時間論理に基づく障害診断方式に関する一検討

1J－1

橋本 和夫　松本 一則　小花 貞夫
KDD 研究所

1. はじめに

診断方式については、モデルベース推論に基づく定式化[1],[2] がなされているが、これらは時間を陽に含まない論理であるため、このままでは、過去の事象に関する診断を行なうことができない。一方、状態の時間的変化や時間的制約を直接扱う公理系は時間論理と呼ばれ、これまでに、区間論理[3]・イベント論理[4]など、様々な提案されているが、時間論理を取り入れて診断を行なう論理系については報告されていない。

そこで、本論文では、状況の時間的変化に応じた診断が要求される監視・制御などへの応用を目的として、モデルベース推論に基づく診断を行なう Reiter の論理系を時間論理を取り入れて拡張した、新たな論理系を提案する。

2. モデルに基づく診断のための論理系 L

Reiter[1] は、モデルベース推論に基づく診断を、システムの正常動作の定義 (SD, System Description)、システム構成要素の集合 ($COMP$, Componet)、観測事象の集合 (OBS, Observation)、から論理矛盾を導出する推論過程として定式化した。

Reiter の論理系 (以下では L と称する) は、システム構成要素 ($c \in COMP$) の異常 (Abnormality) を、$AB(c)$ という述語で記述し、

$$SD \bigcup OBS \bigcup \{AB(c) | c \in \Delta\} \bigcup \{\neg AB(c) | c \in COMP - \Delta\} \quad (1)$$

が無矛盾 (consistent) となるような、システム構成要素の最小集合 $\Delta \subset COMP$ を障害箇所として推定する。

L は、ある時刻におけるスナップショットとしての $< SD, COMP, OBS >$ だけを記述しており、時間を陽に含まない述語論理である。

3. 履歴を持つ論理系 TL の提案

観測集合を蓄積するための記憶容量の節約と、観測情報の付加による再診断を可能とする柔軟性を両立させるため、ここでは、観測集合の状態差分だけを履歴として記録し、任意の時刻における状態成立は履歴からの推論によって求めることを前提とする。

"On Diagnostic Reasoning in Temporal Domain", Kazuo Hashimoto, Kazunori Matsumoto and Sadao Obana: Kokusai Denshin Denwa Co. Ltd.

ここでは、状態の概念しかない L に対して時間論理を付加して、新たな論理系 TL を構成するため、状態変化を陽に表すイベント命題と履歴、履歴からのシステム状態の計算方式、TL 上での診断を定義する。

3.1 用語の定義

ϕ, ψ を L の有意命題、t を時点とする時、TL の有意命題を表 1に示す。

Syntax		意味
$< \phi, t >$	:	時刻 t で状態 ϕ が成立
$< become(\phi), t >$	:	時刻 t で、状態 $\neg\phi$ から状態 ϕ への状態遷移が生起
$< \neg\phi, t >$	:	時刻 t で状態 $\neg\phi$ が成立
$< \phi \wedge \psi, t >$	$\equiv$	$[< \phi, t > \wedge < \psi, t >]$
$< \phi \vee \psi, t >$	$\equiv$	$[< \phi, t > \vee < \psi, t >]$
$< \phi \rightarrow \psi, t >$	$\equiv$	$[< \neg\phi \vee \psi, t >]$

表 1: TL の有意命題と意味

3.2 イベントの定義

述語 $become(\phi, t)$ の解釈を (2) 式のように定義し、また、システムが観測可能なイベントのクラス E_i は可算で、すべてのイベントクラスが状態遷移として、(3) 式のように定義する。

$$\begin{aligned}\forall t_1, \phi[< become(\phi), t_1 > \equiv \\ \exists t_2 \forall t[(t_2 < t < t_1) \wedge < \neg\phi, t >] \\ \wedge \exists t_3 \forall t'[(t_1 < t' < t_3) \wedge < \phi, t' >]]\end{aligned} \quad (2)$$

$$\forall i, \exists N_j, N_k[E_i \equiv \bigwedge_{1 \le j \le N_j} become(\phi_{ij}) \wedge \bigwedge_{1 \le k \le N_k} become(\neg\psi_{ik})] \quad (3)$$

3.3 履歴の定義

時刻 t_0 における観測集合が、L の有意命題の集合 OBS_0 とするとき、時刻 t_0 における履歴 $LOG(t_0)$ を、(4) 式で定義する。

$$LOG(t_0) \equiv \bigcup_{\phi \in OBS_0} < \phi, t_0 > \quad (4)$$

イベント E_i が時刻 t_i で生起するとき、t_0 から t で生起するイベント系列 E_{Seq} を、$\{E_i | 1 \le i \le N\}$ として、任意の時刻 t における履歴 $LOG(t)$ を (5) 式で定義する。また (5) 式の帰結として、LOG の内容は時間的に単調増加することが (6) 式で表される。

$$LOG(t) \equiv LOG(t_0) \cup \bigcup_{\substack{E_i \in E_{Seq} \\ t_0 \le t_{i-1} \le t_i \le t_N \le t}} < E_i, t_i > \quad (5)$$

$$\forall t_1, t_2 [(t_1 \le t_2) \rightarrow (LOG(t_1) \subseteq LOG(t_2))] \quad (6)$$

3.4 履歴からのシステム状態の計算方式

時刻 t_{now} を現在として、任意の過去の時刻 t ($t < t_{now}$) の状態 $< \phi, t >$ が TL の命題として存在しない場合、(7) 式に示すデフォルト規則によって状態 $< \phi, t >$ の推定を行なう。

$$\begin{aligned} &\forall t, \exists t_1, t_0 [\\ &\quad [(t_0 \le t_1 \le t) \wedge (< \phi, t_1 > \vee < become(\phi), t_1 >)] \\ &\quad \wedge \forall t' [(t_1 \le t' < t) \wedge \neg < become(\neg\phi), t' >]] \\ &\quad \rightarrow < \phi, t > \end{aligned} \quad (7)$$

このことから、時刻 $t(t_{N-1} < t < t_N)$ における観測集合 OBS_t は、t_0 から t で生起するイベント系列を $E_{Seq} = \{E_i | 1 \le i \le N-1\}$ として、イベント系列 E_{Seq} が指定する順序に従い、(4) 式を初期状態として、E_i が引き起こす状態遷移を (2), (3) 式により求めることができる。

(7) 式を用いて、$LOG(t_{now})$ から $< \phi, t >$ が導出できることを、$LOG(t_{now}) \models < \phi, t >$ と表す。

3.5 TL 上での診断

システムの正常動作の定義、システム構成要素の集合、観測事象の集合について、時刻 t_0 での初期状態として、$SD_0, COMP_0, OBS_0$、任意の時刻 t で、$SD_t, COMP_t, OBS_t$ と表すこととする。ここでは、簡単のため、時刻 t_0 で与えられた $SD_0, COMP_0$ が時間的に変化しないものと仮定して、(8), (9) 式を得る。

また、(10) 式の OBS_t は、**3.4** に述べた状態計算により得るものとする。

$$\forall t [SD_t \equiv \bigcup_{\psi \in SD_0} < \psi, t_0 >)] \quad (8)$$

$$\forall t [COMP_t \equiv \bigcup_{obj \in COMP_0} < obj, t_0 >)] \quad (9)$$

$$LOG(t_{now}) \models OBS_t \ (t < t_{now}) \quad (10)$$

このとき、(1) 式の L 上での Reiter の診断に対応して、TL 上での 時刻 t における診断は、

$$SD_t \bigcup OBS_t \bigcup_{c \in \Delta_t} < AB(c), t > \bigcup_{c \in COMP_t - \Delta_t} < \neg AB(c), t > \quad (11)$$

が無矛盾 (consistent) となるような、システム構成要素の最小集合 $\Delta_t \subset COMP_t$ を障害箇所として推定する。

4. 考察

(11) 式に示す TL 上での診断は、(1) 式に示す L 上での診断と比較して、それぞれの論理系が扱う基本命題のシンタックスの違いを除けば、手続き的に等価であり、これにより任意の時刻 t において、L と同等の診断能力が保存されることがわかる。

(5) 式で定義した、任意の時刻 t における履歴 $LOG(t)$ は、t におけるシステムの最小知識 (minimal knowledge) であり、(10) 式で得られる OBS_t は、t におけるシステムの信念 (belief) に対応する。TL の知識と信念は単一のエージェントを対象としたものであるが、これにエージェントもインデックスとして加えることにより、時刻 t におけるエージェント α の知識と信念に拡張することができる。

このような論理系は、個々のエージェントの知識や信念の状態を直接扱うことができるため、網管理システム等のマルチエージェントシステムにおける、意思決定やタスクの協調処理の最適化への応用が考えられる。

5. まとめ

Reiter の診断のための論理系 L に、履歴を用いて時間推論を行なうデフォルト規則を付加することにより、任意の時刻での診断を行なう論理系 TL を構成する方法を示し、L と同等の診断能力が TL 上での保存されることを示した。

TL は、個々のエージェントの知識や信念の状態を直接扱うことができるため、網管理システム等のマルチエージェントシステムにおける、意思決定やタスクの協調処理の最適化への応用が考えられる。

謝辞 日頃ご指導いただく、KDD 研究所浦野所長、眞家次長に感謝いたします。

参考文献

[1] Reiter, R.: "A Theory of Diagnosis from First Principles" Artificial intelligence Vol.32, pp 57-95, 1987.

[2] De Kleer, J., A. K. Mackworth, Reiter, R.: "Characterizing diagnoses and systems" Artificial intelligence Vol.56, pp 197-222, 1992.

[3] Allen, J.F.: "Towards a General Theory of Action and Time" Artificial Intelligence 23, 1984

[4] Kowalski, R. A. and Sergot, M. J.: "A logic-based calculus of events" New Generation of Computing Vol.4 pp 67-95, 1986