

超並列計算機 JUMP-1 の入出力サブシステムにおける I/O ネットワーク

中 條 拓 伯[†] 大 谷 智^{††}
中 野 智 行^{†††} 金 田 悠 紀 夫[†]

我々は分散共有メモリ型超並列計算機 JUMP-1 において、I/O ネットワークを持つ入出力サブシステムの構築と並列 I/O の研究を進めてきた。I/O ネットワークのルータとして DSP (Digital Signal Processor) を使い、3 チャンネルの高速シリアルリンク (STAFF-Link) のルーティング制御を行う。本稿では、I/O ネットワークの必要性について述べ、I/O ネットワークを構成するためのネットワークルータのハードウェア構成と、並列 I/O のアクセス性能をシミュレーションにより評価した結果について報告する。

An I/O Network of the Massively Parallel Computer JUMP-1

HIRONORI NAKAJO,[†] SATOSHI OHTANI,^{††} TOMOYUKI NAKANO^{†††}
and YUKIO KANEDA[†]

We have been developing an I/O subsystem of a massively parallel computer JUMP-1 and been studying parallel I/O methods using an I/O network. In this paper, we describe need of an I/O Network and the configuration of an I/O Network architecture of a scalable I/O subsystem in JUMP-1. We adopt Digital Signal Processor (DSP) as an I/O network router which controls routing of 3 channels fast serial links (STAFF-Link). Hardware configuration of an I/O network router board is explained and performance evaluation results of parallel disk I/O system by simulation are also shown.

1. はじめに

現在、科学技術計算やマルチメディアおよび遺伝子情報処理などにおいてメインメモリに入り切らない (Out-of-core) プログラムの実行時における I/O ボトルネックを打破するために各方面でさまざまな方式やシステムが提案されている。今後、高性能並列 I/O 機構を実現するには、以下のレベルにおける問題を解決する必要がある。

アーキテクチャレベル：要素プロセッサまたは要素クラスタと I/O サブシステムの結合方式や、専用 I/O ノードを設置すべきかどうか。また、どのように I/O ノードを分散させるかなど。さらに I/O ネットワークの有無や、その結合トポロジの形態

など。

システムプログラムレベル：多数の入出力装置をどのように管理するか。上位のレベルへどのように I/O 資源を提供し、保護するか。ディスクブロックの効果的な分散、ファイルシステムレベルでのキャッシング、プリフェッチングの戦略など。
ユーザレベル：入出力ライブラリのインタフェース、コンパイラ、言語面でのサポートなど。

並列 I/O の研究事例として、Scalable I/O (SIO)¹⁾ プロジェクトでは、超並列計算機上でその演算性能に見合う入出力機構の開発を目的としている。そして、実際の並列アプリケーションの要求をもとに新しいプログラム言語の機能、コンパイラ技術、OS のサポート、ファイル記憶機構、高性能ネットワークソフトウェアの開発を試みる。また、テストベッドとして Intel Paragon および IBM SP1 上にて実装、評価を進めている。

HFS (HURRICANE File System)²⁾ は、分散配置されたディスク装置を持つ大規模な共有メモリ型マルチプロセッサであるトロント大学の NUMachine の

[†] 神戸大学工学部情報知能工学科
Department of Computer and Systems Engineering,
Faculty of Engineering, Kobe University

^{††} 関西電力株式会社
The Kansai Electric Power Company

^{†††} 日立ソフトエンジニアリング株式会社
HITACHI Software Engineering Corporation

ために開発されたファイルシステムであり、スケーラビリティを最大限に確保する（入出力機器の数に応じた I/O 性能を発揮させる）ことを目的としている。

並列入出力に関するインタフェースの標準化として MPI-IO³⁾が提案されている。MPI-IO は MPI (Message Passing Interface) 環境下での並列ファイル入出力をサポートする。

このような状況の中で、我々は分散共有メモリ型の超並列計算機のプロトタイプマシン JUMP-1⁴⁾の並列 I/O システムの開発を進め^{5)~8)}、またシミュレーションにより評価を行ってきた^{9),10)}。

JUMP-1 は、4つの CPU から構成されるクラスタ間を RDT (Recursive Diagonal Torus) ネットワーク⁴⁾と呼ばれる階層トラス・ネットワークにより接続し、共有メモリによる通信機構や同期機構を専用ハードウェアである Memory-Based Processor (MBP)⁴⁾により強力にサポートすることによって、局所処理と非局所処理を分離分割した効率の良い分散共有メモリ型のアーキテクチャをとる。

このような複数のクラスタから構成されるシステムにおいては、ディスクサブシステムや画像出力システムを接続する場合に、十分な入出力バンド幅を確保する必要がある。また、今後の磁気ディスク装置の大容量化、低価格化とともに、マルチメディアデータや遺伝子情報処理などの膨大なデータに対する処理に対応するために、I/O サブシステムは拡張性 (Scalability) を確保しなければならない。さらに、OS の開発やパフォーマンスチューニングなどのシステムプログラムの観点から、多数のディスク装置からなるシステムを仮想的に1つの論理ディスク装置として扱えるような抽象化が必要となると考えられる。

以上を考慮したうえで JUMP-1 I/O アーキテクチャは以下の特徴を持つ。

- 複数の I/O ユニットによる並列入出力処理
多数の I/O ユニートを設置し、それらを並列に動作させることにより I/O ボトルネックの解消を目指す。また、I/O ユニットとして市販のワークステーションや PC を利用することにより、ディスク容量や I/O アクセス性能の拡張性とコストパフォーマンスを確保する。
- 高速シリアルリンクによる設置場所の柔軟性
従来の I/O インタフェースにおけるパラレル通信に対して高速シリアル通信による I/O 機器の接続が実用化されつつあり、今後の I/O インタフェースの接続形態として注目されている。JUMP-1 では、各入出力ユニットを本体に隣接した位置では

なく比較的離れた場所に設置し、高速シリアルリンク (STAFF-Link) により接続することにより分散した共有入出力装置群を形成する。

- 共有メモリによる入出力アクセス
入出力ユニットと JUMP-1 本体とのデータ交換のためにバッファメモリを設け、このメモリや画像出力のためのフレームバッファを本体の共有メモリマップ上にマッピングする。これより入出力機器を共有メモリとしてすべてのクラスタ間で共有することが可能となり、種々の入出力機器の特性を吸収することができる。ディスク I/O のためのバッファおよび画像出力のためのバッファを、それぞれ共有入出力バッファ、共有フレームバッファと呼ぶ¹¹⁾。
- 入出力ネットワーク
JUMP-1 では I/O ユニット間を I/O ネットワークにより接続し、分散したディスク装置を、1つの巨大なディスク装置として扱えるような仮想化を施す。そのために、I/O ユニット間でクラスタからのディスクアクセス要求を転送するための I/O ネットワークを装備する。

本稿では、I/O ネットワークの必要性について触れ、JUMP-1 の I/O ネットワークの構成について述べる。特に I/O ネットワークのルータに関しては、ハードウェアの実装について詳細を示す。次に、I/O ネットワークにより構築された並列ディスク I/O システムの性能評価をシミュレーションにより行い、ランダムおよびシーケンシャルアクセスに対する実験結果を示して、その性能について考察する。最後に現状と今後の方向性について述べる。

2. JUMP-1 の I/O ネットワーク

2.1 I/O ネットワークの必要性

並列計算機において、要素プロセッサからディスク I/O サブシステムへのアクセスを、物理ブロック番号により行うとすると、ブロック番号の管理などの複雑な制御負荷はファイルシステムが負うことになる。その場合 JUMP-1 では、ファイルシステムが、クラスタと接続される I/O ユニットの位置を意識することとなり、そのためファイルシステムの設計だけでなく、ユーザによる I/O 処理のパフォーマンスチューニングも困難なものとなる恐れがある。

そこで、クラスタからのアクセスを物理ブロック番号ではなく、論理ブロック番号により行い、クラスタからの透過なアクセス方法を提供する機構を考える。そのためには、I/O ユニット間において、クラスタから

らのディスクアクセス要求を論理ブロック番号をもとに、物理ブロックが存在するユニットに転送するために I/O ネットワークが必要となる。

I/O ネットワークにより構成された JUMP-1 の並列ディスク I/O システムの論理的な構成を図 1 に示す。JUMP-1 では、ディスク I/O ユニット群は物理的には独立して設置され、ファイルを構成するディスクブロックはシステム内で一意の論理ブロック番号を持つ。クラスタからのアクセスは論理ブロック番号により行われ、I/O ユニット側で論理ブロック番号を物理ブロック番号に変換する。これより、ユニット間で I/O アクセスコマンドを転送することで、ディスクブロックの管理負荷を I/O ユニットに分散させることができ、分散したディスク装置を仮想的な 1 つの巨大なディスク装置として扱うことが可能となる。現在の実装では、論理ブロック番号から物理ブロック番号の変換は I/O ユニットに対して静的に割り付けているが、ユニット間に仮想共有メモリ等を実装することで、管理情報を共有し、より柔軟な論理-物理ブロック番号の変換を行うことが可能となる。

ディスク I/O ユニット単体、およびその上のデバイスドライバの基本性能の評価を行った結果、現状ではデバイスドライバのオーバーヘッドにより STAFF-Link の性能が十分に発揮されていないことが分かった⁶⁾。これは I/O ユニット内のオペレーティングシステムのオーバーヘッドが影響しており、I/O ネットワークを構成しデータを中継するためには本体と独立して処理を行うルータが必要不可欠になると考えられる。

2.2 I/O ネットワークの構成

1024 台の要素プロセッサ (256 クラスタ) の JUMP-1 における I/O サブシステムを構成する I/O ユニットとしてワークステーションを利用する。この場合、

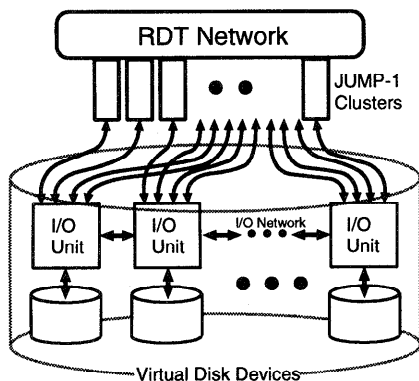


図 1 並列ディスク I/O サブシステム
Fig. 1 Parallel disk I/O subsystem of JUMP-1.

各ユニットは 4 本の STAFF-Link 入出力ポートを持ち、256 クラスタに対して、STAFF-Link は 64 台のクラスタに接続される。ワークステーション上のプロセッサはディスク操作などの低レベルの入出力操作を行う。

I/O ネットワークトポロジについては、図 2 に示すようなバイパスを持つリング結合が考えられるが、ツイストペアケーブルの接続を変更するだけで、さまざまな接続方式について実験することが可能である。

ルータボード上は、I/O アクセスのための共有入力バッファを持ち、このバッファは JUMP-1 本体の共有アドレス空間にマッピングされ、RDT パケットを用いてメモリアクセスとして I/O アクセスが行われる⁸⁾。したがって、I/O ネットワークルータ上のプロセッサが、プログラムにより RDT パケットのヘッダから転送先のユニットを判断し、ルーティングを行う。

図 3 には、16 台の I/O ユニットを図 2 のトポロジで接続した場合の、実際のシステムの様子を示す。

2.3 I/O ネットワークルータのハードウェア

図 2 に示した I/O ネットワークルータボードの様を以下に示す。

- ボード：SBus ダブルハイト
- ルーティング制御：DSP (TMS320C40)

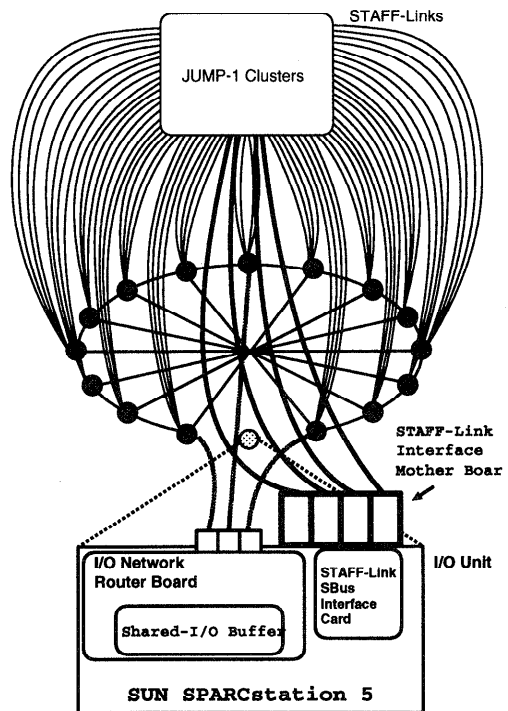


図 2 I/O サブシステムのネットワーク構成
Fig. 2 Network configuration of I/O subsystem.



図3 I/Oサブシステムの装着の様子
Fig. 3 Implementation of I/O subsystem.

- プログラムメモリ：512KW (2MB)，データメモリ：512KW (2MB)
 - 3チャンネルの STAFF-Link インタフェース
 - ボード間の接続：シールド・ツイストペアケーブル
- データメモリは、1章で述べた共有入出力バッファとして利用する。ルーティング制御や共有入出力バッファの管理、さらにはマルチメディアデータの入出力を行うアプリケーションへの対応を考慮して、コントローラとして DSP を採用した。

I/O ネットワークルータボードは6層プリント基板で実装され、STAFF-Link の制御や DSP とワークステーション上のプロセッサ間の通信制御のために2個の FPGA を用いた。また、DSP には DMA コントローラが内蔵されており、データメモリ-STAFF-Link 間の通信を高速に行うことができる。

3. シミュレーションによる並列 I/O の性能評価

我々は、I/O ネットワークを含めたシステムの構築・実装と並行して、シミュレーションによりシステムの性能評価を行った。

ここでは、I/O ネットワークの使用時において、I/O サブシステムの構成要素にかかる負荷を測定し、ネットワークを使用しないときの値と比較することにより、I/O ネットワークの有効性を明らかにする。

I/O ネットワークを使用しない場合というのは、上

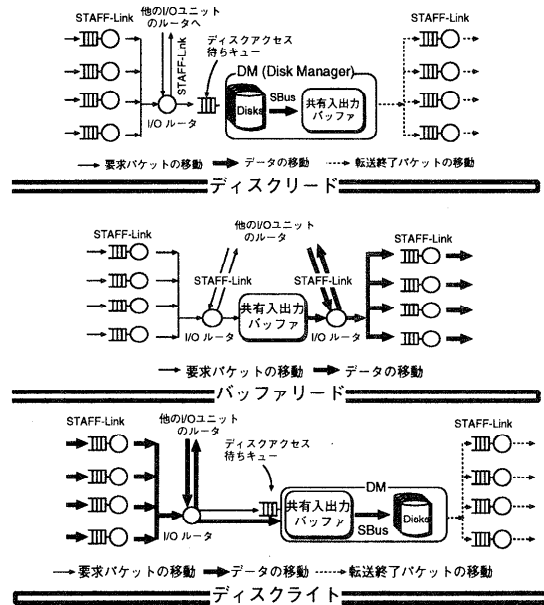


図4 アクセスモデル
Fig. 4 Access model.

位クラスタにおいて物理ブロック番号を把握した形で、直接ターゲットとなる I/O ユニットにアクセスを行うことを意味する。この場合、RDT ネットワークを通じて I/O コマンドやディスクブロックデータの転送を行う。ここでは、RDT ネットワークの転送速度とバンド幅を考慮し、RDT 上の転送遅延については無視できるものとする。

3.1 シミュレーションモデル

シミュレーションモデルについては、JUMP-1 のディスク I/O サブシステムのアクセス方式⁸⁾に基づいて構築した。図4にディスクリード、バッファリード、ディスクライトの3つのアクセスのモデルを示す。

図4中の矢印は、それぞれ要求パケット、データパケット、転送終了通知パケットの流れを示す。また、Disk Manager (DM) は、クラスタからのアクセス要求を受け取って実際にディスク装置にリード/ライトを行うスレッドとして実装される。

シミュレーションの対象となるシステムを以下に示す。

- クラスタ台数：256台
- I/O ユニット台数：64台
- ディスク台数：各々の I/O ユニットごとに7台
- ディスク容量：各 2.1 GB
- I/O ネットワークの結合方式：バイパスを持つリング結合
- STAFF-Link 転送速度：140 Mbps

ディスク装置と共有入出力バッファ間において、1トラック(40KB)分のデータの転送には、実験による実験からリード時に7.0ms、ライト時には5.0ms要した。I/Oネットワークルータのルーティング制御負荷、および論理-物理ブロック番号の変換、およびルータ間のコマンド転送時間は、ディスクブロックの転送時間やディスクアクセス時間に比べ微小であるため、無視できるものとする。これらの前提条件のもとにシミュレーションを行った結果を以下に示す。

3.2 シミュレーション結果

3.2.1 ランダムアクセス

ディスクI/Oサブシステム全体に対して、ランダムにリード/ライトアクセスを行ったときのI/Oネットワークにかかる負荷を測定するために、以下の条件でシミュレーションを行った。

- ランダムにアクセスするクラスタ台数：256台
- アクセスするブロックサイズ：4KB
- アクセスする論理ブロック番号は乱数により決定

以上の条件で、すべてのクラスタが1秒間に発行したリードおよびライトアクセスに対する応答時間、および各構成要素の占有率/稼働率を計測した。ここでいう応答時間とは、クラスタが要求を送出した時点から、リードアクセスの場合はディスクリードを処理し、I/Oユニットからの応答後バッファリードを行って、クラスタまでデータが送られるまでの時間を示す。この場合、ブロックデータはI/Oネットワーク上を流れることはない。また、ライトアクセスの場合は、クラスタからターゲットとなるユニット上の共有入出力バッファにデータが書き込まれ、応答メッセージがアクセスを行ったクラスタに到着するまでの時間を示す。ここでは、SBus、STAFF-Linkのアクセスが行われている時間割合を占有率、およびディスク、I/Oルータがビジー状態となる割合を稼働率として定義した。

リードアクセスの場合、およびライトアクセスの場合の応答時間をそれぞれ図5、図6に示す。そして、図7、図8には、それぞれの場合の各構成要素の稼働率/占有率を示す。なお、図7、図8において、I/Oネットワークのリンクに関しては、左右および対角側に隣接するノードへのリンクを、それぞれa、b、cとして区別することとする。

シミュレーションの結果より次のことがいえる。

- リードアクセスに関しては、I/Oネットワークの有無にかかわらず応答時間に差はなく、稼働率・占有率についても、ほぼグラフが重なっている。
- ライトアクセスについては、I/Oネットワークを用いた場合、応答時間は、いずれのアクセス頻度

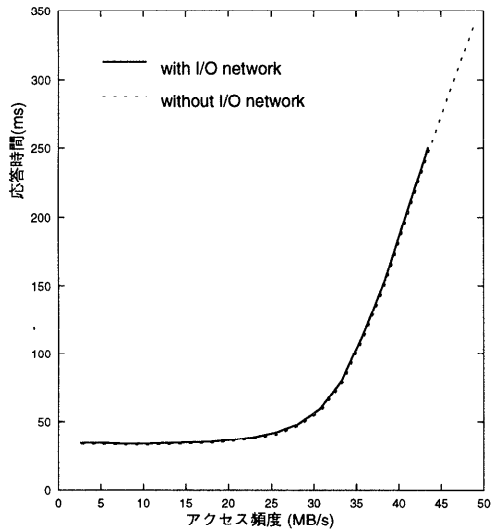


図5 リードアクセスの応答時間
Fig.5 Response time of a read access.

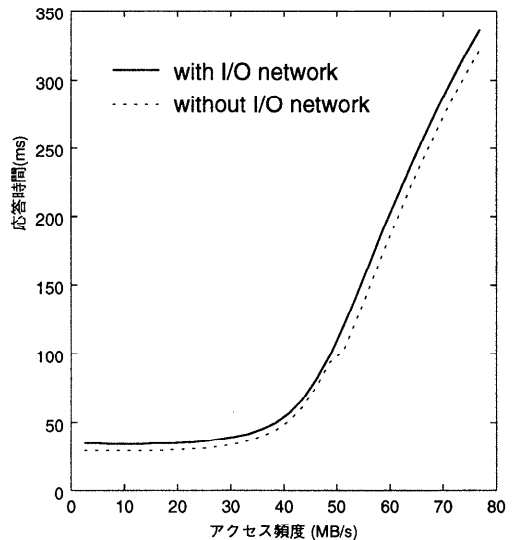


図6 ライトアクセスの応答時間
Fig.6 Response time of a write access.

に対しても約5msのI/OネットワークSTAFF-Linkによる転送のオーバヘッドが生じている。

- リード/ライトアクセスいずれにおいてもディスクの稼働率が大きく、特にSBusの占有率の増加が顕著である。
- リードアクセスにおいては、クラスタ-I/Oユニット間のSTAFF-LinkやI/OネットワークのSTAFF-LinkおよびI/Oルータ(DSP)の利用率がきわめて低い。またライトアクセスではリードに比べてI/Oネットワークの占有率が増加して

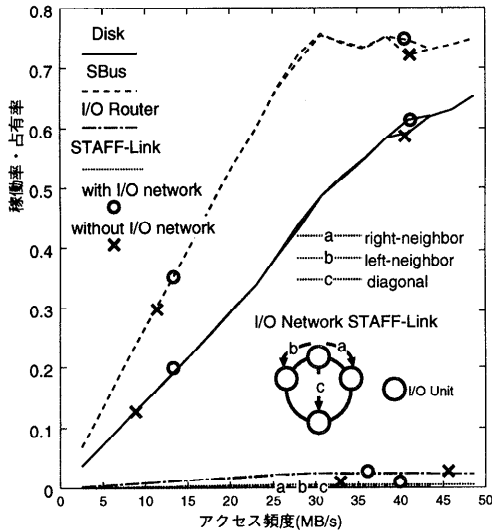


図7 リードアクセスの稼働率/占有率

Fig. 7 Working and occupation ratio of a read access.

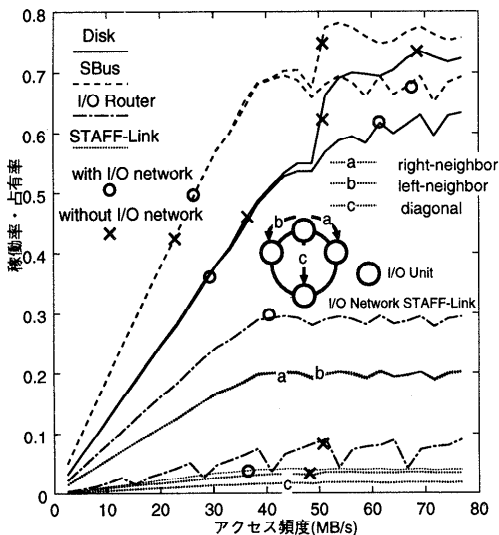


図8 ライトアクセスの稼働率/占有率

Fig. 8 Working and occupation ratio of a write access.

いるが、全体に影響を及ぼすほどの増加は見られない。

3.2.2 シーケンシャルアクセス

次に連続的なデータにアクセスする場合のI/Oネットワークにかかる負荷を検証するため、Video On Demand (VOD) アプリケーションのアクセスパターンを用いて実験を行った。このときの条件を以下に示す。

- 各ディスク装置には、再生時間90分のビデオストリーム128本がトラック単位で一様に分散して格納されているとする。

- アクセスパターンとして、クラスタは1トラック分のデータ要求を一度に全I/Oユニットに出す。要求されたデータは、1度クラスタ側の十分容量の大きいバッファに格納され、画像出力システムにMPEG-2の規格転送速度(8Mbps)で転送されることとし、これを複数回繰り返す。このため64台×1トラック分(2.56MB)を2.5秒以内にクラスタのバッファに転送しなければならないという制限を持つ。

以上の条件で、同時に要求されたビデオストリームの本数に対する1トラック分の応答時間、および各構成要素の稼働率/占有率を計測した。ここでいう応答時間とは、ランダムアクセスと同様にクラスタが要求を送出した時点から、データがクラスタに送られるまでの時間を示す。

VODアプリケーションを実行した場合のアクセスパターン時における1トラック分の応答時間を図9に示す。そして図10には、そのときの構成要素の稼働率/占有率を示す。これらの結果より次のことがいえる。

- ランダムリードアクセスと同様にI/Oネットワークの有無にかかわらず応答時間、稼働率、占有率について差はほとんど見られなかった。
- ディスクの稼働率、SBusの占有率が急激に増加している。
- I/Oネットワーク、およびI/Oネットワーク用STAFF-Linkはほとんど使用されていない。しかしランダムのリードアクセスに比べ、I/Oルータの稼働率が若干増加している。

3.3 考察

ランダムアクセスでは、全体の傾向として特にSBusの占有率が大きく、I/Oユニット内のバスバンド幅が重要な要素となると考えられる。ディスクが2台の場合には¹⁰⁾、ディスクの稼働率がシステム全体の性能を左右するものとなる結果を示したが、今回ディスク装置を7台接続した条件で行ったため、ディスク装置がユニット内で並列に動作でき、内部バスのボトルネックが顕著に現れた結果となった。

また、I/Oネットワークの占有率については、リードアクセスに関してはI/Oネットワークの有無にかかわらずほとんど差がないことから、I/Oネットワークを用いたディスクの仮想化のオーバーヘッドがほとんどないという結果が得られた。

ライトアクセスの場合は、書き込むべきディスクブロックデータがI/Oネットワーク上を転送されるため、リードアクセスに比べ平均応答時間に遅延が生じ

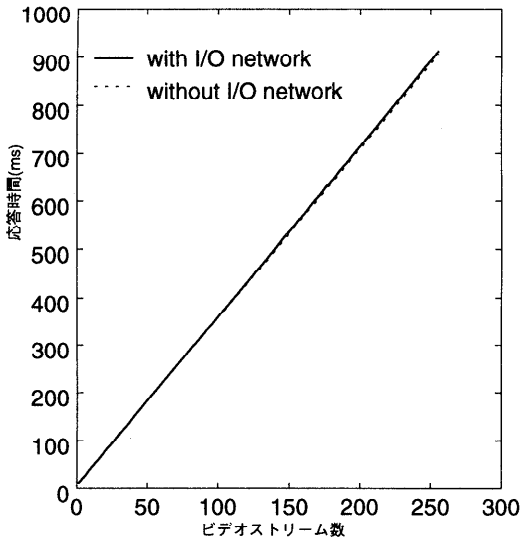


図9 シーケンシャルアクセスの応答時間

Fig. 9 Response time of a sequential read access.

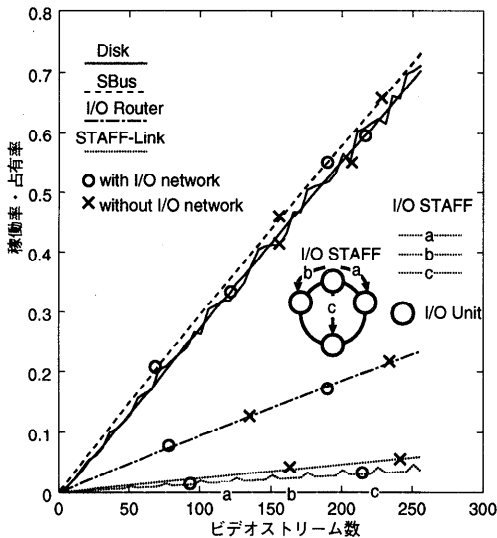


図10 シーケンシャルアクセスの稼働率/占有率

Fig. 10 Working and occupation ratio of a sequential read access.

るている。しかしながら、I/O ルータの稼働率は低くおさえられていることより、ランダムアクセスについてのI/O ネットワークは有効に機能していると考えられる。

一方シーケンシャル・リードアクセスでは、ランダム・リードアクセスに比べ、I/O ネットワークルータ稼働率が若干高くなっているものの、I/O ネットワークについては、I/O ネットワークのリンク占有率がきわめて低くおさえられている。

以上より、I/O ネットワークは、現状のディスク台数、およびSBusの転送能力に対して十分な処理能力や転送バンド幅を持っているといえ、ワークステーションを用いたI/O ユニットに対しては十分有効であると考えられる。

現状では、I/O バスであるSBusのバンド幅がボトルネックとなっている感があるが、I/O バスのバンド幅はWSにおいてもPCIバスが導入され、そのボトルネックは緩和されていく方向にある。

4. 現状と今後

4.1 ハードウェアと実験環境について

現在、I/O ルータボードは完成し、DSP 周辺の動作確認を完了した。そして、STAFF-Linkについても安定動作を確認し、高速シリアル転送の評価実験を進めている。

実装に関する今後のスケジュールとしては、マルチプロセッサタイプのワークステーションをJUMP-1 クラスタとみため、16 台の I/O ユニットより構成される並列 I/O のための実験環境を整備していく予定である。

4.2 ソフトウェアと評価実験について

これまで、JUMP-1 のディスク入出力サブシステムについて、デバイスドライバ層以下の実装を主に進めてきた。しかしながら、今後、構築する I/O システムの有効性の検証、性能評価を行うためにはシステムプログラムレベルでの考慮が必要になると思われる。

また、現在のところ、I/O ノードは単なるブロックデバイスとしての役割をしているだけであるが、各 I/O ノード上に存在するグローバル空間にマッピングされた共有入出力バッファメモリを効率良く利用するためのクラスタ側のデバイスドライバが必要となり、現在ほぼ実装を完了した。同様に、I/O ネットワークの能力を最大限利用するためには、I/O ノードをインテリジェント化し、ノード間での協調動作による有効性を示す必要がある。

以上の点をふまえ、今後のソフトウェアの実装および性能評価のスケジュールは、

- キャッシング、プリフェッチングアルゴリズムの検討
 - 実験システムにおけるユニット上の経路制御プログラムの開発
 - 実験システム上での入出力性能の評価
- といった形で進めていきたい。

謝辞 ルータボードの設計・制作にあたり多大なご支援をいただいた京都大学工学部富田真治教授に感謝いたします。ならびに、PCB 設計にあたり全面的にご協力いただいた東京大学理学部平木敬教授、松本

尚助手に感謝いたします。デバッグには、慶応大学理工学部天野英晴助教授や同研究室のみなさまに、またFPGA設計には神戸大学工学部吉山晃氏の協力をいただきました。なお、本研究の一部は文部省科学研究費・重点領域研究(1)(課題番号04235130「超並列ハードウェア・アーキテクチャの研究」)、および試験研究(A)(1)(課題番号06508001「超並列計算機プロトタイプの開発と試作」)による。

参考文献

- 1) Bagrodia, R., Chien, A., Hsu, Y. and Reed, D.: Input/Output: Instrumentation, Characterization, Modeling and Management Policy, Tech. Rept. of Caltech Concurrent Supercomputing Facilities, CCSF-41 (1994).
- 2) Krieger, O. and Stumm, M.: HFS: A Flexible File System for large-scale Multiprocessors, *Proc. 1993 DAGS/PC Symposium*, pp.6-14 (1993).
- 3) Corbett, P., Feitelson, D., Fineberg, S., Hsu, Y., Nitzberg, B., Prost, J., Snir, M., Traversat, B. and Wong, P.: Overview of the MPI-IO Parallel I/O Interface, *Proc. IPPS '95 Workshop on Input/Output in Parallel and Distributed Systems*, pp.1-15 (1995).
- 4) Tanaka, H. (Chief Editor): *The Massively Parallel Processing System JUMP-1*, Ohmsha & IOS Press (1996).
- 5) 中條, 岡田, 松本, 小畑, 松田, 平木, 金田: 分散共有メモリ型超並列計算機 JUMP-1 のディスク入出力サブシステム, 並列処理シンポジウム *JSP'95* 論文集, pp.67-74 (1995).
- 6) 中野, 中條, 岡田, 松本, 小畑, 松田, 平木, 金田: 超並列計算機 JUMP-1 における入出力サブシステムの実装, 情報処理学会研究報告, ARC113-18, pp.137-144 (1995).
- 7) Nakajo, H., Matsumoto, T., Kohata, M., Matsuda, H., Hiraki, K. and Kaneda, Y.: High Performance I/O System of the Distributed Shared-Memory Massively Parallel Computer JUMP-1, *Proc. 7th IASTED-ISMM Int. Conf. on Parallel and Distributed Computing and Systems*, pp.470-473 (1995).
- 8) 中條, 中野, 松本, 小畑, 松田, 平木, 金田: 分散共有メモリ型超並列計算機 JUMP-1 におけるスケラブル I/O サブシステムの構成, 情報処理学会論文誌, Vol.37, No.7, pp.1429-1439 (1996).
- 9) Nakajo, H., Ohtani, S. and Kaneda, Y.: A Simulation-based Evaluation of a Disk I/O Subsystem for a Massively Parallel Computer: JUMP-1, *Proc. 16th International Conference on Distributed Computing Systems*

(*ICDCS16*), pp.562-569 (1996).

- 10) 大谷, 中條, 金田: 超並列計算機 JUMP-1 での並列 I/O システムのシミュレーションによる評価, 並列処理シンポジウム *JSP'96* 論文集, pp.283-290 (1996).
- 11) 小畑, 江草俊文, 中條: 大規模並列計算機のための遠隔分散型画像表示システム, 情報処理学会論文誌, Vol.38, No.9, pp.1717-1725 (1997).

(平成 9 年 11 月 4 日受付)

(平成 10 年 4 月 3 日採録)



中條 拓伯 (正会員)

昭和 36 年生。昭和 60 年神戸大学工学部電気工学科卒業。昭和 62 年同大学大学院工学研究科電子工学修士課程修了。平成元年神戸大学工学部情報知能工学科助手。博士(工学)。

計算機アーキテクチャ, 並列処理, 並列入出力システムの研究に従事。電子情報通信学会会員。



大谷 智

昭和 48 年生。平成 7 年神戸大学工学部システム工学科卒業。平成 9 年同大学大学院自然科学研究科博士前期課程(情報知能工学専攻)修了。現在, 関西電力(株)において, ネット

ワーク技術の開発に従事。



中野 智行 (正会員)

昭和 47 年生。平成 7 年神戸大学工学部システム工学科卒業。平成 9 年同大学大学院自然科学研究科博士前期課程(情報知能工学専攻)修了。現在, 日立ソフトウェアエンジニア

リング(株)において, 分散システムに関する研究に従事。電子情報通信学会会員。



金田悠紀夫 (正会員)

昭和 15 年生。昭和 39 年神戸大学工学部電気工学科卒業。昭和 41 年同大学大学院電気工学専攻修士課程修了。昭和 41 年電気試験所(現電

総研)入所。昭和 51 年神戸大学工学部システム工学科, 現在同大学自然科学研究科教授。工学博士。高級言語マシン, 並列マシン, AI に興味を持っている。