



超高速ノンブロック・ネットワーク 構成方式に関する研究

(研究課題番号 14380138)

平成14年度～平成16年度科学研究費補助金
基盤研究 (B)(2)
研究成果報告書

平成17年4月

研究代表者 堀 口 進
(東北大学・大学院情報科学研究科・教授)

超高速ノンブロック・ネットワーク 構成方式に関する研究

研究課題番号 14380138

平成14年度～平成16年度科学研究費補助金

基盤研究(B)

研究成果報告書

平成17年4月

研究代表 堀 口 進

東北大学・大学院情報科学研究科・教授

目次

はしがき	iii
研究課題名	iv
研究組織	iv
研究発表論文リスト	v
研究成果	xii

Non-blocking Network Architectures for High-speed Switching Networks

Chapter 1 Introduction

Chapter 2 Generated recursive networks

Chapter 3 Vertically stacked optical banyan networks

Chapter 4 Construction of high-speed optical switches

Chapter 5 Efficient restoration in WDM networks

主要学術論文

はしがき

本研究報告書は、平成 14 年度～平成 16 年度に文部科学省ならびに日本学術振興会より交付された科学研究費補助金・基盤研究(B)「超高速ノンブロック・ネットワーク構成方式に関する研究」の研究成果を、国内外において発表してきた研究論文に基づき取りまとめたものである。

最先端科学技術分野のみならず一般社会でも、超高速ネットワークは情報基盤インフラとして期待が寄せられている。近年の VLSI 技術の発展によりネットワーク性能は、飛躍的な高速・広帯域化を実現した。しかし、刻一刻と増大する膨大な通信要求量のため、より高速な次世代ネットワークの実現が望まれている。次世代超高速ネットワークではペタバイトの伝送性能が必要とされ、多重伝送方式に代わり波長多重伝送方式(WDM)が注目されている。この波長多重伝送方式では、現在の光接続(コネクション)を変更することなく多数の結合要求を瞬時に実現する超高速ノンブロック・ネットワーク構成方式の確立が不可欠である。

我々は、 3×3 ノンブロック・ネットワークが 2 つの 3 ループを共有(self-healing ring)構成し、ネットワーク上の通信接続状態の追加・削除(add・drop)を有効に行え、最小の光スイッチ素子を用いて構築が可能であることを示した。このメカニズムにより複数のバックボーン間の通信を高速に行う方式に着目し、本研究では小規模な光スイッチング・デバイスを用いて 3×3 ワイドセンス・ノンブロック・ネットワーク方式である再帰構造多段結合型スイッチネットワークを提案した。また、再帰構造多段結合型スイッチネットワークが、半数のコネクションをブロックせず接続変更が可能なワイドセンス・ノンブロッキングであり、クロストークやスイッチロスを最小にするネットワーク方式であることを明らかにした。更に、このワイドセンス・ノンブロック光スイッチング網を用いて大規模超高速ネットワークを構成できることを明らかにした。

現在、国際通信の分野ではグローバル化が進み、各国では超高速ネットワークのインフラ整備に精力的に取り組んでいる。様々な高速通信技術が提案されているが、光波長多重伝送方式は各先進国で敷設されたファイバを有効に使用できる方式であり、今後の基盤通信技術として研究開発されることは間違いない。本研究の超高速ノンブロック・ネットワーク構成方式は、光波長多重伝送方式を実現するための一つの重要な基盤技術である。これらの基礎技術が確立されれば、近未来の超高速・広帯域ネットワークの実用化に寄与し、現在のわが国の情報通信技術を飛躍的に向上させることができる。

本研究が、今後ますます発展する最先端科学技術分野で必要とされる超高速オプティカル・ネットワークの研究に大いに役立つことを願っている。この研究成果報告書が、これら関係分野の研究者各位のお役に立てば幸いである。

研究課題名

『超高速ノンブロック・ネットワーク構成方式に関する研究』

研究組織

研究代表者

堀口 進 (東北大学・大学院情報科学研究科・教授)

研究分担者

姜 暁鴻 (東北大学・大学院情報科学研究科・助教授)

山森 一人 (宮崎大学・工学部・助教授)

井口 寧 (北陸先端科学技術大学院大学・情報科学センタ・助教授)

福土 将 (東北大学・大学院情報科学研究科・助手)

研究経費

平成14年度 5,400,000円

平成15年度 5,100,000円

平成16年度 4,800,000円

研究発表論文リスト

学術論文 (Journal Paper)

1. M. M. H. Rahman, Yasushi Inoguchi and S. Horiguchi,
"3D-Torus Network," IEICE Trans. on Information and Systems, Japan, vol. E88-D, no. 2,
pp.177-186, (2005, Feb.)
2. E. Sugawara, M. Fukushi and S. Horiguchi,
"A Self-reconfigurable Multi-layer Neural Networks with Genetic Algorithms",
IEICE Transactions on Information and Systems, Vol. E87-D, No. 9, pp. 2021-2028, (2004, Sep.).
3. M. M. H. Rahman and S. Horiguchi,
"Dynamic Communication Performance of a Hierarchical Torus Network under Non-uniform
Traffic Patterns",
IEICE Transactions on Information and Systems, Vol. E87-D, No. 7, pp.1887-1896, (2004 Jul.).
4. M.M.R. Khandker, X. Jiang, P.H. Ho, S. Horiguchi, H.T. Mouftah,
"Performance of Fast Routing Algorithms in Large Optical Switches Built on the Vertical Stacking
of Banyan Structures",
Cluster Computing: The Journal of Networks, Software Tools and Applications, Vol.7/3, pp.
219-224, (2004).
5. M. Fukushi and S. Horiguchi,
"A Self-reconfigurable Hardware Architecture for Mesh Arrays Using Single/Double Vertical
Track Switches",
IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 53, No. 2, pp.357-367 (2004 Apr.).
6. M. M. A. Azim, X. Jiang, M.. M.. R. Khandker, S. Horiguchi and P.H. Ho,
"Active Light-path Restoration in WDM Networks",
Journal of Optical Networking, Optical Society of America, Vol.3/4, pp. 247-260, (2004).
7. X. Jiang, H. Shen and S. Horiguchi,
"Blocking Behaviours of Crosstalk-Free Optical Muiltstage Interconnection Networks on Vertical
Stacking",
IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 11, No. 6, pp. 982-993, (2003 Dec.).
8. X. Jiang, M. M. R. Khandker, H. Shen and S. Horiguchi,
"A Nonblocking Optical Switching Network for Crosstalk-free Permutation",
IEICE Transactions on Communications, Vol.E86-B/12, pp. 3580-3589, (2003 Dec).
9. M. M. H. Rahman and S. Horiguchi,
"HTN: A New Hierarchical Interconnection Network for Massively Parallel Computers",
IEICE Trans. on Information and Systems, Vol.E86-D, No.9, pp. 1479-1486, (2003 Sept.).

10. X. Jiang, H. Shen, M. R. Khandker and S. Horiguchi,
"Crosstalk-free Permutation in Photonic Rearrangeable Networks Built on a Combination of Horizontal Expansion and Vertical Stacking of Banyan Networks",
IEICE Trans. on Information and Systems, Vol.E86-D, No.9, pp.1525-1533, (2003 Sept.).
11. N. Scaife, R. Hayashi and S. Horiguchi,
"Parallel Molecular Dynamics in a Parallelizing SML Compiler",
IEICE Trans. on Information and Systems, Vol.E86-D, No.9, pp. 1569-1576, (2003 Sept.).
12. X. Jiang, H. Shen, M. R. Khandker and S. Horiguchi,
"A New Scheme to Realize Crosstalk-free Permutation in Vertically Stacked Optical MINs",
Photonic Network Communications, Vol.5, No.1, pp.89-102 (2003).
13. H. Shen, Y. Pan, J. Sum and S. Horiguchi,
"Multicasting in Multihop Optical WDM Networks with Limited Wavelength Conversion",
IEICE Trans. on Information and Systems, Vol.E86-D, No.1, pp.3-14 (2003 Jan.).
14. X. Jiang, Y. Hao and S. Horiguchi,
"A New Approach for Critical Area Estimation in VLSI",
Journal of Systems Architecture, Vol.47, No.10 pp.869-881, (2002)
15. Md. M. Khandker, X. Jiang, S. Horiguchi and H. Shen,
"Generalized Recursive Network: A New Architecture for Self-Routing Non-blocking Optical Switch Networks"
Optics Communications, vol. 208/4-6 pp. 299-308, (2002)
16. M. Fukushi and S. Horiguchi,
"An Efficient Self-reconfiguration Algorithm for Degradable Processor Arrays",
Journal of Information Processing Society of Japan, vol.43, No.4, pp.844-854 (2002 April)

学術書籍 (Book)

17. H. Shen, S. Horiguchi and Yi Pan,
"Routing in Multihop Optical WDM Networks with Limited Wavelength Conversion", pp. 217-248, Chap. 7, Optical Switching Networking and Computing for Multimedia Systems, edited by M. Guizani and A. Battou, Marcel Dekker, Inc. ISBN 0-8247-0707-9

國際會議論文

(Refereed Papers of International Conferences)

1. Md. Mamun-ur-Rashid Khandker, Xiaohong Jiang and Susumu Horiguchi, "A Novel Architecture for building High-Speed Photonic Switch," Proc. of Eighth International Symposium on Contemporary Photonic Technology (CPT2005), pp.89-90, Tokyo, Japan, (2005 Jan.).
2. Vinh Trong Le, Son Hong Ngo, Xiaohong Jiang, Susumu Horiguchi and Minyi Guo, "A Genetic Algorithm for Dynamic Routing and Wavelength Assignment in WDM Networks," Proc. of Second International Symposium on Parallel and Distributed Processing and Applications (ISPA'2004), LNCS3358, pp.893-903, HongKong, China, (2004 Dec.).
3. Janos Tapolcai, Pin-Han Ho, Xiaohong Jiang and Susumu Horiguchi, "A Novel Distributed Control Architecture for Shared Protection," Proc. the IEEE Global Communications Conference (IEEE GLOBECOM), IEEE CS Press, Dallas, USA (Nov.29-Dec.3, 2004).
4. M. M. H. Rahman and S. Horiguchi, "High Performance Hierarchical Torus Network under Matrix Transpose Traffic Patterns", Proc. of the 7th ISPAN, Hong-Kong, PRC (2004).
5. X. Jiang, H. Shen and S. Horiguchi, "Performance Analysis of A Novel All-optical Photonic Switch", Proc. the Seventh International Symposium on Contemporary Photonics Technology (CPT2004), pp.71-72, Tokyo, Japan (2004 Jan).
6. X. Jiang, P.H. Ho, H. Shen and S. Horiguchi, "Fault Tolerance Analysis of Optical Switching Systems Built on the Vertical Stacking of Banyan Network", Proc. the 2004 IEEE Workshop on High Performance Switching and Routing, pp. 360-364, Phoenix, USA, (2004 April).
7. C. Yu, X. Jiang and S. Horiguchi, "Analysis of Blocking Probability for Vertically Stacked Optical Banyan Networks with Extra Stage", Proceedings of the IASTED International Conference on Optical Communication Systems and Networks (OCSN'04), July 2004, 845-850.
8. M. M. A. Azim, X. Jiang, P.-H. Ho, and S. Horiguchi, "Performance Analysis of WDM Networks Employing Active Restoration," Proceedings of the IASTED International Conference on Optical Communication Systems and Networks (OCSN'04), July 2004, pp.796-801.
9. M. M. A. Azim, X. Jiang, P.-H. Ho, M. M. R. Khandker, and S. Horiguchi, "A New Scheme for Lightpath Restoration in WDM Networks", Proceedings of the International Workshop on Optical Networks Control and Management (ONCM'04), pp.381-386, Montreal, Quebec, Canada, (2004, Aug.).

10. S.-H. Ngo, X. Jiang, S. Horiguchi, and M. Guo,
"Dynamic Routing and Wavelength Assignment in WDM Networks with Ant-Based Agents",
Proc. of International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing (EUC 2004), pp.
829-838, Aizu-Wakamatsu City, Japan, (2004, Aug.).
11. S.-H. Ngo, X. Jiang, and S. Horiguchi,
"Adaptive Routing and Wavelength Assignment Using Ant-Based Algorithm",
IEEE International Conference on Networking (ICON2004), pp.482-486, Singapore, (2004, Nov.).
12. M. Fukushi and S. Horiguchi,
"Reconfiguration Algorithm for Degradable Processor Arrays Based on Row and Column
Rerouting Schemes",
Proceedings of the 19th IEEE International Symposium on Defect and Fault Tolerance in VISL
Systems, pp. 496-504, Cannes France (2004, Oct.).
13. Md. Mahbubur Rahman and Susumu Horiguchi,
"An Ellipses Correspondence Based Self-Calibration Algorithm for Omnidirectional Sensors",
Proc. International Conference on Computer and Information Technology (ICCIT 2004),
pp.191-196 (Dec. 2004)
14. Md. Mamun-ur-Rashid Khandker, Xiaohong Jiang, Pin-Han Ho and Susumu Horiguchi,
"Blocking probability of self-routing vertically stacked optical banyan switching networks,"
Proceedings of 3rd International Conference on Electrical and Computer Engineering, pp.143-146,
Dhaka, Bangladesh, (Dec 2004).
15. X. Jiang, H. Shen and S. Horiguchi,
"Design of Optical Rearrangeably Nonblocking MINs Under Various Crosstalk Constraints",
Proc. the Fourth International Conference on Parallel and Distributed Computing, Applications and
Technologies (PDCAT'03), IEEE Press, pp. 272-276, Chengdu, China (2003 Aug).
16. X. Jiang, H. Shen and S. Horiguchi,
"Vertical Stacking Scheme for Building Optical Switching Systems",
Proc. the First Int'l Symposium on Towards Peta-Bit Ultra-Networks pp. 34-39, Ishikawa, Japan
(2003 Sept).
17. M. M. H. Rahman and S. Horiguchi,
"Efficient Applications on High-Performance Network of Hierarchical Torus",
Proc. of the First Int'l Symposium on Towards Peta-Bit Ultra-Networks, pp.68-77, Ishikawa, Japan
(2003 Sept.).
18. E. Sugawara, M. Fukushi and S. Horiguchi,
"Fault Tolerant Multi-layer Neural Networks with GA Training",
Proc. the IEEE International Symposium on Defect and Fault Tolerance in VLSI System, IEEE CS
Press, pp.328-335, Cambridge, MA, USA (2003 Nov.).
19. X. Jiang, H. Shen and S. Horiguchi,
"Blocking Probability of Vertically Stacked Optical Banyan Networks Under Random Routing",

Proc. the IEEE Global Communications Conference (IEEE GLOBECOM), IEEE CS Press, San Francisco, USA (2003 Dec).

20. M. M. A. Azim, Md. M. R. Khandker and S. Horiguchi,
"An Active Lightpath Restoration Method Using Multi-Backup Paths in WDM Networks",
Proc. Of International Symposium on Towards Peta-Bit Ultra-Networks, No.1, pp. 40-47, Sept. 2003.
21. M. R. Khandker, S. Horiguchi,
"The Construction of Large Building Blocks and its Effect on Performance of Generalized Recursive Networks,"
Proc. of International Symposium on Towards Peta-Bit Ultra-Networks, (ISBN4-9900330-3-5) Ishikawa, Japan, pp.48-54 (2003).
22. M. M. Azim, M. R. Khandker and S. Horiguchi,
"An Active Lightpath Restoration Method Using Multi-Backup Paths in WDM Networks,"
Proc. of International Symposium on Towards Peta-Bit Ultra-Networks, (ISBN4-9900330-3-5) Ishikawa, Japan, pp. 40-47 (2003).
23. X. Jiang, H. Shen, M. R. Khandker and S. Horiguchi,
"A New Scheme to Realize Crosstalk-free Permutations in Optical MINs with Vertical Stacking",
Proc. of International Symposium on Parallel Architectures, Algorithms and Networks (ISPAN'2002), IEEE CS Press, pp.341-346. Makati, Philippines (2002 May)
24. X. Jiang, M. R. Khandker, H. Shen and S. Horiguchi,
"Permutation in Rearrangeable Nonblocking Optical MINs with Zero First Order Switching Element-Crosstalk",
Proc. of Workshop on High Performance Switching and Routing, pp.19-23, ISBN:4-88552-184-X (IEEE 02TH8615), Kobe, Japan (2002 May)
25. M. R. Khandker, X. Jiang, H. Shen and S. Horiguchi,
"Generalized Recursive Network: A New Architecture for Nonblocking Optical Multistage Interconnection Networks",
Proc. of Workshop on High Performance Switching and Routing, pp.199-203, ISBN:4-88552-184-X (IEEE 02TH8615), Kobe, Japan (2002 May)
26. Matsushima, R. Hayashi and S. Horiguchi,
"Performance Improvement of MPI-FASTA on a Parallel Computer IBM/SP"
Proceedings of The Third International Conference on Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies (PDCAT'02) ISBN4-9900330-2-7, pp.33-37, Kanazawa, Japan (2002 Sept)
27. M. Fukushi and S. Horiguchi,
"Yield Enhancement of WSI Mesh Arrays by Hybrid Reconfiguration Scheme",
Proceedings of The Third International Conference on Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies (PDCAT'02)
ISBN4-9900330-2-7, pp.38-43, Kanazawa, Japan (2002 Sept)

28. M.M.H. Rahman and S. Horiguchi,
 "Network Performance of Hierarchical Torus Network: HTN",
 Proceedings of The Third International Conference on Parallel and Distributed Computing,
 Applications and Technologies (PDCAT'02)
 ISBN4-9900330-2-7, pp.122-129, Kanazawa, Japan (2002 Sept)
29. Y. Yazawa and S. Horiguchi,
 "A Task Placement Algorithm Towards Optimal Load Balancing in Heterogeneous Workstation
 Cluster",
 Proceedings of The Third International Conference on Parallel and Distributed Computing,
 Applications and Technologies (PDCAT'02) ISBN4-9900330-2-7, pp.256-263, Kanazawa,
 Japan (2002 Sept)
30. X. Jiang, H. Shen, Md.M.R. Khandker and S. Horiguchi,
 "Crosstalk-free Permutation in Photonic Rearrangeable Networks Built on a Combination of
 Horizontal Expansion and Vertical Stacking of Banyan Networks",
 Proceedings of The Third International Conference on Parallel and Distributed Computing,
 Applications and Technologies (PDCAT'02)
 ISBN4-9900330-2-7, pp.327-334, Kanazawa, Japan (2002 Sept)
31. Y. Miura and S. Horiguchi,
 "An Adaptive Routing for Hierarchical Interconnection Network TESH",
 Proceedings of The Third International Conference on Parallel and Distributed Computing,
 Applications and Technologies (PDCAT'02) ISBN4-9900330-2-7, pp.335-342, Kanazawa,
 Japan (2002 Sept)
32. K. Yamamori, T. Abe, S. Horiguchi and I. Yoshihara,
 "Compound Defect Compensation on Multi-layer Neural Networks by Partial Retraining Scheme",
 Proceedings of The Third International Conference on Parallel and Distributed Computing,
 Applications and Technologies (PDCAT'02), ISBN4-9900330-2-7, pp.403-408, Kanazawa, Japan
 (2002 Sept)
33. N. Scaife, R. Hayashi and S. Horiguchi,
 "Parallel Molecular Dynamics in a Parallelizing SML Compiler",
 Proceedings of The Third International Conference on Parallel and Distributed Computing,
 Applications and Technologies (PDCAT'02), ISBN4-9900330-2-7, pp.447-454, Kanazawa, Japan
 (2002 Sept)
34. E. Adachi and S. Horiguchi,
 "Multi-resolutional Optical Flow Estimation with Local Optimization",
 Proc. of International Conference on Image Processing, Vol.II, pp.257-260, (2002 Sep.).
35. X. Jiang, H. Shen, Md. M.R. Khandker and S. Horiguchi,
 " Modeling the Blocking Probabilities of Crosstalk-free Optical MINs with Vertical Stacking ",
 Proc. of IEEE Region 10 Technical Conference on Computers, Communications, Control and
 Power Engineering (IEEE TENCON'02), Beijing, China (2002 Oct.)
36. S. Horiguchi and Y. Miura,

- "Performance of Deadlock-Free Adaptive Routing for Hierarchical Interconnection Network TESH",
Proc. the 17th IEEE International Symposium on Defect and Fault Tolerance in VLSI Systems,
pp.275-283, Vancouver, Canada (2002 Oct.)
37. X. Jiang, H. Shen , Md. M.R. Khandker and S. Horiguchi,
" Vertically Stacked Benes Networks for Crosstalk-free Permutation",
International Symposium on Cyber Worlds (CW2002), Tokyo, Japan (2002 Nov)
38. M. M. Hafizur Rahman, Yasuyuki Miura, and Susumu Horiguchi,
"Dynamic Communication Performance of Hierarchical Interconnection Network: H3D-Mesh",
Proc. Second International Conference on Electrical and Computer Engineering (ICECE 2002),
pp.352-355, (2002 Dec.).
39. M. M. Hafizur Rahman and Susumu Horiguchi,
"A Deadlock-Free Routing Algorithm of Hierarchical Torus Network: HTN",
Proc. 6th Int'l Conf. on HPC Asia, Vol.1, pp.114-119, (2002 Dec.).

本報告書収録の学術雑誌等発表論文は本ファイルに登録していません。なお、このうち東北大学在籍の研究者の論文で、かつ、出版社等から著作権の許諾が得られた論文は、個別に **TOUR** に登録しております。