

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月29日現在

機関番号：12201

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009～2011

課題番号：21500049

研究課題名（和文） 実験的手法による超大規模相互結合網の理論的体系化と工学的応用

研究課題名（英文） Theoretical Foundation and its Engineering Application on Extra Large-Scale Interconnection Networks by Empirical Approach

研究代表者

横田 隆史（YOKOTA TAKASHI）

宇都宮大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：90334078

研究成果の概要（和文）：相互結合網の性能を定量的に議論するための指標（臨界転送負荷、網性能指標）を提案し、種々の方式の間での比較を完全に定量的に行えるようにした。その上で、ルーティングアルゴリズムを体系化し、種々の転送パターンでの定常／非定常通信における転送性能を網羅的に測定した。その結果、定常／非定常通信の各々におけるルーティングアルゴリズムと転送パターンの関係について多くの知見を得られた。

研究成果の概要（英文）：This research has firstly proposed two fundamental indices (critical load ratio, and network performance measure) that enable quantitative discussions on interconnection networks in terms of performance. Then, the study has conducted much novel knowledge on extra-scale interconnection networks by exploiting comprehensive evaluations on routing algorithms, traffic patterns, and steady/unsteady communications.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学、計算機システム・ネットワーク

キーワード：計算機アーキテクチャ、相互結合網

1. 研究開始当初の背景

並列計算機において通信系は性能上の重要な鍵であり、数万以上のノードを擁する超並列スーパーコンピュータが実現されつつある状況においてもなお変わらない。相互結合網は通信系の中核部をなすものであり様々な技術の研究開発が続けられている。超大規模システムでは集中制御は現実的でないため必然的に分散制御となる。しかし独立した要素における個々の動作の集積として全体の挙動やひいては性能を明確にするこ

とは容易ではない。特に超大規模なシステムにおいては、相互結合網の挙動は明確になっておらず、したがって効果を事前に精度よく予測することもできなかった。

2. 研究の目的

本研究は、相互結合網の挙動を理論的に体系づけること、そしてその結果を制御手法として超大規模システムに対し応用可能とすることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 巨視的・微視的測度の検討

相互結合網技術の研究では、これまで性能評価グラフの形状そのものを比較することが一般的であった。この比較手法では多数の対象を同時に相互に比較することができない。このために、少数の数値により定量的な比較を行えるシステムを検討する。

(2) ルーティングアルゴリズムの体系化

種々提案されているルーティングアルゴリズムを体系化することで、より一般化した議論を行える基盤をつくる。

(3) 通信モデルの体系化

通信のパターン（送信・受信ノードの組）を整理するとともに、通信状況を定常的なものと非定常（一斉通信）とに分け、体系化する。

(4) シミュレーション評価環境の整備と評価

大規模システムの模擬を行えるよう、PC クラスタによるシミュレーション評価環境を構築・拡充し、その環境の上で評価を行う。

4. 研究成果

(1) 定量的性能指標の創出

超大規模相互結合網の性能を定量的に議論するための指標2つを定義した。臨界転送負荷(critical load ratio)と網性能指標(Network Performance Measure, NPM)である。前者は転送能力が飽和するときの負荷を示し、後者はスループットを平均レイテンシで除すことによる性能指標 (figure of merit) を表す。これらにより、従来、グラフ形状により行われてきた相互結合網の性能比較を、たかだか2つの数値(指標)により比較することが可能となった。

(2) 定常通信性能の明確化

システムの規模 N に対し、上記の2つの指標とも大よそ N^α となることが明らかになった。ルーティングアルゴリズムによる差異は、概ね定数倍であり、全体的な性向は類似することが明らかになった。また、性能グラフを N により正規化可能であることも判明した。

(3) 非定常通信性能の明確化

一斉同期通信に要する時間を評価した。通信所要時間は、システム規模 N に対して N^β となることが明らかになった。ただし通信パターンにより β の値は異なる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者に

は下線)

[雑誌論文] (計 22 件)

- (1) Hiroyoshi Jutori, Kanemitsu Ootsu, Takashi Yokota, Takanobu Baba, "Dynamic Selection of Speculative Paths in Two-Path Limited Speculation Method," Proc. 23rd IASTED International Conference on Parallel and Distributed Computing and Systems (PDCS 2011), pp.173-180, 2011. (査読有)
- (2) Kanemitsu Ootsu, Takashi Yokota, Takanobu Baba, "Performance Estimation of Speculative Multithreading through Whole Program Path," Proc. 23rd IASTED International Conference on Parallel and Distributed Computing and Systems (PDCS 2011), pp. 181-189, 2011. (査読有)
- (3) Kanemitsu Ootsu, Takashi Yokota, Takanobu Baba, "Performance Improvement of Hot-Path Based Thread Partitioning Technique by Unifying Loop Parallelization," Proc. 23rd IASTED International Conference on Parallel and Distributed Computing and Systems (PDCS 2011), pp. 252-261, 2011. (査読有)
- (4) 十鳥弘泰, 津田翼, 大津金光, 横田隆史, 馬場敬信, 2パス限定投機方式における最適投機対象パスの動的変更手法の検討, 電子情報通信学会技術報告, Vol.111, No.163, pp.31-36, 2011年. (査読無)
- (5) Takashi Yokota, Kanemitsu Ootsu, Takanobu Baba, "Steady/Unsteady Communication Performance in Large-Scale Regular Networks," Proc. 25th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA 2011), pp.727-732, 2011. (査読有)
- (6) Kanemitsu Ootsu, Takashi Shiroto, Takashi Yokota, Takanobu Baba, "Handling of Inter-Thread Memory Access Dependencies for Automatic Binary-Code Parallelization," Proc. 10th IASTED International Conference on Parallel and Distributed Computing and Networks (PDCN 2011), pp. 107-114, 2011. (査読有)
- (7) Yuanming Zhang, Gang Xiao, Kanemitsu Ootsu, Takashi Yokota, Takanobu Baba, "Automatic Thread Decomposition for Pipelined Multithreading," Proc. 16th International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS), pp.91-98, 2010. (査読有)
- (8) 白戸卓志, 大津金光, 横田隆史, 馬場敬信, バイナリレベル変数解析に基づいた自動並列化処理の初期評価, 電子情報通信学

- 会技術報告, Vol. 110, No. 318, pp. 31-36, 2010年. (査読無)
- (9) Kanemitsu Ootsu, Takeshi Abe, Takashi Yokota, Takanobu Baba, "Loop Performance Improvement for Min-Cut Program Decomposition Method," Proc. 1st International Conference on Networking and Computing (ICNC'10), pp. 78-87, 2010. (査読有)
- (10) 十鳥弘泰, 福田明宏, 津田翼, 大津金光, 横田隆史, 馬場敬信, "2パス限定投機システムにおける投機的メモリアクセスの検討," 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 110, No. 167, pp. 61-66, 2010年. (査読無)
- (11) 横田隆史, 大津金光, 馬場敬信, "相互結合網の転送パターンと定常・非定常性能について," 情報処理学会研究報告, Vol. 2010-ARC-190, No. 18, pp. 1-8, 2010年. (査読無)
- (12) Takashi Yokota, Kanemitsu Ootsu, Takanobu Baba, "An Effective Throttling Method based on Quasi-Global Congestion Information," Proc. 10th International Symposium on Pervasive Systems, Algorithms and Networks (I-SPAN 2009), pp. 104-109, 2009. (査読有)
- (13) Yuanming Zhang, Kanemitsu Ootsu, Takashi Yokota, Takanobu Baba, "Clustered Software Queue for Efficient Pipelined Multithreading," Proc. 10th International Conference on Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies (PDCAT 2009), pp. 116-123, 2009. (査読有)
- (14) 十鳥弘泰, 大津金光, 横田隆史, 馬場敬信, "2パス限定投機方式を実現するマルチコアプロセッサ PALS の提案," 電子情報通信学会技術報告, Vol. 109, No. 319, pp. 19-24, 2009年. (査読無)
- (15) Yuanming Zhang, Kanemitsu Ootsu, Takashi Yokota, Takanobu Baba, "Clustered Communication for Efficient Pipelined Multithreading on Commodity MCPs," IAENG International Journal of Computer Science, Volume 36 Issue 4, Pages 275-283, 2009. (査読有)
- (16) Yuanming Zhang, Kanemitsu Ootsu, Takashi Yokota, Takanobu Baba, "Clustered Pipelined Multithreading on Commodity Multi-Core Processors," システム制御情報学会論文誌, Vol. 22, No. 11, pp. 371-384, 2009. (査読有)
- (17) Takashi Yokota, Kanemitsu Ootsu, Takanobu Baba, "A Quantitative Evaluation Methodology of Interconnection Networks," IPSJ Transactions on Advanced Computing Systems, Vol. 2, No. 3, pp. 58-70, 2009. (査読有)
- (18) 馬場敬信, 大津金光, 横田隆史, YAWARA: "自己最適化計算機システム・プロジェクト," 電子情報通信学会技術報告, Vol. 109, No. 198, pp. 49-54, 2009年. (査読無)
- (19) 横田隆史, 大津金光, 馬場敬信, "準広域情報を用いるルーティングアルゴリズムの改善検討," 情報処理学会研究報告, Vol. 2009-ARC-184, No. 30, pp. 1-8, 2009年. (査読無)
- (20) Yuanming Zhang, Kanemitsu Ootsu, Takashi Yokota, Takanobu Baba, "Pipelined Multithreading with Clustered Communication for Commodity Multi-core Processors," 電子情報通信学会技術報告, Vol. 109, No. 168, pp. 97-102, 2009年. (査読無)
- (21) 大津金光, 小川大仁, 横田隆史, 馬場敬信, "プログラム実行パスに基づいた投機スレッド分割, システム制御情報学会論文誌, Vol. 22, No. 6, pp. 209-219, 2009年. (査読有)
- (22) Takashi Yokota, Kanemitsu Ootsu, Takanobu Baba, "A Quantitative Evaluation Methodology of Interconnection Networks," 先進的計算基盤システムシンポジウム SACSIS 2009 論文集, pp. 87-96, 2009. (査読有)
- [学会発表] (計 36 件)
- (1) 金海和宏, 大川猛, 大津金光, 横田隆史, 馬場敬信, "分岐予測機構を応用したループバス予測器の初期検討," 情報処理学会第74回全国大会, 2012年3月6日, 名古屋市.
- (2) 本間勇貴, 十鳥弘泰, 大津金光, 横田隆史, 馬場敬信, 大川猛, "2パス限定投機システムにおける最適化コードへのループ展開の適用効果の評価," 情報処理学会第74回全国大会, 2012年3月6日, 名古屋市.
- (3) 関口祐司, 十鳥弘泰, 大川猛, 大津金光, 横田隆史, 馬場敬信, "投機的なメモリアクセスを支援するためのキャッシュコヒーレンスプロトコルの検証," 情報処理学会第74回全国大会, 2012年3月6日, 名古屋市.
- (4) 五井孝典, 横田隆史, 大川猛, 大津金光, 馬場敬信, "2パス限定投機システムのハードウェア設計 - スレッド実行機構 -," 情報処理学会第74回全国大会, 2012年3月6日, 名古屋市.
- (5) 川上憂騎, 大川猛, 大津金光, 横田隆史, 馬場敬信, "H. 264デコード処理における2パス限定投機方式の最適化手法とその詳細評価," 情報処理学会第74回全国大会, 2012年3月6日, 名古屋市.
- (6) 塚本寛隆, 大津金光, 大川猛, 横田隆史,

- 馬場敬信, 命令を単位としたパスベーススレッド分割手法の検討, 情報処理学会第74回全国大会, 2012年3月6日, 名古屋市.
- (7) 修沢坤, 横田隆史, 大津金光, 大川猛, 馬場敬信, 基本ブロックを単位とする投機的マルチスレッドVLIWアーキテクチャ, 情報処理学会第74回全国大会, 2012年3月6日, 名古屋市.
- (8) 表雅之, 大津金光, 大川猛, 横田隆史, 馬場敬信, 暗号化ZIPファイルにおけるパスワード解析のGPUによる高速化, 情報処理学会第74回全国大会, 2012年3月7日, 名古屋市.
- (9) 椎名敦之, 大津金光, 大川猛, 横田隆史, 馬場敬信, Checkpoint/Restart機構によるシミュレーション時間の短縮, 情報処理学会第74回全国大会, 2012年3月7日, 名古屋市.
- (10) 須藤稔宗, 横田隆史, 大川猛, 大津金光, 馬場敬信, fat-treeにおけるバケット分布の可視化, 情報処理学会第74回全国大会, 2012年3月8日, 名古屋市.
- (11) 星孝幸, 大津金光, 大川猛, 横田隆史, 馬場敬信, 動的計測ツールのバイナリ変換機能を利用した自動並列処理システムの開発, 情報処理学会第74回全国大会, 2012年3月8日, 名古屋市.
- (12) 小室貴弘, 十鳥弘泰, 大川猛, 大津金光, 横田隆史, 馬場敬信, 投機的マルチスレッドシステムにおけるスレッド動作の可視化, 情報処理学会第74回全国大会, 2012年3月8日, 名古屋市.
- (13) 菅野智之, 大津金光, 横田隆史, 馬場敬信, 大川猛, 2パス限定投機システムにおける消費電力の検討, 情報処理学会第74回全国大会, 2012年3月8日, 名古屋市.
- (14) 十鳥弘泰, 大津金光, 横田隆史, 馬場敬信, 2パス限定投機システムによる非数値処理系プログラムの高速化, 先進的計算基盤システムシンポジウムSACSIS 2011, 2011年5月26日, 東京都.
- (15) 修沢坤, 横田隆史, 大津金光, 馬場敬信, 投機的マルチスレッド実行を行うVLIWマシンによるILPとTLPの活用, 情報処理学会第73回全国大会, 2011年3月2日, 東京都.
- (16) 北直樹, 横田隆史, 大津金光, 馬場敬信, 投機メモリスシステムのハードウェア実装, 情報処理学会第73回全国大会, 2011年3月2日, 東京都.
- (17) 金海和宏, 大津金光, 横田隆史, 馬場敬信, 2パス限定投機システムにおけるパス予測器の検討, 情報処理学会第73回全国大会, 2011年3月2日, 東京都.
- (18) 関口祐司, 十鳥弘泰, 大津金光, 横田隆史, 馬場敬信, 2パス限定投機システムにおける投機的メモリアクセスの解析, 情報処理学会第73回全国大会, 2011年3月2日, 東京都.
- (19) 津田翼, 大津金光, 横田隆史, 馬場敬信, 2パス限定投機方式における動的最適化の効果, 情報処理学会第73回全国大会, 2011年3月2日, 東京都.
- (20) 福田明宏, 十鳥弘泰, 大津金光, 横田隆史, 馬場敬信, 2パス限定投機システムにおけるコードスケジューリング手法とその評価, 情報処理学会第73回全国大会, 2011年3月2日, 東京都.
- (21) 十鳥弘泰, 大津金光, 横田隆史, 馬場敬信, 2パス限定投機システムによる難並列化ループの高速化, 情報処理学会第73回全国大会, 2011年3月3日, 東京都.
- (22) 川上憂騎, 大津金光, 横田隆史, 馬場敬信, H. 264のデコード処理における2パス限定投機方式の並列性能評価, 情報処理学会第73回全国大会, 2011年3月3日, 東京都.
- (23) 高橋辰平, 白戸卓志, 大津金光, 横田隆史, 馬場敬信, プログラムループおよび実行パスに基づいた自動並列化システムの検討, 情報処理学会第73回全国大会, 2011年3月4日, 東京都.
- (24) 塚本寛隆, 大津金光, 横田隆史, 馬場敬信, スレッド間データ依存を考慮したパスベーススレッド分割手法の検討, 情報処理学会第73回全国大会, 2011年3月4日, 東京都.
- (25) 横田隆史, 大津金光, 馬場敬信, 相互結合網の非定常性能—予備評価—, 先進的計算基盤システムシンポジウム SACSIS 2010, 2010年5月27日, 奈良市.
- (26) 山形雄紀, 伊里拓也, 大津金光, 横田隆史, 馬場敬信, パスベーススレッド分割による並列実行性能の評価, 情報処理学会第72回全国大会, 2010年3月9日, 東京都.
- (27) 森裕貴, 横田隆史, 大津金光, 馬場敬信, 広域情報によるTurn-Modelの高性能化, 情報処理学会第72回全国大会, 2010年3月9日, 東京都.
- (28) 阿部武志, 大津金光, 横田隆史, 馬場敬信, グラフ理論に基づくスレッド分割におけるループ性能向上法, 情報処理学会第72回全国大会, 2010年3月10日, 東京都.
- (29) 白戸卓志, 大津金光, 横田隆史, 馬場敬信, バイナリレベル変数解析に基づいた自動並列化システムの実装, 情報処理学会第72回全国大会, 2010年3月10日, 東京都.
- (30) 伊里拓也, 大津金光, 横田隆史, 馬場敬信, パスベーススレッド分割手法に基づく自動並列化処理の実装, 情報処理学会第72回全国大会, 2010年3月10日, 東京都.
- (31) 津田翼, 大津金光, 横田隆史, 馬場敬信, 2パス限定投機方式における動的最適化適用可能性の検討, 情報処理学会第72回全国大会, 2010年3月11日, 東京都.
- (32) 北直樹, 十鳥弘泰, 横田隆史, 大津金光,

馬場敬信, 2パス限定投機システムのハードウェア設計 –メモリアクセス機構–, 情報処理学会第72回全国大会, 2010年3月11日, 東京都.

(33) 金井新一, 十鳥弘泰, 横田隆史, 大津金光, 馬場敬信, 2パス限定投機システムのハードウェア設計 –マルチスレッド制御機構–, 情報処理学会第72回全国大会, 2010年3月11日, 東京都.

(34) 十鳥弘泰, 福田明宏, 大津金光, 横田隆史, 馬場敬信, 2パス限定投機システムPALSの評価環境 –システムシミュレーター–, 情報処理学会第72回全国大会, 2010年3月11日, 東京都.

(35) 福田明宏, 十鳥弘泰, 大津金光, 横田隆史, 馬場敬信, 2パス限定投機システムPALSの評価環境 –言語処理系–, 情報処理学会第72回全国大会, 2010年3月11日, 東京都.

(36) 川上憂騎, 大津金光, 横田隆史, 馬場敬信, H.264デコーダにおける2パス限定投機方式の適用検討, 情報処理学会第72回全国大会, 2010年3月11日, 東京都.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

横田 隆史 (YOKOTA TAKASHI)
宇都宮大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：90334078

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者

馬場 敬信 (BABA TAKANOBU)
宇都宮大学・理事
研究者番号：70092616
大津 金光 (OOTSU KANEMITSU)
宇都宮大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：00292574