

氏名 (本籍)	はし もと かず お 橋 本 和 夫 (福 島 県)
学位の種類	博 士 (情報科学)
学位記番号	情 博 第 175 号
学位授与年月日	平成13年3月26日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科, 専攻	東北大学大学院情報科学研究科 (博士課程) 情報基礎科学専攻
学位論文題目	ネットワークの障害診断方式の高度化に関する研究
論文審査委員	(主 査) 東北大学教授 白鳥 則郎 東北大学教授 牧野 正三 東北大学教授 阿曾 弘具 東北大学助教授 木下 哲男 (工学研究科)

論文内容要旨

1. 序論

従来の診断技術は、観測対象全体が可観測であること、観測対象が同時に観測できること、観測における時間遅れを考慮しないこと、など理想的な条件のもとで定式化されている。このため、これらの前提条件が成り立たないネットワークの障害診断においては、部分観測性、非同時観測性、観測における時間遅れの存在などの前提条件のもとで動作する診断方法が必要となる。

本論文では、このような診断方法を確立するという最終目標を段階的に達成するため、

- (1) 診断論理の基盤となる知識表現体系の確立
- (2) 不規則な観測時系列の確率モデルとこれを用いた障害診断方式の確立
- (3) 多重障害に対する診断方法の確立

の研究目的を設定し、それぞれの問題点に対する解決方法を示す。

2. 時間に関する知識表現

第2章では、ネットワークの障害診断知識の時間的制約を記述するために、複合イベントの時間的性質をアスペクトとして記述する必要があることを示し、アスペクトを持つイベントの論理体系 L_t を構成する。

従来の時間論理^{2) 3)}では、時区間および時点で成立する動作・状態をアスペクトの基本概念として分類するが、基本概念から構成可能なアスペクト演算を定義しようとする、基本概念の定義が不安定になる場合があり、分類方法として合意が得られていなかった。

本章では、アスペクト遷移と不完了パラドックスの問題を解消することにより、これまでの区間論理に基づいて定義された、State, Activity, Achievement などのアスペクトの概念を見直し、アスペクトの意味を、命題と時点のペア $\langle \phi, t \rangle$ に対する真偽値割当に基づいて新たに公理化した。提案した論理体系 L_t^g は以下の特徴を持つ。

(1) 論理性の保証

提案した論理体系 L_t は、形式意味論に基づいて、解釈のモデル、統語規則および意味規則により定義されており、論理性が保証されている。

(2) 基本アスペクトの定義

論理体系 L_t では、State, Activity, Achievement のアスペクトの時間的性質を、命題と時点のペア $\langle \phi, t \rangle$ を用いて公理化した。 $\langle \phi, t \rangle$ は命題 ϕ が時点 t で真であることだけしか意味しない概念であり、命題 ϕ のアスペクトには依存しない。

(3) 時間論理のパズルの解消

従来論理矛盾として扱われていた、アスペクト遷移と不完了パラドックスの問題を解決することに成功した。

論理体系 L_t は、障害診断知識を直接記述するための知識ベースシステムではないが、第3章以降で述べる障害診断知識の時間的制約を定義する理論的基盤となっている。

3. 確率的時間論理にもとづくフォールトモデルを用いた診断方法

第2章で考慮した時間情報を扱う論理体系は、決定論的な因果律を記述するものである。また、従来提案されていた診断論理⁵⁾も、そのほとんどが決定論的な枠組みである。しかしネットワークの障害診断^{6) 7) 8)}などの問題では、アラームの伝播や検出に遅延があり、さらにこれらが一定しないため、決定論的な論理体系で診断方式を開発するには無理がある。

そこで、第3章では、ネットワーク構成については正確な情報が得られるものとして、アラームの観測遅延の時間情報を確率的に扱うことで、新たな障害診断方法¹²⁾を考案した。ここでの成果は以下のとおりである。

- (1) 観測されたアラーム時系列の不規則性をモデル化するため、直接観測ができないアラーム検出遅延とアラーム伝播遅延の二種類の確率変数を導入し、これを隠れパラメータとして観測されるアラーム時系列を説明する Latent Variable Model として、PTFM(Probabilistic Temporal Fault Model) を定義した。
- (2) PTFM に基づいて、観測されたアラーム時系列に対して、各障害仮説の赤池情報量基準¹⁰⁾ (AIC, Akaike Information Criterion) を定義した。また、任意の時刻 t で AIC が最小となる障害仮説を出力する診断アルゴリズム^{11) 12)}を開発した。

単独障害に対する診断性能の評価により「提案方法はアラームの観測順序が不安定となる領域で、従来手法に比較して、診断保留時間を大幅に削減するという利点を持つが、アラームの観測順序が安定な領域では、従来手法のほうが適している」という結果を得た。

4. 多重障害の診断方法

第3章で提案したモデルベース診断の手法を、多重障害の診断に適用するための検討を行った。多重障害の診断は、観測アラーム集合が異なる仮説を識別する場合と観測アラーム集合が同じ仮説を識別する場合とでは、解くべき問題のクラスが全く異なり、後者が圧倒的に難しい。

第4章では、シミュレーションにより、観測アラーム集合が異なる仮説を識別する問題については、第3章で提案した診断方法で、一意に結論を出すことができること、しかし後者については、AIC 最小化の基準だけでは、仮説を十分に絞り切ることができないことを確認¹³⁾した。

次に、後者の問題を解くため、ネットワークを構成するリンクについての故障確率を用いて各障害仮説の発生確率を定義し、ベイズの定理を用いてアラーム観測の条件のもとの障害仮説の確率を、第3章で定義した AIC と障害仮説の発生確率の積として表し、より一般的な AIC に基づく診断方式を提案した。

5. まとめ

ネットワーク障害におけるアラームの伝播では、障害発生後のアラームの観測時間が様々な要因で変動するため、アラームの観測順序も一定ではない。このため決定論的な因果律では、現象を記述できず診断論理も構成できない。これを緩和する一つのやり方が確率モデルの導入であると考え、確率モデルを用いてアラーム観測時系列から障害診断を行う、新たなモデルベース診断方法を確立した。これらの成果は、実際のネットワークの障害診断に広く適用可能である。

文献

- 1) Charniak, E., McDermott, D.: ``Introduction to Artificial Intelligence'' pp 453-484, Addison-Wesley Publishing Company, 1985
- 2) McDermott, D.: ``A Temporal Logic for Reasoning About Processes and Plans'' Cognitive Science 6, 1982
- 3) Allen, J.F.: ``Towards a General Theory of Action and Time'' Artificial Intelligence 23, 1984
- 4) Hashimoto K., Asami T., Yamamoto S.: ``A Study of Aspect Calculus'' IEICE Trans Fundam Electron Commun Comput Sci, VOL.E75-A, NO.3 PAGE.436 - 450 1992
- 5) Reiter, R.: ``A Theory of Diagnosis from First Principles'' Artificial intelligence

Vol.32, pp 57-95, 1987.

- 6) G. Jacobson and M. D. Weissman: ``Alarm Correlation'' IEEE Network, pp 52-59, Nov 1993
- 7) S. Brugnoli, G. Bruno, R. Manione, E. Montariolo, E. Paschetta and L. Sisto: ``An Expert System for Real Time Fault Diagnosis of the Italian Telecommunications Network'' Integrated Network Management, III(C-12), IFIP Transactions, pp 617-628, 1993
- 8) S. A. Yemini, S. Klinger, E. Mozes, Y. Yemini and D. Ohsie: ``High Speed and Robust Event Correlation'' IEEE Communications Magazine, pp 82-90, May 1996
- 9) Dean, T., Boddy, M.: ``An analysis of time-dependent planning'' National Conf. on Artificial Intelligence(AAAI-88), pp 49-54, 1988
- 10) Akaike H.: ``Information theory and an extension of the maximum likelihood principle'' 2nd International Symposium on Information Theory, Akademiai Kiado, Budapest, pp 267-281, 1973
- 11) K. Hashimoto, K. Matsumoto, N. Shiratori: ``A hybrid algorithm of plausible hypothesis selection'' IEEE System, Man and Cybernetics, pp720-725, Oct. 12-15, 1999, Tokyo Japan
- 12) 橋本, 松本, 白鳥: ``確率的時間論理に基づくフォールトモデルを用いた診断方法'' 電子情報通信学会論文誌 D-1, Vol. J83-D-I NO.1, pp 215-224, 2000 .
- 13) K. Hashimoto, K. Matsumoto, N. Shiratori: ``Probabilistic modeling of alarm observation delay in network diagnosis'' The Sixth Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence (PRICAI 2000), Melbourne, Australia pp734-744, PRICAI 2000 Topics in Artificial Intelligence

論文審査の結果の要旨

インターネットを用いた電子商取引や情報流通などのサービスを安定に提供するために、早期にネットワーク障害を検出する診断技術が重要となっている。しかし従来の診断技術では、部分観測性、非同時観測性、観測における時間遅れの存在など、ネットワークの障害診断における前提条件が考慮されておらず、現実の問題に適用したときの診断性能が不十分であった。そこで著者は、これらの問題を解決するため、ネットワークの障害診断方式の高度化に関する詳細な研究を行った。本論文はその成果をまとめたものであり、全編5章からなる。

第1章は序論である。

第2章では、ネットワークの障害診断知識が、アラームなどの基本イベントや、障害によって生じる複数のアラームを含む複合イベントを用いて効率的に記述できることを示し、このための論理体系を提案している。提案する論理体系は、イベントの因果関係を表す公理系をなしており、障害診断方式の理論的基盤を与えている。これは、障害診断のための知識表現に関する興味深い知見である。

第3章では、アラームの観測遅延時間の不規則性を表現する確率モデルを提案している。この確率モデルから得られる障害仮説毎のアラーム観測時間に注目し、その確率密度関数をもとに、実際に観測されたアラーム時系列の尤度を計算し、AIC(赤池情報量基準)を評価関数として最適な障害仮説を選択する診断方式を提案している。さらにシミュレーションにより提案方式が実用可能な高い診断精度を持つことを確認している。この結果は、本診断方式の有効性を示す重要な成果である。

第4章では、診断が困難な多重障害に対する新しい診断方式を提案している。具体的には、障害発生確率も考慮したより一般的なAICに基づく診断方式である。シミュレーションにより、提案手法が高い診断精度を持つことを確認している。本手法は実用上重要な成果である。

第5章は結論である。

以上要するに本論文は、ネットワークの障害診断問題において、観測情報の時間的特徴を用いて診断を行う方式に関する研究を行い、確率モデルに基づく診断方式を考案し、ネットワークの診断方式に関する有用な知見を与えたものであり、情報ネットワーク工学と情報基礎科学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士(情報科学)の学位論文として合格と認める。