

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 16 日現在

機関番号：31302

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25730064

研究課題名(和文) 決定的アルゴリズムに基づき動作する構造化オーバーレイネットワークの設計と実装

研究課題名(英文) Theory and Implementation of Structured Overlay Network based on Deterministic Algorithm

研究代表者

武田 敦志 (Takeda, Atsushi)

東北学院大学・教養学部・准教授

研究者番号：90424001

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：構造化オーバーレイネットワークのためのデータ集計の仕組みに対してタイムスロットの概念を導入することにより、広域に分散したデータを従来よりも正確に集計する仕組みを開発した。これにより、様々な地域に設置されているセンサからの観測データを効率的かつ正確に集計することが可能となる。また、データの集計機能によって得られるネットワーク全体の情報を基に、各ノードの負荷を従来よりも効率的に分散させる機能を開発した。以上により、「ノードの物理的位置を考慮した通信機能」、「各ノードに分散したデータの正確な集計機能」、「効率的な動的負荷分散機能」のすべてを備える構造化オーバーレイネットワークを実現した。

研究成果の概要(英文)：We developed a new efficient and accurate data aggregation mechanism for a structured overlay network. The aggregation mechanism uses a concept of "time-slot" in order to aggregate data accurately. By using this mechanism, we can efficiently obtain accurate data from sensors which are spread across a wide area. We also developed a new efficient dynamic load balancing mechanism for a structured overlay network. The load balancing mechanism uses data aggregated from the structured overlay network in order to determine an action of each node. This mechanism can distribute load of each node more efficiently than existing mechanisms. As a result of these study, we achieved a development of a scalable structured overlay network which supports all of "communication considering the physical network", "accurate data aggregation" and "efficient dynamic load balancing".

研究分野：コンピュータネットワーク

キーワード：オーバーレイネットワーク P2Pネットワーク 負荷分散 自律分散ネットワーク

1. 研究開始当初の背景

オーバーレイネットワーク技術を用いることにより、インターネットなどの広域ネットワークを介して、複数のコンピュータで情報を共有することが可能となる。特に、Chord や SkipGraph などのスケーラブルな構造化オーバーレイネットワークは、100 万個以上のノード(コンピュータ)が互いに連携することにより、大量のオブジェクト(情報)の効率的な分散管理を実現していた。また、PIAX など、構造化オーバーレイネットワークを活用した応用システムの研究開発も進められていた。一方、研究開始当初の構造化オーバーレイネットワークでは、各ノードにかかる負荷を平等に分散するために予測不能性のある負荷分散アルゴリズムを用いていた。そのため、これらのオーバーレイネットワークでは、オブジェクトの分散先や各ノードの連携関係を予測することが難しく、「順序関係を考慮したオブジェクトの分散」と「地理的位置を考慮したノード間の連携」を同時に実現することは困難であった。

これに対し、我々は、平成 24 年度までに決定的アルゴリズムによって動作する構造化オーバーレイネットワーク Waon (Well-distribution Algorithm for Overlay Network)の研究開発を行っていた。Waon は「順序関係を考慮したオブジェクトの分散」と「地理的位置を考慮したノード間の連携」を同時に実現するスケーラブルな構造化オーバーレイネットワークである。平成 23 年度～24 年度に実施した挑戦的萌芽研究「やわらかい構造型 P2P ネットワーク: Waon」により Waon が「高いスケーラビリティ」「ノードの状態に応じた動的負荷分散」「スケーラブルなオブジェクトの範囲検索」「物理ネットワークの通信量の削減」の全てを同時に実現できることを確認していた。

2. 研究の目的

平成 24 年度までの Waon の動的負荷分散アルゴリズムは、負荷分散に多くの通信量や時間を必要とする。具体的には、動的負荷分散の動作に必要な通信量や十分に負荷を分散するまでに要する時間が $O(N)$ (N はノード数)である。そこで、本研究課題では、負荷分散に必要な通信量や時間が $O(\log N)$ となる新たな動的負荷分散アルゴリズムを開発し、Waon の実用性を大幅に向上させることを目的とする。

本研究課題で新たに開発する動的負荷分散アルゴリズムは、オーバーレイネットワーク全体の状況を推測し、その推測結果を活用することにより必要通信量と必要時間の削減を行う。構造化オーバーレイネットワークでは、各ノードは特定の少数ノードとのみ通信するため、ネットワーク全体の状況を推測することは難しかった。しかし、平成 24 年度までに、我々は個々のノードがルーティングテーブルに従って他のノードの情報を集

約することにより、オーバーレイネットワーク全体のノード数やオブジェクト数を正確に推測する仕組みを開発していた。この推測結果を活用する新たな動的負荷分散アルゴリズムを導入することにより、従来よりも少ない通信量と短い時間で十分な負荷分散を実行できると考えられる。

3. 研究の方法

まず、Waon に導入する新たな動的負荷分散アルゴリズムの設計を行う。具体的には、十分な負荷分散に必要な通信量と時間が $O(\log N)$ となる動的負荷分散アルゴリズムを設計する。また、この動的負荷分散機能のプロトタイプを Waon に実装し、この実装を用いて動作検証を行う。また、実装した動的負荷分散機能のプロトタイプを用いて、動的負荷分散アルゴリズムの性能評価を行う。具体的には、新たな動的負荷分散アルゴリズムを導入した Waon では、動的負荷分散に必要な通信量と十分に負荷を分散するまでに要する時間が $O(\log N)$ となることを確認する。さらに、Waon の応用システムとして、大規模災害においても情報消失が発生しない広域分散データベースを開発する。また、この応用システムの性能評価を行い、Waon の実用性を検証する。

4. 研究成果

(1) 構造化オーバーレイネットワークのためのデータ集計の仕組みに対してタイムスロットの概念を導入することにより、広域に分散したデータを従来よりも正確に集計する仕組みを開発した。平成 24 年度までにも、構造化オーバーレイネットワークに参加している各ノードがもつデータを集計する仕組みが研究されていたが、集計対象となるデータの計測時刻を考慮していなかったため、正確な集計結果を得ることが難しかった。そこで、本研究課題では、タイムスロットを用いてデータの計測時刻を管理する機能を導入することにより、構造化オーバーレイネットワークの各ノードが持っているデータを従来手法よりも正確に集計できる仕組みを実現した。これにより、広域に分散設置されている膨大な数のセンサからの観測データを効率的かつ正確に集計することが可能となる。

また、本研究課題では、上記のデータ集計機能を有する構造化オーバーレイネットワークを実装し、この実装を用いてデータ集計機能の正確性を評価した。図 1 に従来の構造化オーバーレイネットワークによるデータの合計値の集計結果を示し、図 2 に本研究課題で開発した構造化オーバーレイネットワークによるデータの合計値の集計結果を示す。実際の合計値が変化した場合、従来手法では正確な合計値を集計することができていない。これは、従来手法が集計対象となるデータの観測時刻を考慮しておらず、新しい

データと古いデータを同様に集計対象とするためである。一方、本研究課題で開発した構造化オーバーレイネットワークでは、実際の合計値が変化した場合でも、正確な合計値を集計することができている。これは、集計対象となるデータの観測時刻を管理しており、同じ時刻に観測されたデータのみを集計対象としているためである。

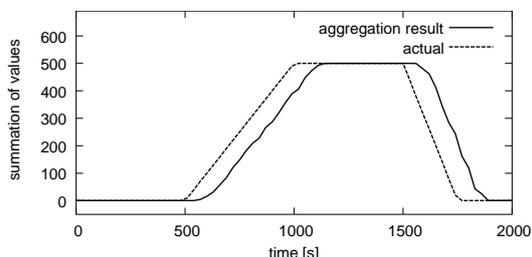


図1 従来手法のデータ集計結果

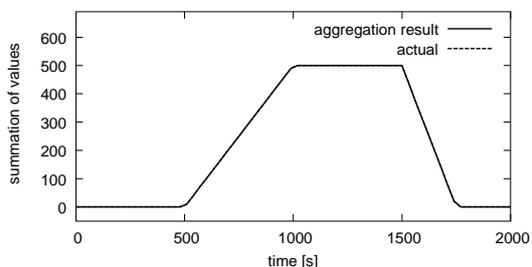


図2 新規開発手法のデータ集計結果

(2) データの集計機能によって得られるネットワーク全体の情報を基に、各ノードの負荷を従来よりも効率的に分散させる機能を開発した。この新たに開発した負荷分散機能では、データ集計機能を利用して構造化オーバーレイネットワーク全体のノードの数と負荷値の合計を取得し、それらの値から各ノードが担当すべき負荷値を算出する。担当すべき負荷値よりも大きな負荷が発生しているノードが存在する場合、そのノードは構造化オーバーレイネットワークの論理的位置を変更し、発生している負荷を適切な値に調整する。このとき、従来手法のように試行錯誤を繰り返して負荷の調整を行うのではなく、あらかじめ目標とする負荷値となるよう計画を立てて負荷の調整を実行する。この仕組みを導入することにより、ネットワーク上の各ノードの負荷を従来手法よりも効率的に分散させることが可能となった。

また、本研究課題では、上記の動的負荷分散機能を有する構造化オーバーレイネットワークを実装し、この実装を用いて新たに開発した動的負荷分散機能の性能を評価した。図3に従来の構造化オーバーレイネットワークにおける動的負荷分散機能の負荷分散速度と新たに開発した動的負荷分散機能の負荷分散速度を示す。新たに開発した動的負荷分散機能では、従来手法よりも早く各ノードの負荷の Fairness-Index が上昇することが

確認できた。これは、新たに開発した動的負荷分散機能は、ネットワーク上の各ノードの負荷を従来手法よりも早く分散させていることを示している。

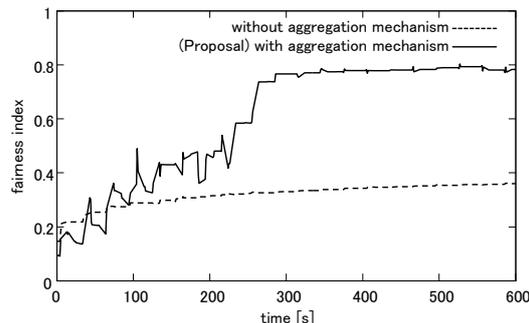


図3 動的負荷分散機能による負荷分散効果 (各ノードの負荷の Fairness-Index)

(3) 本研究課題で開発した構造化オーバーレイネットワークのアプリケーションとして、大規模災害が発生した場合でもサービスを継続できる情報共有サービスを実装した。この実装を用いてシミュレーションを行い、災害により一部のノードの機能が低下したとしても十分に負荷分散できることを確認した。また、一部のノードが故障した状況を想定したシミュレーションを行い、大規模災害が発生したとしてもデータの消失には至らないことを確認した。

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1件)

- ① 生出 拓馬, 武田 敦志, 高橋 晶子, 菅沼 拓夫, “ネットワークアウェアな P2P 型安否情報共有システムの提案”, 情報処理学会論文誌, 査読有, vol.55, no.2, pp.607-618, 2014.

[学会発表] (計8件)

- ① Atsushi Takeda, Takuma Oide, Akiko Takahashi and Takuo Suganuma, “Efficient Dynamic Load Balancing for Structured P2P Network”, Proceedings of the 18th International Conference on Network-Based Information Systems (NBIS2015), 査読有, pp.432-437, 2015.
- ② Atsushi Takeda, Takuma Oide, Akiko Takahashi and Takuo Suganuma, “Accurate Data Aggregation on Unstable Structured P2P Network”, Proceedings of the 29th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA2015), 査読有, pp.542-549, 2015.
- ③ Nobuaki Kadowaki, Takuma Oide, Atsushi Takeda, Takuo Suganuma, Akiko Takahashi,

“Design of Topology-aware P2P Personal Safety Information Sharing System based on Z-ordering”, Proceedings of the 4th International Symposium on Technology for Sustainability (ISTS2014), 査読有, 2014.

- ④ Atsushi Takeda, Takuma Oide, Akiko Takahashi and Takuo Suganuma, “Scalable and Accurate Data Aggregation Mechanism on Structured P2P Network”, Proceedings of the 9th International Conference on Broadband and Wireless Computing, Communication and Applications (BWCCA), 査読有, pp. 389-394, 2014.
- ⑤ Takuma Oide, Atsushi Takeda, Akiko Takahashi and Takuo Suganuma, “Design of a P2P Information Sharing System and Its Application to Communication Support in Natural Disaster”, Proceedings of the 12th IEEE International Conference on Cognitive Informatics and Cognitive Computing (ICCI*CC2013), 査読有, pp. 118-125, 2013.
- ⑥ Takuma Oide, Atsushi Takeda, Takuo Suganuma and Akiko Takahashi, “Implementation and Evaluation of the Well-distribution Algorithm for an Overlay Network”, Proceedings of the 37th Annual Computer Software and Applications Conference Workshops (COMPSACW 2013), 査読有, pp. 373-378, 2013.
- ⑦ 武田 敦志, 生出 拓馬, 高橋 晶子, 菅沼 拓夫, “構造化 P2P ネットワークにおけるスケーラブルで正確なデータ集計手法”, 第 22 回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ 論文集, 査読有, pp. 243-251, 2014.
- ⑧ 武田 敦志, “構造化オーバーレイネットワークによるタイムスロットを用いた正確なデータ集計手法”, 情報処理学会第 76 回全国大会講演論文集, 査読無, 2014.

[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]

- ① 石田實記念財団研究奨励賞(一般財団法人石田實記念財団, 2013 年)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

武田 敦志 (TAKEDA Atsushi)

東北学院大学教養学部情報科学科 准教授

研究者番号 : 9 0 4 2 4 0 0 1

(2) 研究分担者

無し

(3) 連携研究者

無し