

# The 13th IEEE Real-Time Systems Symposium (RTSS'92) に参加して

戸田賢二

電子技術総合研究所

〒305 つくば市梅園 1-1-4

Email: toda@etl.go.jp Tel: 0298-58-5875 Fax: 0298-58-5882

あらまし 昨年12月2日～4日に開催された The 13th IEEE Real-Time Systems Symposium (RTSS'92) と、それに先立ち12月1日に開催された IEEE Workshop on Imprecise and Approximate Computation の討議内容等の様子を報告する。

和文キーワード：第13回IEEE実時間システムシンポジウム，RTSS'92，アプロキシメイト及びインプリサイズ計算ワークショップ

## On The 13th IEEE Real-Time Systems Symposium

Kenji TODA

Electrotechnical Laboratory  
1-1-4 Umezono, Tsukuba 305, JAPAN

**Abstract** Some topics on The 13th IEEE Real-Time Systems Symposium (RTSS'92) and IEEE Workshop on Imprecise and Approximate Computation are reported.

**英文 key words** : 13th IEEE Real-Time Systems Symposium, RTSS'92, IEEE Workshop on Imprecise and Approximate Computation

## 1 まえがき

1992年の12月に開催されたIEEEの第13回のReal-Time Systems Symposium (RTSS)[1]に参加の機会を得ましたので、会議での話題や会議に先だって開催されたワークショップの内容等を報告します。RTSSはRTP'92[3]で、三菱電機の竹垣先生が詳しく御紹介下さったように、実時間処理の研究者のメッカとなっている印象を受けました。同じくRTP'92での広島大学の阿江先生の紹介にあるように昔の計測や制御よりから現在ではすっかりソフトウェアと言うよりスケジューリングアルゴリズム等の理論・解析が中心となっています。しかし、通常の論文として取り上げにくい進行中のプロジェクトや実際のシステムの経験も重視して、進行中の仕事の紹介のために1セッションを開放し、発表を希望する出席者に機会を与えたりしていましたが(1990年のRTSSでは、このセッションで三菱電機の神余氏と私も発表を行ないました)、今回から実際のシステムの紹介や経験等を対象としたSynopsisと呼ばれるショートペーパーを受け付けるようになりました。今回、Synopsisは好評であったので、今後も続けていくことが確認されました。また、会議の前に1日のワークショップを行なうのが通例で今年は、Imprecise and Approximate Computationについてのワークショップ[2]がありました。

## 2 Workshop on Imprecise and Approximate Computation

Imprecise and Approximate Computationとは、「ある一定の正確さを持った結果がそのデッドラインまでに得られることを期待する」という普通の実時間計算に対し、「結果の正確さはある範囲内で変動するがとにかくそのデッドラインまでに結果を返す」ことにより、前もって計算量等の資源の要求量がわからない様な問題等に対しても、有効な応答を行なう、ことを目指したものです。ワークショップではこの手法について、オーバーロード時の動作、正確さと時間のトレードオフ、ハードリアルタイムタスクの動的スケジューリング等についての発表がありました。今後、実時間AI処理、マルチプロセッサシステム上での動的スケジューリング、

FTCとの絡み等を考えた場合もこの研究の方向は必須でしょう。

Imprecise Computationを含め用語の捉え方に出席者の中でも相違があるようで、ワークショップの最後に、「ターミノロジーの合意をとる時間がなかったがよくこれだけの議論ができた。ここでの合意をもとにさらにこの様な会を開催していこう。」という締めくくりのことばがありました。

Liu, Linらは、Imprecise Computationの手法をサーベイペーパー[4]で次の3つに大別しています。

### 1. milestone method

結果の正確さが計算時間に対応して増す単調な仕事の場合途中結果を実行の適当な場面ごとに書き出すようにする。利用者は最新の結果を使えば良い。

### 2. sieve function

過渡的過負荷時には、省いても比較的影響が少ないと思われる計算を(ふるいにかけるように)のぞいて計算量を減らす。例えば、レーダー信号処理において、受信した信号のノイズレベルを検出する計算は省いて、前の値を用いる。

### 3. multiple version method

上の2つが適用できない場合の実用的方法。各々のタスクを計算するのに正確な結果を返すバージョン(primary version)と正確さは欠くがそれより計算量は少ないバージョン(alternate version)を用意し、通常はprimary versionを実行するが、過渡的過負荷時にはalternate versionを選択する。(Liu, Linらは、primary taskは実行が必須なタスクとオプションなタスクにわけられ、alternate versionはこの内の必須なタスクとみなせるという立場です。)

ワークショップでは、

- 過渡的過負荷時の平均応答時間の改善を追求したオプションタスクのスケジューリング方式や、
- タスクが全て「単調」であって様々な実行条件での時間と結果の正確さの対応(実行

プロファイル) がライブラリの形で前もって与えられてる場合にシステムが全体で最適な動作をするように各々のタスクをスケジューリングする (タスクに時間やその他の計算資源を割り当てる) 方式,

- 無人潜水ビークルが島等の障害物を避け目標に到着するのに時間的制約を持った AI 処理が如何に必要であるか,
- 制約された時間及びメモリ空間の下で (traveling salesperson や maze problems に対して) 効率良く有効なバンドサーチアルゴリズム,
- Imprecise Computation にチェックポイントリング (その時点での計算結果を保存する) を導入し, その上で特定の数までの動作不良があってもスケジュール可能で平均エラーを最小化するアルゴリズムを提案,
- ソフトウェア ICs (オブジェクトオリエンテッドモデルをベースとする. あたかも IC の様に, abstraction, encapsulation, reusability の性質をもつオブジェクト) の実時間処理への適用,
- スケジューリングとフォールトトレランスを実時間システムで如何に統合するか (imprecise computations + planning mode schedulers),
- (時間経過に従って) 単調に正解に近付いていく答えを返すデータベースを構築する (実際の答えに到達する前に, それを含む性質を答える. またそれが可能な様にデータベースを構築する),
- 時間的制約の下での発話 (対話) プロセスの解明,
- マルチターゲットをトラッキングにおける問題はターゲットが密集している所ターゲット数の 3 乗 (Munkres Algorithm) の計算量が必要とされる点であった, これを提案する Approximate Solution Algorithm によって下げ良好な結果を得ている,

などの論文発表がありました, この他

◎ Approximate and Delayed Processing in Computer Networks

◎ Parallel Polygonal Approximation by the Width of the Set

といった発表や理論的, 形式論的なものとして

◎ A Decision-Theoretic Treatment of Imprecise Computation

◎ Vague Logic: A First-Order Extension of Interval Probability Theory

◎ Position Paper on Imprecise Computation

などがあり, 本会議でも, Shih と Liu の

◎ On-line Scheduling of Imprecise Computations to Minimize Error

の発表がありました. (ここでの Imprecise Computations は必須部分とオプションな部分にわかれるというもの.)

ワークショップの最後に Imprecise and Approximate Computation についての参加者による討論の時間があったのですが, 議論の項目として次のものが上がっていました:

- Program category  
Single approximation, multiple results
- Use of utility measures  
Additive utility, inter-dependent utility
- Performance information  
Various types of performance profiles
- Uncertainty  
Regarding deadlines, results, the environment
- Elementary modules  
Fixed run-time, contract, interruptible
- Composability  
Topology of program composition
- Compilation  
Offline pre-processing
- Monitoring  
Run-time control of approximate computation

この他, Extensions of Imprecise-Computation Model として, Imprecise Computation が複数のサブタスクからなるとして,

- 次のサブタスクの時間的制約が前のサブタスクの実行に依存する（従って、前もってスケジューリングできない）場合や、
- 前のサブタスクが Imprecise なのだから、現在のサブタスクの入力にエラーが混入することを考慮しなければならないこと、

などについても議論されていました。

### 3 Real-Time Systems Symposium

RTSS への論文応募は、世の実時間応用に対する熱意を反映して増加しており3年連続で120件以上の応募数となったとのこと。今年も百数十件の論文応募があり、26編の正規論文（10ページ標準）と、8編の Synopses（4ページ）が採用されました。

本会議では、色々な分野の発表がありました。通信についてはマルチメディアのサポートも行なうことを想定した Dual-Link Networks 上のスケジューリング、トークンリング上で通信量を制限することによるハードリアルタイム通信の実現、我々の多段網での優先度先送り方式、が発表されました。座長は Florida 大の Yann-Hang Lee 教授でしたが、大変面白い発表だったとのコメントを頂きました。彼のところでは仮想チャネル方式の通信網を作っているとかで、後でいろいろ議論を行ない今後も情報交換していこうということになりました。彼の他にも何人かの人が興味を示し、情報交換しようということになりました。また、New Jersey 工科大の Real-Time Computing Laboratory の Stoyenko 教授と Welch 教授には研究協力のお誘いを受けました。今後、実時間用並列処理システムにおける言語やアプリケーションの分野での協力が期待されます。両教授とも、非常にアクティブで、今年4月には実時間処理用並列分散システムに関するワークショップを、5月には実時間応用に関するワークショップを開催されます。この様に研究交流という意味でも今回の参加は非常に有意義でした。

本稿の末尾に会議での発表論文一覧を掲載しました。従来なかった、real-time distributed algorithm や complexity theory といった新しい分野の論文があり、この傾向は今後も続くだろうとのこと。これらを含め、信頼性の高い実

時間システム実現のための理論や実際の技術が不足している現状を改善する新しいアイデアがこの会議から生まれることを望む、とのキーノートアドレスがありました。

また、論文発表の他に「実時間システムの教育」に関する自由参加の会合が開かれました。これは ACM が定めたコンピュータ関連の教育のカリキュラムに実時間システム（実時間処理）が入らなかったこともあり、実時間システムの教育に携わる大学の先生等がその教育のあるべき姿について意見交換を行なったものです。かなりの人数が参加し、自分の大学における実時間システム教育の現状を紹介し合ったり、教える範囲と深さの選択をどうするか、必須なのはなにか、等熱心な討論がありました。その場で有志によるワーキンググループが結成され今後も議論を継続していく旨の確認がありました。このグループの目標は次のようなものです。

短期的目標：

1. 情報交換し経験を共有する。
2. クラスで使われる又は使われるべきハードウェア及びソフトウェアのツールについての議論。
3. 例、ケーススタディ、サンプル問題、割り当て、テスト質問、試験、その他、コースを教えるためのツール等について、それらを開発したり、互いで交換したりする。

長期的目標：

1. 「市場の要求に応えるために学生は何を知るべきか」について教育上の目標を定式化する。
2. 実時間システムを教えるための最良のパラダイムを考える。
3. 知識単位としてコースの内容をきめる。おそらくそれは、学科や学部の要求や実際の環境に従ってコースを様々なチューニングするために半順序グラフの形になるであろう。（モジュールのカリキュラム、少なくとも授業の摘要を作る）

4. 恒久的な Interest Group を作る (IEEE/CS Real-Time Systems Committee 又は IFIP WG 5.4 Computerized Process Control, 又は IFAC TC on Computers, WG on Real-Time Programming の下に)
5. 実時間システムがその構成要素である望ましいコースシーケンスをまとめる。このシーケンスは、必修コースを含むだけでなく、実時間システムコースのフォローアップや拡張を含むべきである。

#### 4 あとがき

RTSS の参加メンバーは常連が多く互いに良く知っており、議論も和やかな雰囲気でした。熱心に行なわれます。竹垣先生も書かれていたように日本からの参加者は慶應大学 / CMU の徳田先生を除いてあまりいません。面白い会議ですので機会があれば是非参加してみてください。来年は、Florida の Key West で 12 月 1 日～3 日の日程で開催されます。本会議に先立つワークショップの議題は “the role of real-time computing in multimedia systems” とのことです。

なお、実時間処理に関する話題を扱うメーリングリスト (日本語) があり、論文募集の情報なども流れています。ご興味があればお知らせ下さい。本原稿の一部はこのメーリングリストへ流したものであり、そこでの議論の参加者の方々に感謝いたします。

#### 参考文献

- [1] Proceedings of Real-Time Systems Symposium, IEEE computer society press (ISBN 0-8186-3195-3), December 1992.
- [2] Proceedings of IEEE Workshop on Imprecise and Approximate Computation, December 1992.
- [3] 実時間処理に関するワークショップ RTP' 92 資料, 情処研報 Vol.92 No.28 (92-ARC-93), 1992 年 3 月.
- [4] J. Liu, K. Lin, W. Shih, Q. Yu, J. Chung and W. Zhao, "Algorithms for Scheduling Imprecise Computations", IEEE Computer, Vol.24, No.5, pp.58-68, May 1991.

## RTSS'92 発表論文一覧

### Mutual Exclusion (2)

- Timing-Based Mutual Exclusion ( Nancy Lynch, MIT, Nir Shavit, MIT and Tel-Aviv University)
- Results about Fast Mutual Exclusion ( Rajeew Alur, Gadi Taubenfeld, AT&T Bell Laboratories)

### Information Sharing and Databases (3)

- Transaction Scheduling in Multiclass Real-Time Database Systems ( HweeHwa Pang, Miron Livny, Michael J. Carey, University of Wisconsin - Madison)
- Application Semantics and Concurrency Control of Real-Time Data-Intensive Applications ( Tei-Wei Kuo, Aloysius K. Mok, University of Texas at Austin)
- Performance Effects of Information Sharing in a Large Distributed Multiprocessor Real-Time Scheduler ( Hongyi Zhou, Karsten Schwan, Ian F. Akyildiz, Georgia Institute of Technology)

### Systems and Implementation (3)

- Monitoring Timing Constraints in Distributed Real-time Systems ( Sitaram C. V. Raju, Ranganathan Rajkumar, Farnam Jahanian, IBM Thomas J. Watson Research Center)
- A Retargetable Technique for Predicting Execution Time ( Marion G. Harmon, Florida A & M University, T. P. Baker, David B. Whalley, Florida State University)
- Preemptability in Real-Time Operating Systems ( Clifford W. Mercer, Hideyuki Tokuda, Carnegie Mellon University)

### Scheduling (3+3)

- Scheduling Sporadic Tasks with Shared Resources in Hard-Real-Time Systems ( Kevin Jeffay, University of North Carolina at Chapel Hill)
- Mode Changes In Priority Pre-emptively Scheduled Systems ( A. Burns, K. W. Tindell, A. J. Wellings, York University)
- An Optimal Algorithm for Scheduling Soft-Aperiodic Tasks in Fixed-Priority Preemptive Systems ( John P. Lehoczky, Sandra Ramos-Thuel, Carnegie Mellon University)

- On-line Scheduling of Imprecise Computations to Minimize Error ( Wei-Kuan Shih, Jane W. S. Liu, University of Illinois)
- D-Over: an optimal on-line scheduling algorithm for overloaded real-time systems ( Gilad Koren, Dennis Shashah, New York University)
- Scheduling Distance-Constrained Real-Time Tasks ( Ching-Chih Han, Kwei-Jay Lin, University of Illinois)

### Performance Evaluation and Allocation (3)

- Adaptive Threshold-based Scheduling for Real-Time and Non-Real-Time Traffic ( Samuel T. Chanson, Wenjing Zhu, University of British Columbia)
- Bounds on the Performance of Heuristic Algorithms for Multiprocessor Scheduling of Hard Real-Time Tasks ( Fuxing Wang, Krithi Ramamritham, John A. Stankovic, University of Massachusetts)
- Allocation of Periodic Task Modules with Precedence and Deadline Constraints in Distributed Real-Time Systems ( Chao-Ju Hou, Kang G. Shin, University of Michigan)

### Specification and Verification (3)

- An Implementation of Three Algorithms for Timing Verification Based on Automata Emptiness ( C. Courcoubetis, University of Crete, D. Dill, Stanford University, N. Halbwachs, IMAGE Institute, H. Wong-Toi, Stanford University)
- A Simple Assertional Proof System for Real-Time Systems ( A. Udaya Shankar, University of Maryland)
- A Proof Theory for Asynchronously Communicating Real-Time Systems ( P. Zhou, J. Hooman, Eindhoven University of Technology)

### Communication (3)

- Scheduling Real-Time Communication on Dual Link Networks ( Lui Sha, Software Engineering Institute, Shirish S. Sathaye, J. K. Strosnider, CMU)
- Optimal Synchronous Capacity Allocation for Hard Real-Time Communications with the Timed Token Protocol ( Baio Chen, Gopal Agrawal, Wei Zhao, Texas A & M University)

- A Priority Forwarding Scheme for Real-Time Multistage Interconnection Networks ( Kenji Toda, Kenji Nishida, Shuichi Sakai, Toshio Shimada, Electrotechnical Laboratory)

### Bounds and Synthesis (3)

- Bounds on the Time to Detect Failures Using Bounded-capacity Message Links ( Stephen J. Ponzio, MIT)
- An Upper and a Lower Bound for Tick Synchronization ( Marios Mavronicolas, Harvard University)
- The Input-Output Control of Real-Time Discrete Event Systems ( Gerard Hoffmann, Howard Wong-Toi, Stanford University)

### Synopses (4+4)

- A Virtual Memory System Implementation for Real-Time Applications ( Chirag Bakshi, QMS Corp.)
- The Programmer's View of MARS ( H. Kopetz, G. Fohler, G. Grunsteidl, H. Kantz, G. Pospischil, P. Puschner, J. Reisinger, R. Schlatterbeck, W. Schutz, A. Vrhoticky, R. Zainlinger, Technische Universitat Wien)
- A Small Real-Time Kernel Proven Correct ( Ronald M. Tol, University of Groningen)
- Real-Time Process Server for the Micro-Kernel Based Alcatel Elin Operating System (AEOS) ( Christian Koza, Alcatel Austria - ELIN)
- A Car Control System Exploiting Fieldbus DLL Protocol Features ( S. Cavalieri, A. DiStefano, O. Mirabella, Universita' di Catania - Facolta' di Ingegneria)
- The Airplane Information Management System: An Integrated Real-Time Flight-deck Control System ( Kevin Driscoll and Kenneth Hoyme, Honeywell)
- Real-Time Monitoring and Diagnosing of Robotic Assembly with Self-Organizing Neural Maps ( L A. Syed, H.A. ElMaraghy, N. Chagneux, McMaster University)
- Provable Transient Recovery for Frame-Based, Fault-Tolerant Computing Systems ( Ben L. Di Vito, ViGYAN, Inc., Ricky W. Butler, NASA)

盛光印刷所