

二国間交流事業 共同研究報告書

令和4年5月17日

独立行政法人日本学術振興会理事長 殿

[日本側代表者所属機関・部局]
京都大学 大学院情報学研究科
[職・氏名]
教授 大木 英司
[課題番号]
JPJSBP 120207712

1. 事業名 相手国: インド (振興会対応機関: DST) との共同研究

2. 研究課題名

(和文) エラスティック光ネットワークにおける機械学習によるスペクトルのデフラグ管理

(英文) Spectrum defragmentation management in elastic optical networks using machine learning

3. 共同研究実施期間 2020年7月1日 ～ 2022年4月30日 (1年10ヶ月)

4. 相手国側代表者(所属機関名・職名・氏名【全て英文】)

Bijoy Chand Chatterjee, Assistant Professor,
South Asian University (An international university established by
SAARC nations), New Delhi, India

5. 委託費総額(返還額を除く)

本事業により執行した委託費総額		1,900,000 円
内訳	1年度目執行経費	950,000 円
	2年度目執行経費	950,000 円
	3年度目執行経費	0 円

6. 共同研究実施期間を通じた参加者数(代表者を含む)

日本側参加者等	3名
相手国側参加者等	4名

* 参加者リスト(様式 B1(1))に表示される合計数を転記してください(途中で不参加となった方も含め、全ての期間で参加した通算の参加者数となります)。

7. 派遣・受入実績

	派遣		受入
	相手国	第三国	
1年度目	0	0	(0)
2年度目	0	0	(0)
3年度目	0	0	(0)

* 派遣・受入実績(様式 B1(3))に表示される合計数を転記してください。

派遣:委託費を使用した日本側参加者等の相手国及び相手国以外への渡航実績(延べ人数)。
受入:相手国側参加者等の来日実績(延べ人数)。カッコ内は委託費で滞在費等を負担した内数。

8. 研究交流の概要・成果等

(1)研究交流概要(全期間を通じた研究交流の目的・実施状況)

日本の PI、大木英司は、京都大学の研究チームを統括し、課題責任者・コーディネータとして活動した。インドの PI、Bijoy Chand Chatterjee は、South Asian University (SAU)に所属し、SAU の研究チームを統括し、課題責任者・コーディネータとして活動した。研究内容を議論するために、週に 1-2 回程度、メール、及び、遠隔会議によるミーティングを行った。また、相互に相手機関で遠隔講義を行うことにより、相互に学術・文化交流を図った。

図1に共同研究の体制を示す。Chatterjee 博士と大木教授の研究グループは、それぞれ、大学院生を有し、共同研究を実施した。

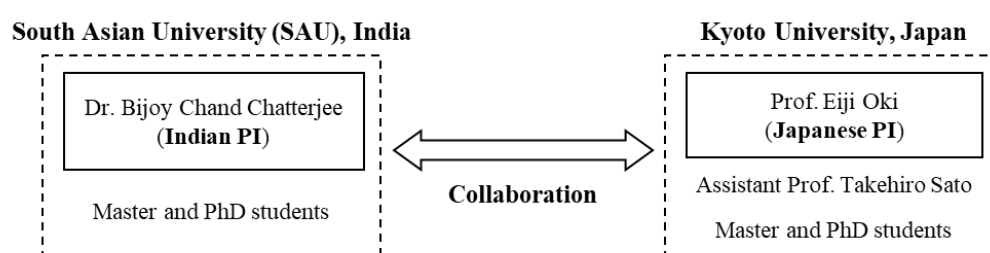


図1 共同研究の体制

1. コア間クロストークと信号劣化による信号品質を考慮した経路、変調、スペクトル、コア、モードの割り当てモデルの開発

(主:京都大学、副:SAU)

- ・課題の設定(京都大学)
- ・モデル化(京都大学)
- ・課題とモデルの精査(SAU)
- ・性能評価(京都大学)

2. コア間とモード間クロストークによる信号品質を考慮した経路、変調、スペクトル、コア、モードの割り当てモデルの開発

(主:SAU、副:京都大学)

- ・課題の設定(SAU)
- ・モデル化(SAU)
- ・課題とモデルの精査(京都大学)
- ・性能評価(SAU)

3. Bijoy Chand Chatterjee (SAU) による、京都大学での遠隔特別講演の実施(2020 年 7 月 9 日)

4. 共著による研究成果発表

著書

1. B.C. Chatterjee and E. Oki, Elastic Optical Networks: Fundamentals, Design, Control, and Management, CRC Press, Boca Raton, Aug. 2020.

学術論文(査読有り)

1. B.C. Chatterjee, I. Ahmed, A. Wadud, and E. Oki, ``BPRIA: Crosstalk-Avoided Bi-Partitioning-Based

- Counter-Propagation Resource Identification and Allocation for Spectrally-Spatially Elastic Optical Networks,” IEEE Trans. Network and Service Management, 2022 (accepted).
2. K. Takeda, T. Sato, B.C. Chatterjee, and E. Oki, “Joint Inter-Core Crosstalk- and Intra-Core Impairment-Aware Lightpath Provisioning Model in Space-Division Multiplexing Elastic Optical Networks,” IEEE Trans. Network and Service Management, 2022 (accepted).
 3. F. He, T. Sato, B.C. Chatterjee, T. Kurimoto, S. Urushidani, and E. Oki, “Robust Optimization Model for Primary and Backup Resource Allocation in Cloud Providers,” IEEE Trans. Cloud Computing, 2022 (accepted).
 4. B. Bao, H. Yang, Q. Yao, A. Yu, B.C. Chatterjee, E. Oki, and J. Zhao, “SDFA: A Service-Driven Fragmentation-Aware Resource Allocation in Elastic Optical Networks,” IEEE Trans. Network and Service Management, vol. 19, no. 1, pp. 353-365, Mar. 2022.
 5. J. Halder, M. Maity, E. Oki, and B.C. Chatterjee, “Shared Backup Path Protection-Based Resource Allocation Considering Inter-Core and Inter-Mode Crosstalk for Spectrally-Spatially Elastic Optical Networks,” IEEE Commun. Let., vol. 26, no. 3, pp. 637-641, Mar. 2022.
 6. A. Kawabata, B.C. Chatterjee, and E. Oki, “An Optimistic Synchronization Based Optimal Server Selection Scheme for Delay Sensitive Communication Services,” IEICE Trans. Commun., vol. E104-B, no. 10, pp. 1277-1287, Oct. 2021.
 7. B.C. Chatterjee, A. Wadud, and E. Oki, “Proactive Fragmentation Management Scheme Based on Crosstalk-Aware Batch Processing for Spectrally-Spatially Elastic Optical Networks,” IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 39, no. 9, pp. 2719-2733, Sep. 2021.
 8. B.C. Chatterjee, A. Wadud, I. Ahmed, and E. Oki, “Priority-Based Inter-Core and Inter-Mode Crosstalk-Avoided Resource Allocation for Spectrally-Spatially Elastic Optical Networks,” IEEE/ACM Trans. Networking, vol. 29, no. 4, pp. 1634-1647, Aug. 2021.
 9. B.C. Chatterjee, N. Stol, and E. Oki, “Impairment-Aware Spectrum Allocation in Elastic Optical Networks: A Dispersion-Sensitive Approach,” Optical Fiber Technology, vol. 61, pp. 1-10, Jan. 2021.
 10. P.D. Choudhury, P.V.R. Reddy, B.C. Chatterjee, E. Oki, and T. De, “Performance of Routing and Spectrum Allocation Approaches for Multicast Traffic in Elastic Optical Networks,” Optical Fiber Technology, vol. 58, no. 102247, pp. 1-8, Sep. 2020.
 11. B.C. Chatterjee and E. Oki, “Defragmentation Based on Route Partitioning in 1+1 Protected Elastic Optical Networks,” Computer Networks, vol. 177, no. 107317, pp. 1-11, Aug. 2020.
 12. A. Kawabata, B.C. Chatterjee, and E. Oki, “Participating-Domain Segmentation Based Server Selection Scheme for Real-Time Interactive Communication,” IEICE Trans. Commun., vol. E103-B, no. 7, pp. 736-747, Jul. 2020.

国際会議論文(査読有り)

1. J. Halder, E. Oki, and B.C. Chatterjee, “Regenerator-Aware Inter-Core and Inter-Mode Crosstalk-Avoided Resource Allocation for Spectrally-Spatially Elastic Optical Networks,” 23rd IEEE International Conference on High Performance Switching and Routing (HPSR 2022), Jun. 2022.
2. V. Kumar, J. Halder, M. Maity, E. Oki, and B.C. Chatterjee, “Inter-Core and Inter-Mode Crosstalk-Avoided Virtual Network Embedding in Spectrally-Spatially Elastic Optical Networks,” 23rd IEEE International Conference on High Performance Switching and Routing (HPSR 2022), Jun. 2022.
3. B.C. Chatterjee, I. Ahmed, A. Wadud, M. Maity, and E. Oki, “Impact of Counter-Propagation and Bi-

Partitioning in Resource Allocation for Crosstalk-Avoided Spectrally-Spatially Elastic Optical Networks,” iPOP 2022, Jun. 2022.

4. J. Halder, M. Maity, E. Oki, and B.C. Chatterjee, “Resource Allocation Considering Inter-Core and Inter-Mode Crosstalks in Path-Protected Spectrally-Spatially Elastic Optical Networks,” iPOP 2022, Jun. 2022.
5. A. Kawabata, B.C. Chatterjee, and E. Oki, “Optimal Server Selection Scheme with Optimistic Synchronization for Delay Sensitive Services,” IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), Jan. 2021.
6. J. Halder, M. Maity, E. Oki, and B.C. Chatterjee, “Crosstalk and Noise Avoided Resource Allocation Based on Quantum-Key-Distribution for Spectrally-Spatially Elastic Optical Networks” IEEE ICC 2022, May 2022.
7. I. Ahmed, E. Oki, and B.C. Chatterjee, “Crosstalk-Aware vs. Crosstalk-Avoided Approaches in Spectrally-Spatially Elastic Optical Networks: Which is the Better Choice?” 5th IEEE Workshop on Recent Advances in Photonics, Mar. 2022.
8. B. C. Chatterjee and E. Oki, “Defragmentation for 1+1 Protected Elastic Optical Networks: A Route Partitioning Approach,” iPOP 2020, Sep. 2020.
9. J. Halder, M. Maity, E. Oki, and B.C. Chatterjee, “Crosstalk and Noise Avoided Resource Allocation Based on Quantum-Key-Distribution for Spectrally-Spatially Elastic Optical Networks” IEEE ICC 2022, May 2022.
10. I. Ahmed, E. Oki, and B.C. Chatterjee, “Crosstalk-Aware vs. Crosstalk-Avoided Approaches in Spectrally-Spatially Elastic Optical Networks: Which is the Better Choice?” 5th IEEE Workshop on Recent Advances in Photonics, Mar. 2022.
11. I. Ahmed, E. Oki, and B.C. Chatterjee, “Crosstalk-Aware vs. Crosstalk-Avoided Approaches in Spectrally-Spatially Elastic Optical Networks: Which is the Better Choice?” 5th IEEE Workshop on Recent Advances in Photonics, Mar. 2022.
12. A. Kawabata, B.C. Chatterjee, and E. Oki, “An Optimistic Synchronization Based Server Selection Scheme with Successive Participation,” IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), Jan. 2022.
13. A. Kawabata, T. Tojo, B.C. Chatterjee, and E. Oki, “An Optimal Allocation Scheme of Database and Application for Delay Sensitive IoT Services,” IEEE Globecom 2021, Dec. 2021.
14. B. Bao, H. Yang, Q. Yao, C. Li, B.C. Chatterjee, E. Oki, and J. Zhang, “Link-Oriented Spectrum Resource Balancing for Hybrid Edge/Cloud Elastic Datacenter Optical Networks,” Asia Communications and Photonics Conference (ACP 2021), Oct. 2021.
15. B.C. Chatterjee, I. Ahmed, A. Wadud, and E. Oki, “A Crosstalk-Avoided Core, Mode, and Spectrum Allocation Scheme Based on Priority for Spectrally-Spatially Elastic Optical Networks,” iPOP 2021, Sep. 2021.
16. K. Takeda, T. Sato, B.C. Chatterjee, and E. Oki, “Jointly Inter-Core XT and Impairment Aware Lightpath Provisioning in Elastic Optical Networks,” IEEE ICC 2021, Jun. 2021.

国内発表(査読有り)

1. 竹田健太, 佐藤丈博, B.C. Chatterjee, 大木英司, “空間分割多重型エラスティック光ネットワークにおけるコア間クロストークとコア内信号劣化を同時に考慮した資源割り当てモデル,” 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 120, no. 388, PN2020-62, Mar. 2021.

2. 竹田健太, 佐藤丈博, B.C. Chatterjee, 大木英司, “エラスティック光ネットワークにおけるコア間クロストークとコア内信号劣化を考慮した光パス設定モデルの性能評価,” 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 121, no. 350, PN2021-37, Jan. 2022.

(2)学術的価値(本研究交流により得られた新たな知見や概念の展開等、学術的成果)

マルチコアファイバは光ファイバの容量を増大させる技術の 1 つである。マルチコアファイバではコア間クロストーク (XT) とコア内信号劣化 (PLI: Physical layer impairment)が発生する。空間分割多重型エラスティック光ネットワーク (SDM-EON: Space-division multiplexing elastic optical network)における既存の資源割り当てモデルではコア間 XT とコア内 PLI を分けて考慮し、各変調方式に対して 1 つの XT 閾値を設けている。この既存モデルを適用した場合、信号劣化が許容可能な値を超える光パスの算出や光周波数利用の非効率性が発生する可能性がある。本研究では SDM-EON におけるコア間 XT とコア内 PLI を結びつけて考慮した経路、変調方式、スペクトル、およびコア割り当て (RMSCA: Routing, modulation, spectrum and core allocation)モデルを提案した。本モデルではコア間 XT とコア内 PLI を考慮して各変調方式に対して複数の XT 閾値を設定した。数値評価を行い、提案モデルの適用によりスペクトルの利用効率が向上することを示した。

上記の成果は、IEEE の通信分野のフラグシップ国際会議である IEEE ICC 2021・2022、及び、IEEE のトップジャーナルである IEEE Trans. Network and Service Management に採択された。また、その他に、マルチモード伝送を考慮したマルチコアファイバを用いた光ネットワークの研究を実施した。これらの共同研究成果は、著書 1 件、学術論文 12 件、国際会議 16 件として発表・採択された。

マルチコア・マルチモード伝送は空間分割多重技術の 1 つであり、ファイバ内のコア数・モード数に比例してファイバ容量は向上するため、データセンタや海底ケーブルでは限られた空間で大容量のデータ通信を行う場合において、需要が高まっており、本共同研究の成果の適用が大きく期待できる。

(3)相手国との交流(両国の研究者が協力して学術交流することによって得られた成果)

インドは近年、年率約 8%の経済成長を続けている。特に科学技術における人的資源は、インドの発展を支え、加速させるカギとなっている。インドでは SAU などの優れた研究機関が、経済成長を支えるために、学术界と産業界を繋ぐ科学技術の教育を提供しており、インドの大学・大学院の教育システムから人材育成の点で学ぶことができた。

インドにおいては、学術的な科学技術レベルは高いものの、学术界と産業界の乖離が少なくない。一方、日本においては、学术界と産業界が連携して、相互に発展している。SAU と京都大学の共同研究の一部において、日本の産業界の研究者と連携して研究を遂行し、産業界、SAU と京都大学の共著の論文(学術論文 2 件、国際化会議論文 3 件)が発表・採録されている。京都大学として、世界的にリードしているインドのコンピュータサイエンスの分野の研究者と連携することにより、教員のみならず学生にとって、国際共同研究の経験を積めた意義は大きい。インドの研究者にとっては、京都大学と共同研究を通じて、日本での学术界と産業界が連携した共同研究に参画した意義は大きいという意見を頂いている。

(4)社会的貢献(社会の基盤となる文化の継承と発展、社会生活の質の改善、現代的諸問題の克服と解決に資する等の社会的貢献はどのようにあったか)

本共同研究に参加したインドの学生に日本の大学院に進学する動機を与え、インド・日本の人的交流が発展することが考えられる。日本からインドへの留学生も増加させ、インド・日本の相互理解を深めることに貢献している。日本と技術交流を続けることにより、インドにおける学术界と産業界のギャップを埋めることに繋げる。この人的交流により、経済成長を続けているインドの市場に、日本の産業界が貢献することにより、インド・日

本の双方に経済成長に貢献できると考えられる。

(5)若手研究者養成への貢献(若手研究者養成への取組、成果)

本研究において、日本／インドの PI は、それぞれの PI が指導する博士課程・修士課程の学生に対して、アドバイザーとして指導を行った。研究内容を議論するために、週に 1-2 回程度、メール、及び、遠隔会議によるミーティングを行った。また、相互に相手機関で遠隔講義を行うことにより、若手研究者が相互に学術・文化交流の機会を持てるようにした。また、京都大学の卓越大学院プログラムにおいて、博士課程の学生が、インドの PI に研究指導を受けるフィールドワークを行った。

(6)将来発展可能性(本事業を実施したことにより、今後どのような発展の可能性が認められるか)

さらに、本共同研究を発展させ、光ネットワーク技術の研究を強化して、世界を先導していく。

(7)その他(上記(2)～(6)以外に得られた成果があれば記載してください)

例：大学間協定の締結、他事業への展開、受賞など

特になし。