

先行推論に基づく永続的反応システムの実現と応用事例研究

プロジェクト代表者： 程 京徳（大学院理工学研究科・教授）

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、本研究プロジェクト代表者は、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을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. 研究の進め方および研究成果

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) 先行予測推論の論理基礎（公表論文：3, 4, 11, 13, 21, 22）

「患を未然に防ぐ」ことにとって不可欠な先行予測推論を行うために、実世界における時間および空間に関連する物事とそれらの間にありえる様々な関係を形式的に表現する手段およびそれらについて推論すること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、時間および空間に関する様々な性質に対応する時間様相演算子、基本述語とそれらに関する様々な公理を、強相関論理に導入し、時間および空間に関する様相命題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、時空間的・相関的推論を基礎付ける時空間相関論理の様々な体系を構築し、実世界における移動対象の時空間性質について先行予測推論を行うための論理基礎を確立した。

(2) 汎用前向き推論エンジンFreeEnCalの開発（公表論文：7, 15, 16）

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、前向き推論エンジンの高速化と汎用化である。本研究では、本研究プロジェクト代表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、様々な形式体系として表現される論理体系を取り扱

える表現言語と推論規則処理アルゴリズム、前向き推論における重複検査の高速アルゴリズムをそれぞれ提案し、それらを実現する汎用先行推論エンジンFreeEnCalを開発し、その有効性の検証を行った。

(3) 永続的反応システムおよびソフトシステムバスの実現技術 (公表論文: 2, 5, 8, 9, 14, 18, 19, 20, 24)

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。

永続的反応システムを実現する基盤技術であるソフトシステムバスを P2P ネットワークとして実現する技法を提案し、プロトタイプの開発、実験、評価を行い、その実現可能性と有効性を示した。

永続的反応システムの動的再構成に関する要求分析と定義を行い、それらの要求を満たす動的再構成技法を提案した。

永続的反応システムのテストとデバッグにおける新しい技術課題を洗い出し、それらの解決法を示した。

(4) 先行予測に基づく永続的反応システムの応用事例 (公表論文: 1, 6, 10, 12, 17, 23)

先行予測に基づく永続的反応システムの応用事例として、航空管制システム、ユビキタスアンケートシステム、ビジネス知的システム、金融システムなどの事例研究を行っている。

3. 公表論文

1. 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.
2. Mohammad Reza Selim, Takumi Endo, Yuichi Goto, and Jingde Cheng, "Distributed Hash Table Based Design of Soft System Buses," Proceedings of the 2nd International Conference on Scalable Information Systems, ACM International Conference Proceeding Series, Vol. 304, Suzhou, China, ACM Press, June 2007.
3. 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.
4. Jingde Cheng, Yuichi Goto, and Natsumi Kitajima, "Anticipatory Reasoning about Mobile Objects in Anticipatory Reasoning-Reacting Systems," Abstract Book of the Eighth International Conference on Computing Anticipatory Systems, Symposium 4, p. 13, Liege, Belgium, CHAOS, August 2007. (**Best Paper Award**)
5. Yuichi Goto, Takumi Endo, and Jingde Cheng, "Continuous Reactability of Persistent Computing Systems," Abstract Book of the Eighth International Conference on Computing Anticipatory Systems, Symposium 4, p. 11, Liege, Belgium, CHAOS, August 2007.
6. Natsumi Kitajima, Shinsuke Nara, Yuichi Goto, and Jingde Cheng, "A Deontic Relevant Logic Approach to Reasoning about Actions in Computing Anticipatory Systems," Abstract Book of the Eighth International Conference on Computing Anticipatory Systems, Symposium 2, p. 12, Liege, Belgium, CHAOS, August 2007.
7. Jingde Cheng, Shinsuke Nara, and Yuichi Goto, "FreeEnCal: A Forward Reasoning Engine with General-Purpose," in B. Apolloni, R. J. Howlett, and L. C. Jain (Eds.), "Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems, 11th International Conference, KES 2007, XVII Italian Workshop on Neural Networks, Vietri sul Mare, Italy, September 12-14, 2007, Proceedings,

- Part II,” Lecture Notes in Artificial Intelligence, Vol. 4693, pp. 444-452, Springer-Verlag, September 2007.
8. Mohammad Reza Selim, Yuichi Goto, and Jingde Cheng, “A Replication Oriented Approach to Event Based Middleware Over Structured Peer to Peer Networks,” Proceedings of the 5th International Workshop on Middleware for Pervasive and Ad-Hoc Computing (A Workshop of ACM/IFIP/USENIX 8th International Middleware Conference), pp. 61-66, Newport Beach, USA, ACM Press, November 2007.
 9. Takumi Endo, Yuichi Goto, and Jingde Cheng, “Measuring Reactability of Persistent Computing Systems,” in M. Lumpe and W. Vanderperren (Eds.), “Software Composition: 6th International Symposium, SC 2007, Braga, Portugal, March 24-25, 2007, Revised Selected Papers,” Lecture Notes in Computer Science, Vol. 4829, pp. 144-151, Springer-Verlag, December 2007.
 10. Jingde Cheng, Yuichi Goto, Masato Koide, Keigo Nagahama, Masami Someya, Yusuke Utsumi, and Ayaka Shionoiri, “ENQUETE-BAISE: A General-Purpose E-Questionnaire Server for Ubiquitous Questionnaire,” Proceedings of the 2nd IEEE Asia-Pacific Services Computing Conference, pp. 187-194, Tsukuba, Japan, IEEE Computer Society Press, December 2007. (**Best Paper Award**)
 11. 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. 18, No. 1, pp 145-164, Cambridge University Press, February 2008.
 12. Natsumi Kitajima, Yuichi Goto, and Jingde Cheng, “Fast Qualitative Reasoning about Actions for Computing Anticipatory Systems,” Proceedings of the 3rd International Conference on Availability, Reliability and Security, pp. 171-178, Barcelona, Spain, IEEE Computer Society Press, March 2008.
 13. Jingde Cheng, “Qualitative Spatio-temporal Reasoning about Movement of Mobile Agents/Objects,” Proceedings of the 7th International Conference on Machine Learning and Cybernetics, pp. 3341-3346, Kunming, China, The IEEE Systems, Man, and Cybernetics Society, July 2008.
 14. Mohammad Reza Selim, Yuichi Goto, and Jingde Cheng, “Ensuring Reliability and Availability of Soft System Bus,” Proceedings of the 2nd IEEE International Conference on Secure System Integration and Reliability Improvement, pp. 52-59, The IEEE Reliability Society and The IEEE Systems, Man, and Cybernetics Society, Yokohama, Japan, July 2008.
 15. Takahiro Koh, Yuichi Goto, and Jingde Cheng, “A Fast Duplication Checking Algorithm for Forward Reasoning Engines,” in I. Lovrek, R. J. Howlett, and L. C. Jain (Eds.), “Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems, 12th International Conference, KES 2008, Zagreb, Croatia, September 3-5, 2008, Proceedings,” Lecture Notes in Artificial Intelligence, Vol. 5178, pp. 499-507, Springer-Verlag, September 2008.
 16. Yuichi Goto, Takahiro Koh, and Jingde Cheng, “A General Forward Reasoning Algorithm for Various Logic Systems with Different Formalizations,” in I. Lovrek, R. J. Howlett, and L. C. Jain (Eds.), “Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems, 12th International Conference, KES 2008, Zagreb, Croatia, September 3-5, 2008, Proceedings,” Lecture Notes in Artificial Intelligence, Vol. 5178, pp. 526-535, Springer-Verlag, September 2008.
 17. Jingde Cheng, “Adaptive Prediction by Anticipatory Reasoning Based on Temporal Relevant Logic,” Proceedings of the 8th International Conference on Hybrid Intelligent Systems, pp. 410-416, Barcelona, Spain, IEEE Computer Society Press, September 2008.
 18. Jingde Cheng, Masami Someya, Koichi Nanashima, and Yuichi Goto, “Dynamic Reconfiguration of Persistent Computing Systems Based on Soft System Buses,” Proceedings of the 2008 International Conference on Advanced Software Engineering & Its Applications, to appear, Sanya, China, IEEE Computer Society Press, December 2008.
 19. Youcheng Chen, Mohammad Reza Selim, Yuichi Goto, and Jingde Cheng, “An Improved Reliable

- Replication Oriented Publish-subscriber Middleware,” Proceedings of the 2008 International Conference on Advanced Software Engineering & Its Applications, to appear, Sanya, China, IEEE Computer Society Press, December 2008.
20. Jingde Cheng, “Testing and Debugging Persistent Computing Systems: A New Challenge in Ubiquitous Computing,” Proceedings of the 2008 IEEE/IFIP International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing, to appear, Shanghai, China, IEEE Computer Society Press, December 2008.
21. Jingde Cheng, “Qualitative Spatio-temporal Reasoning about Moving Objects in Three-dimensional Space,” in Z. Cai, et al. (Eds.), “Advances in Computation and Intelligence: Third International Symposium, ISICA 2008, Wuhan, China, December 2008, Proceedings,” Lecture Notes in Computer Science, to appear, Springer-Verlag, December 2008.
22. Jingde Cheng, Yuichi Goto, and Natsumi Kitajima, “Anticipatory Reasoning about Mobile Objects in Anticipatory Reasoning-Reacting Systems,” (**Invited Paper**), in D. M. Dubois (Ed.), “Computing Anticipatory Systems: CASYS 2007 – Eighth International Conference, Liege, Belgium, 6-11 August 2007,” AIP Conference Proceedings, American Institute of Physics, to appear, 2008. (**Best Paper Award** awarded at the Eighth International Conference on Computing Anticipatory Systems)
23. Natsumi Kitajima, Shinsuke Nara, Yuichi Goto, and Jingde Cheng, “A Deontic Relevant Logic Approach to Reasoning about Actions in Computing Anticipatory Systems,” International Journal of Computing Anticipatory Systems, to appear, CHAOS, 2008.
24. Yuichi Goto, Takumi Endo, and Jingde Cheng, “Continuous Reactability of Persistent Computing Systems,” International Journal of Computing Anticipatory Systems, to appear, CHAOS, 2008.

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
- (3) 財団法人栢森情報科学振興財団研究助成 (平成19年度、研究代表者:程 京徳) : 900千円