

P2P 型センサデータストリーム配信システムのための 通信負荷モデル

義久智樹[†] 石 芳正[†] 川上朋也[†] 寺西裕一^{‡†}

[†] 大阪大学 [‡] 情報通信研究機構

1. はじめに

ライブカメラや環境センサといったセンサデータを周期的に収集して、収集する度に利用者に対して配信するセンサデータストリーム配信が近年注目されている。例えば、移動先の気温を確認したい利用者に対して、配信を行う配信元ノードが、温度センサから 1 秒毎に温度データを収集して、配信先ノードへ配信することが考えられる。センサデータストリーム配信では、センサデータの収集周期より、配信元ノードの送信や配信先ノードの受信といった配信にかかる処理時間が長くなると、配信の遅れが蓄積されるため、収集周期より配信処理時間が長くないようにすることが重要になる。配信元ノードや配信先ノードの通信による処理負荷を分散させることで、配信処理時間を短縮できるため、センサデータストリーム配信において、通信負荷を分散させる様々な手法が研究されている[1, 2].

これらの研究では、複数の配信先ノードに同じセンサデータを配信する場合に、センサデータを受信した配信先ノードがさらに他の配信先ノードにセンサデータを送信する P2P 型センサデータストリーム配信を用いている。ほとんどの研究では、すべての配信先ノードに同じセンサデータを配信する場合を対象としていたが、ライブカメラの再生レートが異なっていたり、環境センサの収集周期に上限があったりする場合、収集周期の異なるセンサデータを複数の配信先ノードに配信する。このため、我々の研究グループは収集周期が異なる P2P 型センサデータストリーム配信における通信負荷分散方式を提案している[2-5]。しかし、これまでの通信負荷モデルでは、通信負荷の上限を考慮することなく、1 個の計算式で定量的に通信負荷が与えられていた。通信負荷モデルは、通信負荷分散の評価に影響を及ぼす要素であり、十分に議論されておく必要がある。そこで、本論文では、P2P 型センサデータストリーム配信システムのための通信負荷モデルについて議論を行う。

2. P2P 型センサデータストリーム配信

本章では、文献[2]と同様の説明ではあるが、本論文の理解に必要なため、P2P 型センサデータストリーム配信を説明する。

2.1. 想定環境

配信元ノードはセンサを備えており、周期 s 毎にセンサデータを収集している。センサデータを受信する配信先ノードは、受信したいセンサデータを収集している配信元ノードに所望の周期 d 毎のセンサデータの配信を要求する。ただし、配信元ノードが収集していないセンサデータは配信できないため、 d は s の倍数になる。配信元ノードは要求を受信すると、配信経路を決定する。配信元ノード、配信先ノード、中継ノードといった各ノードは、受信したセンサデータをさらに他の配信先ノードに送信できる。中継ノードとは、配信元ノードでも配信先ノードでもないが、センサデータを中継することで通信負荷の分散に貢献できるノードを指す。配信元ノードが、配信経路上のノードにセンサデータの送信先を伝えてから配信を開始する。

2.2. 問題設定

ノード N の通信負荷を $C(N)$ で表すと、システム全体の通信負荷 SL は次式となる。

$$SL = \sum_{i=1}^L C(S_i) + \sum_{m=1}^M C(I_m) + \sum_{n=1}^N C(D_n)$$

S_i ($i=1, \dots, L$) は L 台の配信元ノード、 I_m ($m=1, \dots, M$) は M 台の中継ノード、 D_n ($n=1, \dots, N$) は N 台の配信先ノードを示す。負荷分散の指標として、1 に近いほど公平を示す FI (Fairness Index) を用いる。また配信元ノード p から配信先ノード q へのホップ数を $H(p, q)$ で示す。本研究の目的は、システム全体の通信負荷を抑えつつ各ノードに分散させることである。ホップ数は少ない方が望ましい。よって、目的関数は以下になる。

$$\text{minimize } SL, 1 - FI$$

$$\text{minimize } \max_{p \in P, q \in Q} H(p, q)$$

P は配信元ノードの集合、 Q は配信先ノードの集合を表す。本問題では、上記を目的として、各ノードが配信するセンサデータを決定する。

Communication Load Models for P2P based Sensor Data Stream Delivery Systems

Tomoki Yoshihisa[†], Yoshimasa Ishi[†],
Tomoya Kawakami[†], Yuuichi Teranishi^{‡†}

[†] Osaka University, Japan

[‡] NICT, Japan

3. 通信負荷モデル

3.1. これまでのモデル

各ノードの通信負荷は送受信するデータ数に比例すると考えられる。このため、文献[2]では、直観的に以下のように1個の計算式で通信負荷を与えていた。

$$C(N) = rR(N) + tT(N) + S(N)$$

$R(N)$ はノード N が単位時間あたりに受信するデータ数、 $T(N)$ は単位時間あたりに送信するデータ数、 $S(N)$ は定常的な通信負荷である。 r 、 t はノードの性能に依存して決まる比例定数である。

ほとんどのノードでは、送受信するデータをバッファリングしているため、単位時間あたりに送受信するデータ数が、単位時間あたりに配信できる上限を越えると、配信の遅れが蓄積され始める。配信が遅れることにより、単位時間あたりに配信するデータ数が上限以下に抑えられ、通信負荷も上限以下となる。これまでのモデルでは、送受信するデータ数が、配信できる上限以下の状況を想定しており、通信負荷の上限を設定していなかった。

3.2. 通信負荷の上限を考慮したモデル

通信負荷の上限は、単位時間あたりに配信できるセンサデータ数の上限によって生じる。この上限は、配信元ノードの送信性能や配信先ノードの受信性能といった配信性能に依存し、ある値に固定できると考えられる。そこで、ノード N の通信負荷の上限を Top_C とすると、通信負荷は以下で与えられる。

$$Tmp_C(N) = rR(N) + tT(N) + S(N)$$

$$C(N) = \begin{cases} Tmp_C(N) & (Tmp_C(N) < Top_C(N)) \\ Top_C(N) & (Tmp_C(N) > Top_C(N)) \end{cases}$$

センサデータストリーム配信システムが、通信負荷が上限に達するとセンサデータを送らせて配信するように設計されている場合、配信の遅れが蓄積されるため、時間が経つほど配信遅延が長くなる。また、上限を越えたデータ数に比例して遅れるため、送受信するデータ数が多いほど長くなる。通信負荷が上限になっていない場合の配信遅延を $Const_Delay(N)$ 、上限になっている期間を OT (Overload Time) とすると、配信遅延 $Delay(N)$ は以下で与えられる。

$$Delay(N) = \begin{cases} Const_Delay & (Tmp_C(N) < Top_C(N)) \\ Const_Delay + d \times OT & (Tmp_C(N) > Top_C(N)) \end{cases}$$

d はノードの性能に依存して決まる比例定数である。センサデータストリーム配信システムが、通信負荷が上限に達するとデータを廃棄するよ

うに設計されている場合、上限を越えた分だけデータが廃棄される。

4. 議論

4.1. これまでのモデルとの違い

これまでのモデルは、通信負荷が上限以下の状況を想定しており、上限に達したことを認識する方法や、上限に達した場合の対応を省略できる。このため、処理手順が少なく動作の軽い通信負荷分散方式を実現できる。単位時間あたりに配信できるデータ数の上限が送受信するデータ数に比べて常に大きい状況では有効なモデルといえる。

4.2. 上限を考慮した通信負荷分散方式

通信負荷が上限に達して配信遅延が発生しても、そのノードの通信負荷を下げることで配信遅延を解消できる。例えば、定期的や上限に達している間のみ配信経路を変更して通信負荷を下げるのが考えられる。配信経路を一時的に変更したり、上限に達したことを認識する必要があるため、処理手順が多くなり、これまでのモデルを利用した方式よりも複雑な方式になる。

5. おわりに

本研究では、通信負荷の上限を考慮した通信負荷モデルを提案した。今後、提案する通信負荷モデルをシミュレータで実装して評価を行う予定である。

謝辞

本研究の一部は、NICT・大阪大学共同研究「大規模分散コンピューティングのための高機能ネットワークプラットフォーム技術の研究開発」による成果である。

参考文献

- [1] Tien Anh Le, H. N.: Application-Aware Cost Function and Its Performance Evaluation over Scalable Video Conferencing Services on Heterogeneous Networks, Proceedings of the 2012 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC 2012): Mobile and Wireless Networks (2012).
- [2] 義久智樹ほか：センサデータストリーム配信における通信負荷分散方式に関する一考察，情報処理学会関西支部大会論文集，E-11 (2012).
- [3] 寺西裕一ほか：異なる配信周期を扱う P2P 型センサデータストリーム配信システム，情報処理学会全国大会論文集，1E-2 (2013).
- [4] 川上朋也ほか：通信負荷均等化のための P2P 型センサデータストリーム配信手法の評価，情報処理学会全国大会論文集，1E-4 (2013).
- [5] 石芳正ほか：P2P 型センサデータストリーム配信システムにおける通信負荷の計測，情報処理学会全国大会論文集，1E-5 (2013).