

# LTLを用いたオートメーションサブライズの検出

学籍番号：90143066 潮 研究室 高橋 怜士

## 1 序論

人間-機械系の相互作用によって発生するオートメーションサブライズはヒューマンエラーの原因となる好ましくない状況である。機械はオートマトンで表されているとし、インタフェースは機械の状態とインタフェース表示を結びつける関数として表す。本報告では、人間はLTL(Linear-time Temporal Logic)をベースで表されるマニュアルに従って操作すると仮定し、オートメーションサブライズを検出するための手法を提案し、実装した。

## 2 オートメーションサブライズの検出アルゴリズム

マシンモデルは以下の決定的なオートマトン  $G_M$  で表されるとする。

$$G_M = (X_M, \Sigma_M, \Delta_M, x_{M0})$$

ここで、 $X_M$  はマシンモデルの状態の集合、 $\Sigma_M$  は事象の集合、 $\Delta_M \subseteq X_M \times \Sigma_M \times X_M$  は状態遷移関係であり、 $x_{M0} \in X_M$  はマシンモデルの初期状態である。また、 $\Sigma_M = \Sigma_M^o \cup \Sigma_M^u$  である。ここで、 $\Sigma_M^o$  はユーザによって引き起こされる事象、すなわちユーザコマンドである。また、 $\Sigma_M^u$  はユーザが直接観測できず、引き起こすこともできない事象、すなわち内部事象である。

インタフェースはマシンモデルの状態をインタフェース表示の集合の元  $x_I \in X_I$  に結びつける関数  $I_M : X_M \rightarrow X_I$  として定式化できる。

ユーザはマニュアルに従って機械を操作するとする。ここで、マニュアルは事前条件を表すインタフェース表示  $x_{man}^{init} \in X_I$  と LTL  $l_{man}$  の二つで成り立つとする。 $l_{man}$  は  $e_U \in \Sigma_M^o \cup \{emp\}$ 、 $x_{man} \subseteq X_I$  に対する二項関係  $(e_U, x_{man})$  を原子命題とする LTL である。この二項関係は、“ $e_U$  が起こったあと  $x_{man}$  というインタフェース表示のどれかになる” という状況に対応する。 $e_U = emp$  とは、ユーザがコマンドを入力しないことを意味する。

本報告ではマニュアルを以下の非決定的なオートマトンに変換することでユーザモデルを求める。

$$G_U = (X_U, \Sigma_U, \Delta_U, x_{U0})$$

ここで、 $X_U$  はユーザモデルの状態の集合、 $\Sigma_U$  は事象の集合、 $\Delta_U \subseteq X_U \times \Sigma_U \times X_U$  は状態遷移関係、 $x_{U0} \in X_U$  はユーザモデルの初期状態である。変換手法は以下になる。

- Gerth, Peled, Vardi, Wolper のアルゴリズムに沿って LTL を展開する。
- 展開されたデータと  $X_U$  を対応させる。
- 二項関係を展開し、 $\Sigma_U, \Delta_U, I_U : X_U \rightarrow 2^{X_I}$  を求める。ここで、 $I_U$  はユーザモデルの状態とインタフェース表示の集合を対応させる関数である。

以上のように定式化されたマシンモデルとユーザモデルを合成して検証することで、オートメーションサブライズと以下に述べるライブロックに陥る状況を検出することができる。

以下のマニュアルが与えられたときを考える。

$$x_{man}^{init} = A, l_{man} = ((a, \{C\})U(a, \{B\}))$$

このマニュアルは、“インタフェース表示 A のとき  $a$  と入力し続けられればインタフェース表示 B となる。ここで  $a$  を入力している

ときのインタフェース表示は C である”を示している。この時、目標となる状態 B に到達できないが、 $a$  を入力でき、かつその時のインタフェース表示が C であるとき、ライブロックが発生する。

例題

マシンモデルが図 1 で与えられているとする。ここで、 $\Sigma_M^o = \{b, r, a\}$ 、 $\Sigma_M^u = \{d, g\}$  である。また、マシンモデルとインタフェースの対応が図 2 で与えられているとする。ここで、図の上段が  $X_M$ 、下段が  $X_I$  である。

マニュアルを以下のように与えた場合について考える。

$$x_{man}^{init} = \text{HIGH1}$$

$$l_{man} = (r, \{\text{MEDIUM}\}) \wedge \mathbf{X}(r, \{\text{LOW2}\}) \wedge \mathbf{XX}(a, \{\text{HIGH1}\})$$

このマニュアルをオートマトンに変換すると図 3 となる。このときの合成モデルは図 4 になり、オートメーションサブライズが検出されていることが分かる。ここで破線は内部事象による遷移であり、太線で囲われた状態はオートメーションサブライズを表している。

## 3 結論

オートマトンで表されたマシンモデルに対して、LTL で表されるマニュアルを用いたユーザがオートメーションサブライズに陥るかどうかを検証する手法を提案した。また、提案手法を実装し、例題を解くことで提案手法が有効であることを示した。

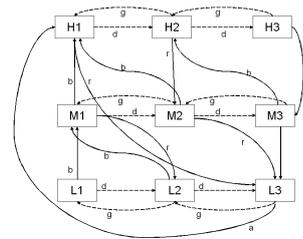


図 1 マシンモデル

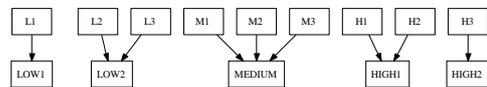


図 2 マシンモデルとインタフェース表示の対応

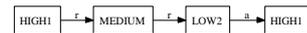


図 3 マニュアルから変換されたユーザモデル

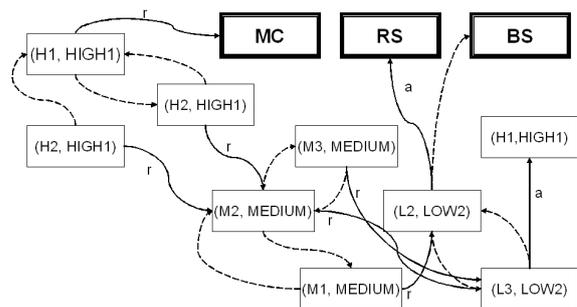


図 4 合成モデル