

氏 名 刈 谷 丈 治

学位（専攻分野） 博士(学術)

学 位 記 番 号 総研大乙第68号

学位授与の日付 平成11年9月30日

学位授与の要件 学位規則第4条第2項該当

学 位 論 文 題 目 LHD制御用実時間計測システムに関する研究

論 文 審 査 委 員 主 査 教 授 本島 修
教 授 須藤 滋
教 授 上村 鉄雄
助 教 授 山口 作太郎
教 授 渡邊 國彦（核融合科学研究所）

論文内容の要旨

本研究は、LHD制御用計測システムを構築するために、ソフトウェアおよびハードウェアの新方式を考案し、それらを使ってプロトタイプ的设计から試作および実証試験を行い、LHD制御用計測システムの実現方法を論じたものである。

LHDには3000もの計測素子を取り付けられ、準定常の長時間放電実験が行われるので、多数データのリアルタイム処理が必要となる。これに対して、既存のデータ処理システムはバッチ方式であった。たとえば、Alcator C-Modでは、パルス期間中にデータを計測器内に蓄積し、パルスが終了するとデータを集積し、解析を行って次の運転条件を設定するという動作を繰り返す。TRIAM-1Mでは、2台のCAMACを切り替え、連続データ収集をしているがリアルタイム処理ではない。

LHD制御用計測システムに必要なデータ取得性能として、2000項目のアナログ・データを周期10Hzで、100ms以内に表示でき、同時にバッチ処理も行えるシステムを目標とした。本システムで実現した中核となる事項は次の3点である。

- (1) リアルタイム処理を主要目的とし、バッチ処理にも対応した新型AD変換装置を設計し、メーカーに委託して、製品化した。
- (2) ネットワークをデータ・バスとして使用するために、マルチキャストをデータ転送に使用できる条件とマルチキャストでのデータ転送性能を、実験によりあきらかにした。
- (3) 分散型リアルタイム計測システムに共通する機構としてデータ伝送系を確立した。データ伝送系の外部インターフェースとして共用短期記憶機構 (SSTM) を確立し、その有効性を示した。

(1) 従来CAMACモジュールであるAD変換装置を使うシステムでは、主にバッチ処理方式を採用しデータ転送速度は1.14MB/sである。リアルタイム処理方式では15KB/sにすぎない。新型AD変換装置では、バッチ処理データ転送速度は4MB/sであり、リアルタイム処理データ転送速度では2MB/sを達成している。このため、従来バッチ処理するしかなかったデータ処理をリアルタイム処理できるようになった。

新型AD変換装置では、AD変換データ格納用メモリを入出力バスに直結したので、データ取得時間はバスを介してのデータ読み取り時間だけである。32MBの大容量メモリを装備し、バッチ処理も可能である。100KHzのようにリアルタイムで全データを読み込めない場合でも、イベント検出用のチャンネルだけ読み込み、イベント検出時に前後の短期間のデータを読み込むというリアルタイム間欠処理も可能である。

(2) 4台の収集用計算機に512チャンネルのAD変換器を接続し、32台のどの表示用計算機でも全データを受信するには、ユニキャスト通信方式での通信量は1311KB/sとなるのにたいし、マルチキャスト通信方式での通信量は41KB/sになる。拡張性のためにマルチキャスト通信方式を使うことが望ましい。

マルチキャストを使用できる条件を調べるため、通信量と転送時間を調べる実験を行った。通信量の実験の結果、パケット喪失の原因が、計算機の性能、特にタスク・スケジューラにあることが明らかになった。リアルタイム・スケジューリング・クラスで実行すれば、512チャンネルのデータを800パケット/秒で受信してもパケットを喪

失しなかった。これは、必要な通信量の約20倍である。データ転送に要する時間は、パケット往復時間測定実験の結果最小2msと処理遅れの時間の合計5msであった。

(3) 多数のデータ項目に対する多様な要求を、表示方法の多様性とデータの組み合わせや値の表現に対する多様性に分け、後者を伝送系サブシステムとして、データ表示系サブシステムから独立させることによりシステム構築を柔軟にした。サブシステム間インターフェースとしてデータ・パケットのフォーマットを定義し、共有短期記憶機構(SSTM)を設計した。伝送系サブシステムでは、送信側と受信側が非同期に動作する。SSTMでは、サブシステム間の同期、バッファリング、データ配分、および生データから物理量への変換の機能を持つ。

アプリケーションは、SSTMから過去データも含めた任意のデータを任意の時間に取り得でき、分散処理されていることやネットワークの存在、さらにどこで計測されているかということすら知らずに実行できる。あたかも各表示用計算機に直接物理量を出力する測定器が附属しているかのように見え、アプリケーションの作成が容易となった。

作成したプロトタイプ・システムを超伝導コイルの通電実験に適用し、64チャンネルのAD変換装置から取得したデータに対し、2ヶ月間、1Hzの低速データのリアルタイム連続データ表示、毎時30秒間の1KHz高速データの保存、さらに通電実験中に開始・終了命令による1KHz高速データ保存をした。これらの機能はすべて同時に実行され、LHDに必要なデータ処理を行えることを実証した。

通電実験では、スクロール・グラフによる表示の他に、3次元表示、WWWによる波形表示、インターネットによる外部への直接データ送信も行った。SSTMによるインターフェースの標準化および高度化により、容易にアプリケーションを開発できることが実証された。

プロトタイプ・システムの稼働と実験結果に基づき、「制御データ処理装置」が構築され運用されている。トカマク型核融合炉でもパルス時間が長くなってくると、リアルタイム処理に変わらざるをえない。本方式にもとづきリアルタイム処理方式が標準化されることが期待される。

論文の審査結果の要旨

本論文は、LHD制御用実時間計測システムの構築を目指して行われた研究であり、プロトタイプ的设计から試作及び実証試験に到るまでに必要な各種の要素研究についてその成果をまとめるとともに実時間計測システムの構築方法についても論じたものである。世界最大級の核融合実験装置であるLHD装置は、プラズマ中に電流を有しない安定な炉形式の実現を目指して研究が行われており、核融合燃焼状態に手の届く領域でのプラズマ物理学の研究を行うプロジェクトとして世界的にも注目を集めている。その運転、実験を円滑且つ安全に行うためには数千点に及ぶセンサーからの大量の信号を取り込み、これらを研究者及び運転員に正確且つ迅速に配信しなければならない。例えば装置の中心に位置する超伝導コイルは一度冷却を行うと半年以上にわたり運転が継続され、この間に長時間プラズマ放電を行うことがLHDの使命であるために、LHD制御用計測システムは基本的に実時間システムでなければならない。しかし、同時に超伝導コイルのクエンチ時やプラズマ実験時には高速でデータを取り込む必要もある。従って、以上の要請を満足させるためには実時間高速データ伝送を可能とするシステムであると同時に、バッチ処理もできることが必要条件であった。これらの条件を満たすシステムの構築を目指した研究は、データ収集・解析・制御システムの研究として、十分に学問的な意義を有するものである。

目的とするシステムを構築するために、申請者は、標準技術の採用、ソフトウェア工学の技法を適用、拡張性と柔軟性を持つことを3つの方針として研究開発を進めている。主たる理由は、標準技術を採用することによってその多用な開発ツールを使用すること、最新型のハード機器を容易に組めるため性能向上を継続的に進めること、そしてシステム全体のコストを低減できることにあり、そのためOSとしてUNIXを採用している。また、ソフトウェア工学の技法を適用することによって、大規模ソフトウェアを効率的に開発することを目指している。更に、分散システムとすることによって拡張性を確保すると同時に、解析のために異なったデータを柔軟に組み合わせることも可能にした。分散システムではデータ取り込みと表示・保存系はそれぞれ別の計算機を利用するため、それらの間の通信が重要になる。一般的に用いられているTCP/IPの技術を用いた場合にはシステムに接続される計算機に比例して通信量が増大するため、申請者は、クライアント計算機の増大によっても通信量が増えない方式としてマルチキャストを採用しているが、この方法では送信されたデータが欠落する可能性があるため、通信量と信頼性の関係を実験によって定量的に見積もり利用可能条件を見いだす研究を行った。続いて、多様なデータを広く利用するために、ソフトウェアの柔軟性を高めることを目的としてデータ伝送系機能を分析し、非同期のプロセス間でデータパケットを受け渡すことを目的として新たに共用短期記憶機構を考案してネットワークからの受信や計算機内でのプロセス間インターフェースの手法を確立するなど、アプリケーションの作成と利用を容易にすることを目的とする研究を行っている。さらに進んで、高速のバッチシステムと実時間システムを共存させるアナログ・デジタル変換器を新たに研究開発するなど、多くの成果を挙げるに到った。

以上の成果は、現在核融合科学研究所で稼働中のLHD制御データ処理装置として

実地に応用され、その運用の結果、評価も定着しつつある。

以上に述べたように本論文は、今後の核融合実験装置の運用に必要な実時間計測システムを構築するための基本的なソフトウェアの研究開発を行ったものであり、今後の実時間計測システムの標準化に向けてプロトタイプを開発したものと評価できる。従って、本審査委員会は、本論文が博士学位論文として十分な水準にあり、本専攻にふさわしい内容を持つものであると結論した。

審査委員全員参加によって、口頭試問を実施し、論文内容に関する知識等について試験を行った。その結果、情報処理に対する考え方、コンピュータネットワーク技術、プログラミング技術、ソフトウェア工学などについて、申請者が本研究に必要な多岐にわたる知識と技術に精通していることが認められた。申請者を筆頭著者とする論文は英文2編、和文2編及び共同著者として英文5編、和文2編が出版されており、語学力については、論文要旨の英語版、添付された英文の参考論文等の審査により、十分な能力を持つことを確かめている。8月19日に開催された論文公開発表会においては、指定時間内に内容を要領よくまとめ、会場からの質問にも明確に答えている。以上より、本審査委員会は学力審査合格と判定した。