

先行予測に基づく永続的反応システムの実現と応用

Implementation and Applications of Persistently Reactive Systems Based on Anticipatory Reasoning

プロジェクト代表者： 程 京徳 (大学院理工学研究科・教授)

Principal Investigator: Jingde Cheng (Professor, Graduate School of Sci. and Eng.)

1. 研究背景および研究目的

反応的システムとは、外部環境からの刺激（要求）に反応し、適切なタイミングで要求に対して応答することを繰り返す過程を維持するシステムのことである。電力・通信制御システム、航空・鉄道管制システム、銀行・証券取引システム、ウェブサービスシステムなどの反応的システムは、情報化社会における国民生活の安全・安心の確保にとって益々重要になっている。国民生活の安全・安心の確保の観点から見れば、災害や攻撃の前兆を検出し被害を未然に防ぐことができる、なおかつ、故障が生じるときや保守を行うときでさえ止まらずにいつでも動作し続ける反応的システムが極めて望ましい。しかし、現在、このようなシステムはまだ実現されていない。

以上の背景の下で、筆者は、システム内部状態と外部環境変化を計測し監視しながら災害や攻撃の前兆を検出し然るべき対処を先行的に行うことができる、なおかつ、故障が生じるときや保守を行うときでさえ止まらずに計算・情報サービスをいつでも提供し続ける次世代高信頼性高安全性反応的システムとして「先行予測に基づく永続的反応システム」を提案した。本研究では、先行予測に基づく永続的反応システムの実現技術を明らかにすると共にその有効性と有用性を実証することを目的としている。

2. 今年度の研究成果

今年度において以下の研究項目について研究と開発を行い、成果を挙げた。

(1) 先行予測推論および行動推論の論理基礎（公表論文：5, 7, 11, 12, 15, 17, 19, 21）

実世界における時間に関連する物事とそれらの間にありえる様々な関係の抽象化・モデル化や、「患を未然に防ぐ」ことにとって不可欠な先行予測推論のために、形式的な表現手段および推論の妥当性を基礎付ける論理基礎は不可欠である。本研究では、時間に関する様々な性質に対応する時間様相演算子とそれらに関する時間古典論理の様々な公理を、強相関論理に導入し、時間に関する様相命題をおよびそれらの間の相関含意関係を表現し推論すること、即ち、時間的・相関的推論を基礎付ける時間相関論理の様々な体系を構築し先行予測推論の論理基礎を確立した。

先行予測に基づく反応的システムにとって、先行予測推論により、発生しうる事象を推測した後、どんなしかるべき行動をどのように取るべきかを決定しなければいけない。本研究では、許可、禁止、勧誘に関する様々な性質に対応する規範様相演算子とそれらに関する規範古典論理の様々な公理を、時間相関論理に導入し、時間順序を考慮した行動推論の妥当性を基礎付けるための時間規範相関論理を提案した。

(2) 時間相関論理に基づいた汎用先行推論エンジンの開発（公表論文：9, 20）

信頼性と安全性の側面から見れば、先行予測に基づく永続的反応システムの狙いは、「患を未然に防ぐ」ことである。その役目を果たす中心的な構成部分は、先行予測推論のための前向き推論エンジンである。先行予測推論は現実世界の問題について十分事前に推論結果を導き出さなければ、「先行予測」の意味からみれば、全く役に立たない。従って、先行予測に基づく永続的反応システムの実現と応用に向けて最も重要な課題は、実用に耐えられる高速前向き推論エンジンの開発である。本研究では、筆者の研究室が開発した汎用前向き帰結演算システムEnCalを改造し、時間相関論理に基づいた汎用先行推論エンジンを開発し、その原理と有効性の検証を行った。

(3) 先行予測に基づく永続的反応システムの実現技術 (公表論文 : 2, 3, 6, 10, 14, 16, 18)

先行予測推論エンジンや自己計測監視機構やデータベース管理システムや指令・データ基地局などの構成成分をソフトシステムバスを用いて結合するアーキテクチャーを設計し、超高層ビルにおける火災発生と蔓延のシミュレーションプログラムを開発し、超高層ビルのエレベータ制御システムを先行予測に基づく永続的反応システムとして開発しその有効性の実証を行った。これは先行予測に基づく永続的反応システムの世界最初のプロトタイプである。

先行予測に基づく永続的反応システムの状態を監視するために、反応的システムの反応可能性という新しい概念とその計測技法を提案した。

先行予測に基づく永続的反応システムを実現するための様々な要素技術である、デッドロック検出技術、動的再構成技術、ソフトシステムバス技術を研究し開発した。

(4) 先行予測に基づく永続的反応システムの応用 (公表論文 : 1, 4, 8, 13)

先行予測に基づく永続的反応システムは、情報化社会の基盤システムとして、様々な分野において必要不可欠であることを応用事例で示した。

3. 公表論文

1. Jingde Cheng, "Persistent Computing Systems as Continuously Available, Reliable, and Secure Systems," Proc. 1st International Conference on Availability, Reliability and Security, pp. 631-638, Vienna, Austria, IEEE Computer Society, April 2006.
2. Jingde Cheng, "Run-Time Detection of Tasking Deadlocks in Real-Time Systems with the Ada 95 Annex of Real-Time Systems," in L. M. Pinho and M. G. Harbour (Eds.), "Reliable Software Technologies - Ada-Europe 2006, 11th International Conference on Reliable Software Technologies, Porto, Portugal, June 5-9, 2006, Proceedings," Lecture Notes in Computer Science, Vol. 4006, pp. 167-178, Springer-Verlag, June 2006.
3. Feng Shang, Shinsuke Nara, Takashi Omi, Yuichi Goto, and Jingde Cheng, "A Prototype Implementation of an Anticipatory Reasoning-Reacting System," in D. M. Dubois (Ed.), "Computing Anticipatory Systems," AIP Conference Proceedings, Vol. 839, pp. 401-414, American Institute of Physics, June 2006.
4. Jingde Cheng, Yuichi Goto, Masami Someya, and Takumi Endo, "Persistent Computing Systems as an Infrastructure for Pervasive Services," Proc. 1st International Symposium on Pervasive Computing and Applications, pp. 104-109, Urumchi, China, IEEE, August 2006.
5. Jingde Cheng, "Temporal Deontic Relevant Logic as the Logical Basis for Decision Making Based on Anticipatory Reasoning," Proc. 2006 IEEE Annual International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, pp. 1036-1041, Taipei, Taiwan, IEEE Systems, Man, and Cybernetics Society, October 2006.
6. Mohammad Reza Selim, Takumi Endo, Yuichi Goto, and Jingde Cheng, "A Comparative Study between Soft System Bus and Traditional Middlewares," in R. Meersman, Z. Tari, P. Herrero et al. (Eds.), "On the Move to Meaningful Internet Systems and Ubiquitous Computing 2006: OTM 2006

Workshops, Montpellier, France, October 30 - November 3, 2006, Proceedings,” Lecture Notes in Computer Science, Vol. 4278, pp. 1264-1273, Springer-Verlag, October 2006.

7. 程 京徳, “先行推論による予測とその論理基礎” (招待解説論文), 日本信頼性学会誌「信頼性」, Vol. 28, No. 7, pp. 451-460, 2006年11月.
8. Jingde Cheng and Feng Shang, “Persistent Computing Systems as an Infrastructure of Computing Anticipatory Systems,” International Journal of Computing Anticipatory Systems, Vol. 18, pp. 61-74, CHAOS, December 2006.
9. Shinsuke Nara, Feng Shang, Takashi Omi, Yuichi Goto, and Jingde Cheng, “An Anticipatory Reasoning Engine for Anticipatory Reasoning-Reacting Systems,” International Journal of Computing Anticipatory Systems, Vol. 18, pp. 225-234, CHAOS, December 2006.
10. 染谷 雅美, Mohammad Reza Selim, 後藤 祐一, 程 京徳, “動的再構成の観点からのソフトウェアシステムバスとエンタープライズサービスバスの比較,” 情報処理学会ソフトウェア工学研究会 (SIGSE) 2007年ウィンターワークショップ (WWS '07) 論文集, 情報処理学会シンポジウムシリーズ Vol. 2007, No. 2, pp. 77-78, 那覇, 日本, 情報処理学会, 2007年1月.
11. Ying Gao and Jingde Cheng, “Semantics for a Basic Relevant Logic with Intensional Conjunction and Disjunction,” Electronic Notes in Theoretical Computer Science, "Proceedings of the Workshop on Logic, Model and Computer Science (LMCS 2006), Camerino, Italy, 20-22 April 2006," Vol. 169, pp. 61-71, Elsevier B.V., March 2007.
12. Yuichi Goto and Jingde Cheng, “A Quantitative Analysis of Implicational Paradoxes in Classical Mathematical Logic,” Electronic Notes in Theoretical Computer Science, "Proceedings of the Workshop on Logic, Model and Computer Science (LMCS 2006), Camerino, Italy, 20-22 April 2006," Vol. 169, pp. 87-97, Elsevier B.V., March 2007.
13. Jingde Cheng, “Persistent Computing Systems Based on Soft System Buses as an Infrastructure of Ubiquitous Computing and Intelligence” (**Invited Paper**), Journal of Ubiquitous Computing and Intelligence, Vol. 1, No. 1, pp. 35-41, American Scientific Publishers, April 2007.
14. Mohammad Reza Selim, Takumi Endo, Yuichi Goto, and Jingde Cheng, “Distributed Hash Table Based Design of Soft System Buses,” Proc. 2nd International Conference on Scalable Information Systems, Suzhou, China, ACM Press, June 2007.
15. Ying Gao and Jingde Cheng, “Operational Semantics for Positive Relevant Logics without Distribution,” in S. B. Cooper, B. Loewe, A. Sorbi (Eds.), “Computation and Logic in the Real World: Third Conference on Computability in Europe, CiE 2007, Siena, Italy, June 2007, Proceedings,” Vol. 4497, pp. 325-335, Springer-Verlag, June 2007.
16. Takumi Endo, Yuichi Goto, and Jingde Cheng, “Measuring Reactability of Persistent Computing Systems,” in “Software Composition: 6th International Symposium, SC 2007, Braga, Portugal, March 24-25, 2007, Revised Papers,” Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag, to appear, 2007 .
17. Jingde Cheng, Yuichi Goto, and Natsumi Kitajima, “Anticipatory Reasoning about Mobile Objects in Anticipatory Reasoning-Reacting Systems,” 8th International Conference on Computing Anticipatory Systems (CASYS '07), Liege, Belgium, CHAOS, to appear, August 2007.
18. Yuichi Goto, Takumi Endo, and Jingde Cheng, “Continuous Reactability of Persistent Computing Systems,” 8th International Conference on Computing Anticipatory Systems (CASYS '07), Liege, Belgium, CHAOS, to appear, August 2007.
19. Natsumi Kitajima, Shisuke Nara, Yuichi Goto, and Jingde Cheng, “A Deontic Relevant Logic Approach to Reasoning about Actions in Computing Anticipatory Systems,” 8th International Conference on Computing Anticipatory Systems (CASYS '07), Liege, Belgium, CHAOS, to appear, August 2007.
20. Jingde Cheng, Shinsuke Nara, and Yuichi Goto, “FreeEnCal: A Forward Reasoning Engine with

General-Purpose,” in “Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems, 11th International Conference, KES 2007, Vietri sul Mare, Italy, 12-14 September, 2007, Proceedings,” Lecture Notes in Artificial Intelligence, Springer-Verlag, to appear, September 2007.

21. Ying Gao and Jingde Cheng, “Semantics for a Basic Relevant Logic with Intensional Conjunction and Disjunction (and some of its Extensions),” Mathematical Structures in Computer Science, Vol. 17, Cambridge University Press, to appear, 2007.

4. 獲得した外部資金

- (1) 日本学術振興会科学研究費補助金 基盤研究 (B) (平成18年度－平成21年度、研究代表者：程 京徳) : 7, 020千円
- (2) 財団法人テレコム先端技術研究支援センター研究助成 (平成18年度－平成20年度、研究代表者：程 京徳) : 3, 000千円