigma) = MC.$$

Case 2)  $\sigma \in \Sigma_M \setminus \Sigma_{U_{k+1}}^{com}$  かつ、 $x_{c_k} \xrightarrow{\sigma} x'_{c_k}$  の場合、

2)-1  $I_{k+1}(x'_m) \notin \delta_{U_{k+1}}(x_{u_{k+1}}, \Pi_{k+1}(\sigma))$  ならば、

$$\delta_{C_{k+1}}((x_{c_k}, x_{u_{k+1}}), \sigma) = BS.$$

2)-2  $I_{k+1}(x'_m) \in \delta_{U_{k+1}}(x_{u_{k+1}}, \Pi_{k+1}(\sigma))$  ならば、

$$\delta_{C_{k+1}}((x_{c_k}, x_{u_{k+1}}), \sigma) = (x'_{c_k}, I_{k+1}(x'_m)).$$

[ASの有無の検証]

以下の式を満たすならば、マルチユーザな人間-機械系において AS は存在しない。

$$Reach(x_{c,0_n}) \cap \{MC, BS, RS\} = \emptyset. \quad (5)$$

ただし  $Reach(x_{c_n}) = \{x \in X_{C_n} \mid \exists s \in \Sigma_M^* \text{ s.t. } \delta_{C_n}(x_{c_n}, s)!\}$ .

## 4 結論

これまでの人間-機械系における AS を拡張し、マルチユーザな人間-機械系における AS 検出アルゴリズムを提案した。また本論文の有用性を確かめるために、SCADEを用いて AS 検出モデル(図1)を実装し、これをマルチユーザに拡張したが、その詳細については紙面の都合上省略する。

## 参考文献

- [1] Y.Ukawa et al, "Formal detection of three automation surprise in human-machine interaction", *IEICE Transactions on Fundamentals*, Vol. E87-A, No. 11, pp. 2878-2884, 2004.