

優先度による実行順制御を考慮した脳機能解析ポータル A Brain Function Analysis Portal with a Priority-based Queueing Mechanism

市川 昊平[†]
Kohei Ichikawa

伊達 進[†]
Susumu Date

水野(松本) 由子[‡]
Yuko Mizuno-Matsumoto

下條 真司[§]
Shinji Shimojo

1 研究の背景と目的

近年のネットワークの高速化に伴い、広域に分散した多数の計算機をネットワークを介して接続し、大規模な計算環境の構築をこころみるグリッドに関する研究が盛んに行われている。そのような大規模な計算環境の示す大量データ移送、高速演算能力への実現可能性は、様々な分野の研究者の関心を集めている。

しかし、高速演算、大量データ移送能力を備えた大規模計算機環境上でのアプリケーション構築は、現在のグリッド技術では非常に困難であるのが現状である。その一因として、グリッド技術の研究開発が現在もまだ進展中であるということもあるが、ユーザのアプリケーション構築の観点からの実際的な研究報告が数多くなされていないこともまた一因であると考えられる。

本論文では、そのような背景から、脳機能解析ポータルについての設計と実装を、ユーザとシステムのインタラクションを考慮した脳機能解析ポータルについて示す。具体的には、ユーザの解析要求内に存在する関心領域 (Region of Interest) に基づき、複雑なグリッドのメカニズムを制御する手法、およびその設計と実装について述べる。さらに、本ポータルシステムは、ユーザに複雑なグリッドメカニズムを隠蔽することによりユーザフレンドリーな API を提供する。本システムによりユーザである医師や脳科学研究者が 21 世紀の科学である脳科学における実際問題の 1 つである脳機能解析を効率よく行うことが可能な環境を提供することにより、脳機能解析のために真に有用なシステムを実現することを本研究の目的とする。

2 脳機能解析とその問題点

本研究では脳磁計 (MEG: MagnetoEncephaloGraphy) から得られるデータに対し時間周波数解析を適用することによって脳機能解析を行う。MEG は脳内の神経活動によって 2 次的に生じる磁場の変化をとらえる装置である。磁場の変化はヘルメット状に配置された多数の SQUID センサによって測定される。MEG は非侵襲性かつ高精度な測定を可能とするが、非常に希少で高価な装置である。

本研究で扱う脳機能解析では、この MEG から得られる信号に対し時間周波数解析の一種であるウェーブレット解析を適用する [1]。ウェーブレット解析によって信号は時間軸上に周波数分解される。ウェーブレット解析は信号のパターン認識などに用いられる手法であり、本研究の場合は刺激に対する脳の反応のパターンや、脳疾患などによる異常反応のパターンを認識する用途で用いる。また、ウェーブレット解析によって得られた個々の結果データに対し、それらの相互相関を求めるウェーブレット相互相関解析を行うことによって、脳内を伝播する神経細胞の発火を追跡することが可能となる [1]。

ウェーブレット解析、ウェーブレット相互相関解析を並列化する場合、並列に動作するプロセス間で同期処理や通信は発生しない。そのためグリッド環境上において

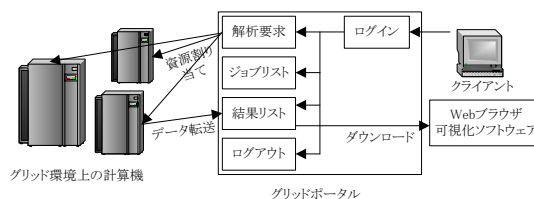


図 1: 脳機能解析支援システムの概要

分散処理を容易に実装することが可能である。ただし、その解析空間は広大であり、ある程度大規模な計算環境の備えがあったとしても、一回の測定によるデータに対する全ての解析処理を終えるには相当の時間がかかる。

しかし、脳機能解析においては、医師や研究者にとって測定された全てのデータに対する解析結果はすぐに必要になるものではない。実際に医師や研究者が関心を示すのは脳に与えた刺激に対する反応や脳疾患による異常反応であり、その部分に対する解析結果に関しては可能な限り早く閲覧したいという要求がある。このような部分は解析前の原信号そのものを閲覧するだけでもある程度範囲を絞ることが可能である。つまり、全ての解析の終了を待つ前に、これらの部分に関しては可能な限り早く解析するように要求を出すことが可能である。このように、実際のユーザの解析要求へ対する QoS (Quality of Service) を、ユーザへの直接のインタフェース部分から複雑なメカニズムをもつグリッド深部まで一環して提供する機能が必要となる。しかし、このような機能要求を満たすためには Globus Toolkit などのグリッドのミドルウェアの機能だけでは不十分である。なぜならば、ミドルウェアは低レベルなサービスを提供するのみであり、非常に複雑な手続きを持ってでしか操作が不可能だからである。脳機能解析を支援するシステムはこのような要求に柔軟に対応し、ユーザの求めるサービスに基づく優先制御を行う必要がある。次章では、このようにユーザの解析に対する QoS を実現する脳機能解析ポータルシステムの設計手法について詳述する。

3 システムの設計

ユーザに対して効率的な研究環境を提供するための条件として、1) 優れた操作性、2) ユーザ解析要求に対する QoS の保証、3) QoS に基づく効率的なデータ移送メカニズムの提供、があげられる。

本システムでは、上記 1) を考慮し、ユーザに対し透過的なアクセス方法を提供するため Web 技術を用いて、複雑なグリッドメカニズムの隠蔽を行う。ユーザに直感的な Web インタフェースを用意し、グリッドの複雑さを隠蔽することによってユーザに透過的なアクセス手法を提供し、グリッドポータル環境を実現する。

図 1 に構築したシステムの概要を示す。データ解析の指示や、結果の取得などの処理はすべてグリッドポータルを通して行うことになり、これにより異質かつ動的なグリッドの複雑なメカニズムを隠蔽している。

上記 2) に対しては、本システムでは、ユーザの解析要

[†]大阪大学大学院情報科学研究科

[‡]大阪城南女子短期大学幼児教育科

[§]大阪大学サイバーメディアセンター

求に対する QoS を保証するために、Web インタフェースからグリッドシステムの最下層に位置するグリッド環境の資源割り当てポリシーにユーザの解析要求を反映する機能を有している。本システムでは、ユーザ要求を実現するために、ユーザのジョブ要求に対して優先度を定義し、優先度を考慮した資源割り当てを行うことによって、ユーザ解析要求に対する QoS を保証する。

優先度を考慮して資源割り当てを行う方法はグリッド上の資源をローカルで管理しているローカルスケジューラによって異なる。キューイングシステムであれば、優先度が異なるキューにジョブを投入することによって優先度制御が行える。また、優先度を直接扱うことが可能なスケジューラの場合であれば、本システムで定義している優先度を読み替えて与えればよい。グリッド環境では多種多様なローカルスケジューラが存在するため、本システムではジョブを投入する部分に抽象的なインタフェースを定義した。これにより各ローカルスケジューラに依存するジョブの優先制御の方法を抽象化している。具体的には本システムは Globus Toolkit の資源管理サービスである GRAM を利用して構築を行った。定義した抽象的なジョブ投入インタフェースは GRAM に対して資源割り当て要求を行う RSL と優先度を指定できる。このインタフェースに従って構築された具体的な実装は優先度を各スケジューラに対応する形で解釈を行い、与えられた RSL を書き換えて Globus に渡す。例えば、キューイングシステムならば優先度に応じて投入先のキューを変更する RSL に書き換える実装を行う。これらの実装をプラグイン的に切り替えることによって様々なスケジューラに対応する。上記 3) に対しては、このキューイング機構によって出力された解析結果を、さらに優先度に基づき、データをユーザに優先的に配送することにより実現する。

優先制御を考慮してジョブを投入すれば、その結果は早く出力されるが、ユーザはそのことを知る仕組みが必要である。本システムではジョブの実行状態を GRAM を通じて監視し、ジョブの終了と共に結果の管理のための情報を生成する。具体的にはジョブが終了し、結果が出力されると、その結果の格納場所と共にジョブが投入された時の優先度によって分類されて管理される。ユーザ解析要求の優先度により結果が分類管理されるため、ユーザは効率よくデータを取得することが可能であり、ユーザが広大なデータ空間を効率的に解析することが実現できる。

4 脳機能解析支援システムの実装

本研究では実際には 2 つのクラスタを用いてジョブの分散処理を行うプロトタイピングを行った。各クラスタには PBS (Portable Batch System) [2] と呼ばれるキューイングに基づくジョブ制御に優れたローカルスケジューラを使用し、優先度の異なる複数のキューを構築した。そして、指定された優先度に応じて適したキューを選択し、ジョブを投入するという実装を 3 節で述べたスケジューラの抽象化インタフェースに従って実装した。この仕組みはユーザが付与した優先度に従ってジョブの実行制御を行うことによってユーザに高いレスポンスを提供し、QoS (Quality Of Service) を保証する。

アプリケーションのフロントエンド部分には Tomcat を用いた JavaServlet プログラムとして構築した。そして、Java から Globus のサービスにアクセスするために Java CoG Kit を用いて実装を行った。

5 システムの設計に関する評価

本システムは設計の段階で以下の 2 つの点において機能を抽象化して設計している。これにより機能の拡張を容易に行うことが可能である。また、本システムの一部の機能は脳機能解析以外の分野のアプリケーションに対する応用が期待できる。

第 1 の特徴は 3 節で述べた優先度に従ったジョブの制御と結果取得機能がアプリケーションから完全に独立して抽象化されている点である。従来まではジョブの投入から結果の取得までの一連の流れは結びついていなかったが、本システムではジョブ投入時に指定した優先度に従って結果の取得までもが管理される。この仕組みは脳機能解析に特化されたものではなく、他アプリケーションに対し応用可能であると考えられる。

第 2 の特徴はローカルスケジューラの違いを隠蔽する抽象的なインタフェースを定義した点である。これにより、優先制御機構を特定のローカルスケジューラに特化することなく、異なる環境間でスムーズに移行が可能であると考えられる。本システムでは PBS をスケジューラとして採用したが、他のスケジューラに対応させる場合は、この抽象的なインタフェースに従ってスケジューラに依存する部分のみを実装するだけで対応可能である。

6 結論

本研究では、ユーザがジョブ投入時に付与する優先度に応じてジョブの実行及び結果の取得を優先制御するシステムを構築した。優先度制御はユーザの与える優先度に応じて、各ローカルスケジューラに与える GRAM の RSL の記述を変更することによって実現される。そして、このメカニズムの上に脳機能解析支援システムを Web インタフェースを備えたポータルシステムとして実装することによって、脳科学分野の医師や研究者に対してグリッド環境を用いて容易に脳機能解析を行える環境を構築した。

本システムは、脳機能解析を支援し、その手順を向上させることによって、脳科学研究に対し貢献できることが期待される。また、優先制御機構を実現する部分はこの脳機能解析支援システム以外のアプリケーションに対し応用できる可能性がある。今後は脳機能解析で得られたデータをその後の他の実験に生かせる形で記録保持しておくデータベースを開発し、システムに取り込むというような発展が考えられる。

7 謝辞

本研究は科学研究費補助金特定領域研究 (C)「Grid 技術を適応した新しい研究手法とデータ管理技術の研究」(13224059) の助成を受けて行われた。また、文部科学省科学技術振興費主要 5 分野の研究開発委託事業の IT プログラム「スーパーコンピュータネットワークの構築」の一環として実施された研究成果の一部である。

参考文献

- [1] Y. Mizuno-Matsumoto, S. Tamura, Y. Sato, R. A. Zoroffi, T. Yoshimine, A. Kato, M. Taniguchi, et al. Propagating process of epileptiform discharges using wavelet-crosscorrelation analysis in meg. In *Brain Topogra. Today*, pp. 782–785. Tohoku University Press, 1999.
- [2] A. Bayucan, R. L. Henderson, J. P. Jones, C. Lesiak, B. Mann, B. Nitzberg, T. Proett, and J. Utley. *Portable Batch System Administrator Guide*. Veridian Systems, August 2000.