

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 4 月 24 日現在

機関番号：17104
 研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2011～2012
 課題番号：23760077
 研究課題名（和文）ネットワーク資源割り当て問題に関する非集中型不動点最適化アルゴリズム
 研究課題名（英文）Decentralized Fixed Point Optimization Algorithms for Network Resource Allocation Problems
 研究代表者
 飯塚 秀明（IIDUKA HIDEAKI）
 九州工業大学・ネットワークデザイン研究センター・准教授
 研究者番号：50532280

研究成果の概要（和文）：帯域幅割り当てやストレージ割り当てといったネットワーク資源割り当ての問題を不動点集合と呼ばれる制約集合上での最適化問題に定式化し、その問題を解くための手法「非集中型不動点最適化アルゴリズム」を考案した。提案アルゴリズムがある条件下で問題の解に収束することを証明した。また、提案アルゴリズムと既存アルゴリズムとの数値比較実験を行い、提案アルゴリズムの有用性を示すことができている。

研究成果の概要（英文）：We formulated network resource allocation problems such as bandwidth and storage allocation as an optimization problem over the fixed point set and devised decentralized fixed point optimization algorithms for solving the problem. We proved that the algorithms converge to a solution to the problem under certain conditions. We numerically compared them with conventional algorithms. The numerical examples demonstrated the effectiveness of the proposed algorithms.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,700,000	810,000	3,510,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎

キーワード：不動点最適化アルゴリズム、非集中型最適化、分散型最適化、凸最適化問題、非凸最適化問題、ネットワーク資源割り当て問題、非拡大写像、不動点

1. 研究開始当初の背景

大規模・複雑な情報通信ネットワークにおいて安定性及び高信頼性を実現するためには、そのネットワークにある限られた資源を全参加ユーザに公平に割り当てる制御手法が必要不可欠である。このような背景から、各ユーザの公平さをある満足度関数の値の大小により数量的に表し、全ユーザの満足度関数の総和を全ユーザの実行可能な割り当て領域の下で最大化する最適化問題（ネットワーク資源割り当て問題）が盛んに研究されている。

しかしながら、ネットワークを管理する運用者やそれに参加する各ユーザが全ユーザ

の満足度関数及び実行可能領域の形状を正しく知ることは、ネットワークの大規模・複雑性により、困難である。そのため、全ユーザの情報を完全に利用する既存手法（集中型最適化アルゴリズムと呼ばれる）を適用することは難しい。

2. 研究の目的

本研究の目的は、各ユーザが他のユーザの満足度関数と実行可能集合を利用することなく、協調分散的にネットワーク資源割り当て問題を解くことが可能な非集中型最適化アルゴリズムを考案することである。

3. 研究の方法

ネットワーク資源割り当て問題を分散的に解くために、また、本研究の提案アルゴリズムの有用性を示すために、下記のA), B), C)に分けて研究を進めた。

A) [数学的問題の導入]

(ア) 各ユーザがもつ制約集合は必ずしも単純な形状ではないとする。(例えば、ネットワーク帯域幅割り当てやPeer-to-Peer(P2P)ネットワークでのストレージ割り当てにおいては、各ユーザの制約集合は複雑な多面体となる) また、各ユーザがもつ満足度関数は微分可能で、かつ、凸(または非凸)であるとする。

(イ) 各ユーザの制約集合が、容易に計算可能な非線形写像(非拡大写像と呼ばれる)の不動点集合として表現ができるとき(上記(ア)の二例はこの条件を満たす)、ネットワーク資源割り当て問題は、「共通不動点集合上の(凸または非凸)最適化問題」として定式化できる。

B) [数学的問題の解法]

(ア) 「共通不動点集合上の(凸または非凸)最適化問題」を解くための既存手法である「集中型不動点最適化アルゴリズム」(特別研究員奨励費[課題番号19・1979]、若手研究(B)[課題番号21760062])を発展させた「非集中型不動点最適化アルゴリズム」を考案する。

(イ) 提案アルゴリズムが最適化問題の解に収束することを数学的に証明する。

C) [数値解析]

具体的なネットワーク資源割り当て問題に提案アルゴリズムを適用し、提案手法の収束性や安定性等を数値実験によって示す。

4. 研究成果

(1) 3. A) (ア)と対照に、研究当初は、各ユーザの制約集合が単純な形状で、かつ、各ユーザの満足度関数が凸である場合についてのネットワーク資源割り当て問題を考察した。この研究の中で、いくつかの「非集中型最適化アルゴリズム」を提案することができた。(詳細については、下記5. ①、⑥、⑧をご参照下さい)

(2) 本研究の目的達成のための準備として、3. A) で導入した「共通不動点集合上の(凸または非凸)最適化問題」に関する「集中型不動点最適化アルゴリズム」を開発した。この研究成果は、既存の集中型最適化アルゴリズム(特別研究員奨励費[課題番号19・1979]、

若手研究(B)[課題番号21760062])よりも適用範囲が広い集中型不動点最適化アルゴリズムを提案している。特筆すべき成果は、既存手法では適用できなかった複雑なネットワーク資源割り当て問題や制御問題まで解決することができることにある。(詳細については、下記5. ②、④、⑤、⑦をご参照下さい)

(3) 上記(1)[単純な制約集合をもつネットワーク資源割り当て問題に関する非集中型最適化アルゴリズム]と上記(2)[複雑な集合である不動点集合上の最適化問題を解くための集中型不動点最適化アルゴリズム]のアイデアを合わせた手法である「非集中型不動点最適化アルゴリズム」を開発することに成功している。(詳細については、下記5. ③をご参照下さい) この研究成果により、本研究の目的を達成することができる。ここで得られた「非集中型不動点最適化アルゴリズム」は、ある条件の下で、問題の解に収束することが保証される。また、「非集中型不動点最適化アルゴリズム」を帯域幅割り当て問題に適用し、提案アルゴリズムの有用性を数値実験により示すことができている。

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8件)

- ① Hideaki Iiduka, Multicast Decentralized Optimization Algorithm for Network Resource Allocation Problems, Journal of Nonlinear and Convex Analysis, 査読有, (採録決定).
- ② 飯塚 秀明, 階層制約付き凸最適化問題に関する反復アルゴリズムとネットワーク帯域幅割り当てへの応用, 京都大学数理解析研究所講究録, 査読無, Vol. 1821, 2013, pp. 68-75.
- ③ Hideaki Iiduka, Fixed Point Optimization Algorithms for Distributed Optimization in Networked Systems, SIAM Journal on Optimization, 査読有, Vol. 23, No. 1, 2013, pp. 1-26.
- ④ Hideaki Iiduka, Isao Yamada, Computational Method for Solving a Stochastic Linear-Quadratic Control Problem Given an Unsolvable Stochastic Algebraic Riccati Equation, SIAM Journal on Control and Optimization, 査読有, Vol. 50, No. 4, 2012, pp. 2173-2192.
- ⑤ Hideaki Iiduka, Iterative Algorithm for Triple-Hierarchical Constrained Nonconvex Optimization Problem and Its Application to Network Bandwidth

Allocation, SIAM Journal on Optimization, 査読有, Vol. 22, No. 3, 2012, pp. 862-878.

- ⑥ Hideaki Iiduka, Unicast Decentralized Algorithm for Solving Centralized Optimization Problems in Network Resource Allocation, Journal of Nonlinear and Convex Analysis, 査読有, Vol. 13, No. 1, 2012, pp. 31-48.
- ⑦ Hideaki Iiduka, Fixed Point Optimization Algorithm and Its Application to Network Bandwidth Allocation, Journal of Computational and Applied Mathematics, 査読有, Vol. 236, No. 7, 2012, pp. 1733-1742.
- ⑧ Hideaki Iiduka, Decentralized Algorithm for Centralized Variational Inequalities in Network Resource Allocation, Journal of Optimization Theory and Applications, 査読有, Vol. 151, No. 3, 2011, pp. 525-540.

[学会発表] (計2件)

- ① 飯塚 秀明, 不動点理論に基づいた妥協可能制約付きネットワーク帯域幅割り当て問題を解くための反復アルゴリズム, 電子情報通信学会 第2回情報ネットワーク科学研究会, 査読無, 2012.01.20, 関西学院大学大阪梅田キャンパス.
- ② Hideaki Iiduka, Iterative Algorithm for Solving Hierarchical Constrained Non-Convex Optimization Problem and Its Application to Network Bandwidth Allocation, 京都大学数理解析研究所研究集会 非線形解析学と凸解析学の研究, 査読無, 2011.08.29, 京都大学数理解析研究所.

[その他]

ホームページ等

<http://www.ndrc.kyutech.ac.jp/~iiduka/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

飯塚 秀明 (IIDUKA HIDEAKI)

九州工業大学・ネットワークデザイン研究センター・准教授

研究者番号 : 50532280

