

異なる配信周期を扱う分散型センサデータストリーム配信システム

義久智樹 寺西裕一

情報通信技術の発達に伴い、火災発見のためのライブカメラや環境センサなどのセンサデータを周期的に配信するセンサデータストリーム配信システムが注目されている。センサデータストリーム配信システムにおいて通信負荷を分散させることで、低欠損かつ低遅延な配信システムを実現でき、我々の安全で安心な生活につながる。本研究では、異なる周期で配信する場合の分散型センサデータストリーム配信システムの研究開発を行った。

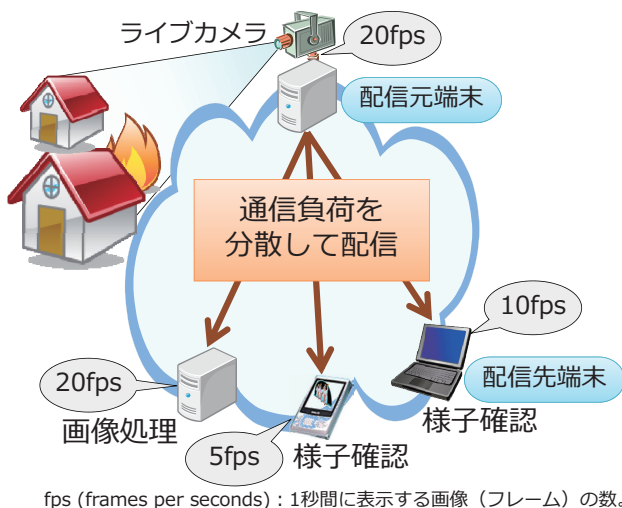
1 まえがき

情報通信技術の発達に伴い、ライブカメラや環境センサといったセンサが多地点に設置されている。従来、これらのセンサは1つの目的で利用されていたが、センサから得られるセンサデータの応用目的は多岐に渡るため、共有して違う目的で利用することに対する需要が高まっている。このような背景から、近年、応用目的の異なる複数の端末にセンサデータを周期的に配信する、センサデータストリーム配信システムが注目されている。なお、センサから連続的に発生する一連のセンサデータ群をセンサデータストリームと呼ぶ。例えば、ライブカメラの映像を、火災発見のために画像処理を行っている計算端末に常に配信することや、同じライブカメラの映像を、撮影されている場所の様子を確認するために表示しようとしている利用者のスマートフォン端末に配信することが考えられる。図1では、ライブカメラが接続された計算端末が映像を配

信しているが、ライブカメラ自体に配信機能がある場合もある。また、環境センサの気象データを、異常気象予測のために計算端末に常に配信することや、同じ環境センサの気象データを、旅行先の天気を確認しながらドライブしているカーナビ端末に可視化のために配信すること等が考えられる。

センサデータストリーム配信において、ある端末に短時間で多くのデータを配信するといった通信負荷の集中が発生した場合、配信されたデータを一時的に保存する通信バッファが端末に十分でない場合には、配信されたデータを受信できず、データが欠損する。なお、後に2.4で詳述するが、データの送受信に伴って端末にかかる負荷をここでは通信負荷と呼ぶ。火災発生前後のライブカメラの映像が欠損して火災発見が遅れて安全が脅かされるといったように、データが欠損すると、満たすべきサービス品質を満たすことができず安心して配信システムを利用できない。通信バッファが十分にあったとしても、多くのデータに対して画像処理や解析といった処理に時間がかかり、処理結果を得られるまでの遅延が長くなる。気象データの解析に時間がかかって異常気象予測が遅くなって安全が脅かされるといったように、遅延が長くなると、同様に安心して配信システムを利用できない。遅延が長くなると、通信バッファに保存されている時間も長くなって欠損が発生しやすくなる。処理速度を向上させ、十分な通信バッファを備えるには金銭的成本がかかる。これらの理由から、我々の安全で安心な生活につながる低欠損かつ低遅延なセンサデータストリーム配信を実現するために、通信負荷を分散させる様々な研究が行われている^{[1][4]}。通信負荷を分散させることで、多数の配信先がある場合でも一部に負荷が集中してシステム全体の動作が正常に保たれない、ということが発生する可能性を低くできる。

これらの研究では、複数の端末に同じセンサデータ



fps (frames per seconds) : 1秒間に表示する画像（フレーム）の数。

図1 本研究内容の応用例

を配信する場合に、センサからセンサデータを取得する端末(配信元端末)が直接配信するのではなく、センサデータを受信した配信先の端末(配信先端末)が更に他の配信先端末にセンサデータを再配信している。配信先端末がセンサデータを再配信することで、配信元端末に集中していた通信負荷を分散できる。これらの研究では、すべての配信先端末に同じ周期でセンサデータを配信する配信システムを対象としていたが、センサデータの応用先の増加に伴って、異なる配信周期を扱う配信システムが利用されている。以下の例が挙げられる。

- 上記のライブカメラの例において、火災発見のような、映像に写っている現象を検出する処理では、検出に利用できる画像を増やすことで検出もれを少なくできる。火災を間違いなく発見するために、短い周期の映像を計算端末に配信して単位時間あたりに利用できる画像の数を増やす。一方、スマートフォンの処理能力は、常に画像処理を行う上記のような計算端末より低く、同じ周期で配信すると、画像を表示するまでの遅延が長くなったり表示されなかったりする。このため、同じライブカメラで撮影場所の様子を確認している利用者のスマートフォン端末には、上記の計算端末より長い、様子を確認できる程度の周期で配信する。
- 上記の環境センサの例において、異常気象予測のような、気象データを解析する処理では、解析に利用できるデータを増やすことで解析精度を向上できる。異常気象を間違いなく予測するために、短い周期で気象データを計算端末に配信して単位時間あたりに利用できるデータの数を増やす。一方、移動しながら利用しているカーナビの通信帯域は、移動しない上記のような計算端末より小さく、同じ周期で配信すると、気象データを受信できなかったり遅延が長くなったりする。このため、同じ環境センサを利用して旅行先の天気を確認するために可視化を行っているカーナビ端末には、上記の計算端末より長い、天気を確認する程度の周期で配信する。

配信元端末が可能な最も短い周期で、すべての配信先端末にセンサデータを配信し、配信先端末で必要なセンサデータのみ利用することで、疑似的に異なる配信周期を実現でき、これまでの手法を適用できるが、配信先端末で利用しない冗長なセンサデータを配信することになって、利用するセンサデータのみ配信する場合と比べて通信負荷が大きくなる。通信負荷が大きくなると、上述したとおり、データが欠損したり遅延が長くなって安心して配信システムを利用できない。

そこで、本研究では、異なる配信周期を扱う分散型

センサデータストリーム配信システムの研究開発を行った⁵⁾⁶⁾。異なる配信周期を扱うセンサデータストリーム配信システムにおいて、通信負荷を分散させる研究はこれまでになく、本研究の新規性は高い。また、センサデータの応用先の増加に伴って異なる配信周期を扱う配信システムが急増しており、重要性も非常に高い。

以下、**2**で、異なる配信周期を扱う分散型センサデータストリーム配信システムのモデル化及び問題の定式化について説明する。本研究の基本的なアイデアについても、**2**で説明する。本研究では、各モデルにおいて、通信負荷を分散させる手法を幾つか提案し、コンピュータシミュレーションや実測による評価を行った。評価の結果、提案手法を用いることで、通信負荷を分散できることを確認している。各モデルの研究内容を**3~5**で説明する。最後に**6**で本稿をまとめる。

2 異なる配信周期を扱う分散型センサデータストリーム配信システムのモデル化

異なる配信周期を扱う分散型センサデータストリーム配信システムの研究開発にあたり、モデル化及び問題の定式化を行った。本節では、まずこれらの研究内容を説明する。次に、提案する通信負荷分散手法の基本的なアイデアについて説明する。

2.1 想定環境

センサからセンサデータを取得して配信できる端末を配信元端末と呼ぶ。配信元端末は、周期 s でセンサデータを取得しており、インターネットやイントラネットといった情報ネットワークに接続されている。配信先端末は、配信元端末と同じ情報ネットワークに接続されており、配信元端末と通信できる。各端末は、受信したセンサデータを更に他の端末に配信できる。配信先端末は、まず、ホームページやRSS等の手段で公開されている情報から、利用したいセンサデータを配信できる配信元端末を発見し、所望の配信周期 d でセンサデータストリームの配信を配信元端末に要求する。配信元端末が取得していないセンサデータは配信できないため、 d は s の倍数となる。次に、配信元端末は、配信要求を受信すると、現在の配信先を考慮して配信経路を決定する。配信経路に変更がある場合には、変更する端末に配信先の変更を通知する。配信経路は、配信元端末がセンサデータストリームの配信要求を受信する度に变化する。

例えば、**1**のライブカメラの例では、ライブカメラが接続されている端末が配信元端末となり、ライブカメラから1秒あたり20枚の画像を取得していると

$s=1/20=0.05$ となる。配信先端末は、画像処理を行う計算端末(配信先端末1)及び映像を表示するスマートフォン端末(配信先端末2)であり、配信先端末1は配信元端末と同じ1秒あたり20枚の画像を要求すると $d=0.05$ 、配信先端末2は1秒あたり5枚の画像を要求すると $d=1/5=0.2$ となる。配信先端末は、インターネットのライブカメラサイト等から利用したいライブカメラを発見して映像の配信を要求する。

2.2 システムモデル

分散型センサデータストリーム配信システムを、配信元端末、中継端末、配信先端末の接続状況に分けることで、接続状況に応じた議論が可能になる。接続状況とはアプリケーション層の通信リンクを指す。中継端末とは、配信元端末でも配信先端末でもないが、センサデータストリームを中継することで通信負荷の分散に参与する端末を指す。これらの区別なく用いる場合には単に端末と記述する。例えば、情報ネットワーク内のルータや、無線アクセスポイントが中継端末として挙げられる。以下、端末の接続状況を $l/m/n$ の形式で示す。 l は配信元端末の数、 m は中継端末の数、 n は配信先端末の数である。

- $1/0/1$ モデル：1台の配信元端末 S と1台の配信先端末 D がある。端末が2台しかなく、接続状況は図2のようになる。図2において、各ノードが端末を示しており、ノード付近に書かれた値は S のセンサデータの取得周期 s 、 D が要求する配信周期 d を示す。枝を点線で示したのは、通信

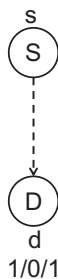


図2 1/0/1モデルの例

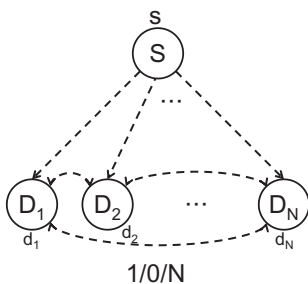


図3 1/0/Nモデルの例

リンクはあってもセンサデータの配信経路となるには限らないためである。 $1/0/1$ モデルでは、 S が D にセンサデータを直接配信する経路しか構築できない。

- $1/M/1$ モデル：1台の配信元端末と1台の配信先端末の間に M 台の中継端末 $I_m (m=1, \dots, M)$ がある。中継端末を使わずに配信元が配信先に直接配信する場合には、 $1/0/1$ モデルと同じ配信経路になる。
- $1/0/N$ モデル： $1/0/N$ モデルの接続状況を図3に示す。 N 台の配信先端末 $D_n (n=1, \dots, N)$ がある。 D_n への配信周期を d_n で示す。配信先端末間でセンサデータを再配信することで、配信元端末にかかる通信負荷を分散できる。ある配信先端末に通信負荷が集中しないように配信経路を決定することで、配信先端末の通信負荷も分散できる。
- $1/M/N$ モデル： $1/M/N$ モデルの接続状況を図4に示す。中継端末を用いることで、 $1/0/N$ モデルでは配信元端末や配信先端末にかかっていた通信負荷を、中継端末に分散できる。しかし、配信元端末と配信先端末間の通信ホップ数が増加し、遅延の増加につながる。
- $L/M/N$ モデル： $L/M/N$ モデルの接続状況を図5に示す。 L 台の配信元端末 $S_l (l=1, \dots, L)$ がある。配信先端末 $D_n (n=1, \dots, N)$ が配信元端末 $S_l (l=1, \dots, L)$ から受信するセンサデータの収集周期を $d_{n,l} (l=1, \dots, L)$ で示す。 $L/M/N$ モデルでは、配信元端末間でもセンサデータを中継することで、通信

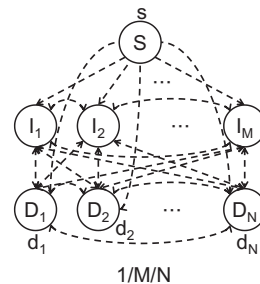


図4 1/M/Nモデルの例

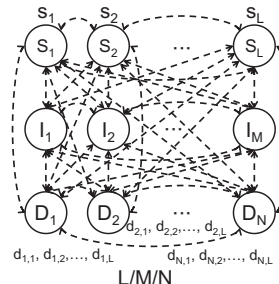


図5 L/M/Nモデルの例

負荷を分散できる。

- その他のモデル：上記で説明した他にも $L/0/1$ 、 $L/M/1$ 、 $L/0/M$ といったモデルがある。

これらのモデルは、配信元端末や配信先端末の数、ネットワークの構成に依存する。

2.3 目的関数

端末 N の通信負荷を $C(N)$ で表す。センサデータストリーム配信システム全体の通信負荷 SL は各端末の通信負荷の合計で与えられるとし、次式で表される。

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

また、負荷分散の指標として、 FI (Fairness Index) がよく用いられている。本研究においても次式で与えられる FI を負荷分散の指標として用いる。

$$FI = \frac{\left(\sum_{l=1}^L C(S_l) + \sum_{m=1}^M C(I_m) + \sum_{n=1}^N C(D_n) \right)^2}{(L+M+N) \left(\sum_{l=1}^L C(S_l)^2 + \sum_{m=1}^M C(I_m)^2 + \sum_{n=1}^N C(D_n)^2 \right)} \quad (2)$$

FI は 1 に近いほど公平であることを示し、 $FI=1$ であれば $C(S_1) = \dots = C(S_L) = C(I_1) = \dots = C(I_M) = C(D_1) = \dots = C(D_N)$ となる。また配信元端末 P から配信先端末 Q へのデータの配信に伴う通信ホップ数を $H(P,Q)$ とする。本研究では、通信負荷を公平化することでボトルネックをなくし、システム全体の動作の健全性を保つことを目指す。したがって、システム全体の通信負荷を抑えつつ通信負荷を公平にすることを目的関数とする。また、通信ホップ数を少なくして配信時の遅延を短くすることも求められる。よって、目的関数は以下で与えられる。

$$\text{minimize } SL, 1 - FI, \max_{p \in P, q \in Q} H(p,q) \quad (3)$$

P は配信元端末の集合、 Q は配信先端末の集合を表す。本研究では、上記を目的関数として、各端末が配信するセンサデータを決定する。

2.4 通信負荷の定義

各端末の具体的な通信負荷は、端末の性能に依存するが、送受信する単位時間あたりのデータ数に比例する。端末 N が単位時間あたりに受信するデータ数を $R(N)$ 、単位時間あたりに送信するデータ数を $T(N)$ 、定常的な通信負荷を $S(N)$ とすると、 N の通信負荷は次式で与えられる。

$$C(N) = rR(N) + tT(N) + S(N) \quad (4)$$

r と t は受信に伴う通信負荷と送信に伴う通信負荷の重み係数である。本研究では、実測評価の結果、 $S(N)$ は $R(N)$ 、 $T(N)$ と比べて非常に小さい事を確認

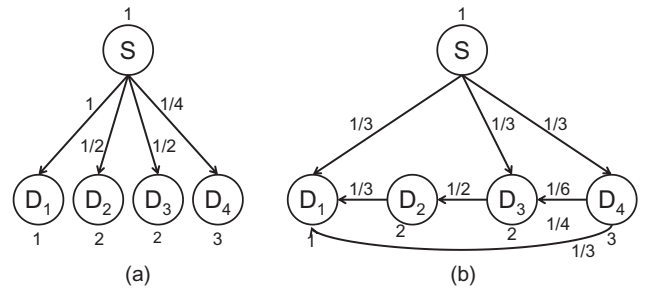


図6 通信負荷と基本的なアイデア

したため、以降 $S(N)=0$ とする。また、特に明記しない限り $r=t=1$ とする。配信元端末が直接配信する場合の例を図6(a)に示す。枝付近に示されている数字は単位時間あたりに配信するセンサデータの数を示す。この例では、 $C(S) = 1 + 1/2 + 1/2 + 1/4 = 2.25$ 、 $C(D_1) = 1$ 、 $C(D_2) = 0.5$ 、 $C(D_3) = 0.5$ 、 $C(D_4) = 0.25$ となり、 $SL = 4.667$ 、 $FI = 0.617$ 、最大ホップ数は1になる。

2.5 基本的なアイデア

提案手法では、異なるセンサデータストリームに含まれる同じ時刻のセンサデータを再配信することで、通信負荷を分散する。例えば、表1では配信先端末 $D_1 \sim D_4$ への配信周期 (Cycle) と、配信するセンサデータを \circ で示している。 D_1 は配信周期が1であり、配信元端末がセンサから取得したすべてのセンサデータを受信する。 D_2 は配信周期が2であり、時刻2ごとにセンサデータを受信する。例えば時刻6のセンサデータは配信周期1、2、3、4のすべてのセンサデータストリームに含まれる。このため、時刻6のセンサデータを受信した配信先端末が他の再生端末に時刻6のセンサデータを配信することで、サーバから直接配信することなく、センサデータを再配信できる。配信周期が図6(a)と同じで、配信経路を変更して通信負荷を分散させた例を図6(b)に示す。図6(b)の例では配信周期の長い配信先端末が、同じデータを受信する他の配信先端末にデータを再配信している。各再生端末には利用するセンサデータのみ配信されており、受信する単位時間当たりのセンサデータの数の合計が配信周期の逆数と等しくなっている。この場合、

表1 図6の接続状況でデータを配信する時刻

Time	1	2	3	4	5	6	7	...
D_1 (Cycle=1)	○	○	○	○	○	○	○	...
D_2 (Cycle=2)		○		○		○		...
D_3 (Cycle=2)			○		○			...
D_4 (Cycle=3)				○			○	...

$C(S)=1, C(D_1)=1, C(D_2)=0.833, C(D_3)=1, C(D_4)=0.833$ となり、 $SL=4.16, FI=0.992$ 、最大ホップ数は3になる。前述の配信元が直接配信する場合($FI=0.617$)と比べて通信負荷を分散できていることが分かる。

3 1/0/N モデルにおける通信負荷分散手法

1/0/N モデルにおける通信負荷分散手法として、2種類の手法を提案する⁷⁾。

3.1 LCF (Longest Cycle First) 法

配信周期の長い配信先端末は、配信周期の短い配信先端末と比べて、単位時間あたりに受信するセンサデータの数少なく通信負荷が小さい。このため、他の配信先端末へのセンサデータの配信により通信負荷を増加させ、配信元端末の通信負荷を軽減することで、通信負荷を分散できると考えられる。そこで、LCF (最長周期優先) 法では、配信周期の長い配信先端末がセンサデータを優先的に再配信することで通信負荷分散する。例えば表1の場合、図6(b)に示す配信経路となる。LCF 法では各配信先端末が要求する配信周期の情報のみから配信経路を構築でき、実装が容易である。

3.2 LLF (Lowest Load First) 法

LCF 法では、通信負荷を考慮していないため、負荷分散を効果的に行えないことがある。例えば、配信周期の長い配信先端末は、他の配信先端末へ多く配信するため、同時刻の配信先が多い場合、送信負荷が増大することがある。そこで、LLF (最小負荷優先) 法では、各端末の配信周期から通信負荷を推定し、同時刻のセンサデータを受信している端末の内、通信負荷が最小のノードから受信することで通信負荷を分散させる。負荷を推測することによりLLF 法では、LCF 法より均等に負荷を分散できる。

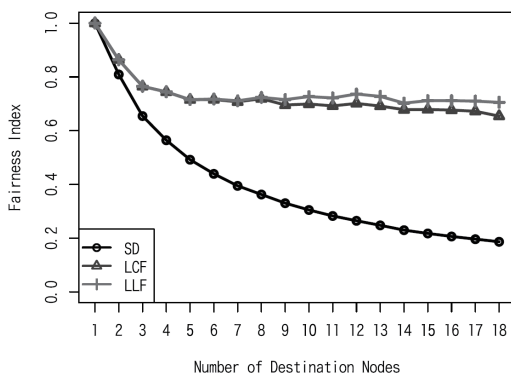


図7 1/0/N モデルにおける公平性の評価

3.3 評価

提案手法の性能を評価するために、コンピュータシミュレーションによる評価を行った。1~20の間で配信周期をランダムに与えた場合の1/0/Nモデルにおける公平性を図7に示す。縦軸がFIの値、横軸が配信先端末の数Nである。SDは比較のために用いた、配信元端末が各配信先端末に直接配信する手法である。配信先端末が増えるほどFIが小さくなり、通信負荷に偏りが生じている。これは、配信先端末が増えるほど、最長の配信周期が長くなり、配信周期の差が大きくなるためである。LLF法では通信負荷をLCF法よりも分散できている、特に配信先端末が多い環境において差が大きい。これは、LLF法では、各時刻で負荷が最も低い配信先が他の配信先へ送信することで、通信負荷を分散しているためである。一方、SD法では配信元端末に通信負荷が集中し、LCF法では同じ時刻に配信先が多い場合、長周期の配信先に負荷が集中している。配信システム全体の通信負荷SLについても評価を行い、各手法に差がないことを確認している。

これらの評価から、本研究では、提案するLCF法及びLLF法により、配信元端末が直接配信する場合と比べて通信負荷を分散できていることを確認した。

4 L/0/N モデルにおける通信負荷分散手法

本研究では、1/0/Nモデルにおいて有効性を確認したLLF法をL/0/Nモデルに適用させて、評価を行った⁸⁾。さらに、通信ホップ数を考慮するように拡張を行って実装し、テストベッドを用いた実測評価を行った⁹⁾。

4.1 M-LLF (Multi-stream LLF) 法

LLF法では、初めに配信周期などから各端末の通信負荷を推定した後、未決定の配信経路を時刻ごと及び配信先端末ごとに決定する。配信経路は各時刻で推定される通信負荷が最小のノードから送信するように選択し、通信負荷推定の結果に反映しつつすべての配信経路を決定し、最終的な時刻ごとの配信経路を全端末へ通知する。複数の配信元端末があるL/0/Nモデルでは、センサデータストリームも複数ある。LLF法を複数のセンサデータストリームに適用させたM-LLF法では、各センサデータストリームの配信で推定された通信負荷を累積させる。これによりほかのセンサデータストリームがある場合にも、通信負荷を公平に分散できる。

コンピュータシミュレーションによる評価の結果、M-LLF法を用いることで、配信システム全体の通信

負荷 SL を増加させることなく、通信負荷の公平性を向上できることを確認した。ページ数の都合上、詳細は文献[8]を参照いただき、ここでは評価結果を省略する。

4.2 LLF-H (LLF considering Hops) 法

M-LLF 法では、通信負荷の分散に主眼を置いており、配信遅延については考慮されていない。このため、通信ホップ数が大きくなって遅延が長くなることがある。そこで、LLF-H 法では、センサデータの再配信を行うホップ数に上限を設けることで、配信遅延を抑制する。具体的には、M-LLF 法において通信負荷が最小の端末を選択する手順において、候補となる配信先端末から再配信を受信した場合に事前に与えられた通信ホップ数の上限を越えないか判定する。通信ホップ数の上限を越える場合は、次の候補で同じ判定を行い、条件を満たす配信先端末が無い場合は各配信周期で最長の配信周期を持つ配信先端末から受信する。

4.3 PIAX テストベッドを用いた評価

NICT がテストベッドを提供している PIAX を用いることで、アプリケーション層ネットワークを簡単に構築できるため、提案手法の実装に向いている^[10]。そこで、本研究では PIAX テストベッドを用いて LLF-H 法の評価を行った。センサデータは環境センサ等を想定して 1024 バイトのデータとし、50 ミリ秒間隔で取得するとした。

配信遅延の実測値を図 8 に示す。縦軸が遅延時間、横軸が通信ホップ数の上限である。配信先端末が異なる幾つかの場合についてプロットしている。多くの場合、通信ホップ数の上限が 3~4 付近で配信遅延が最少となっていることが分かる。これは、2 の場合、配信元端末からセンサデータを直接受信した、ある配信先端末が他のすべての配信先端末に再配信するため、通信負荷が集中するためである。

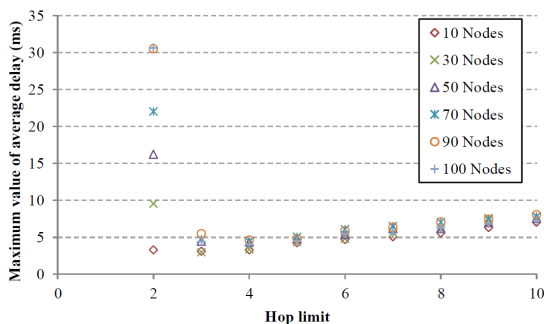


図 8 PIAX テストベッドを用いた評価結果

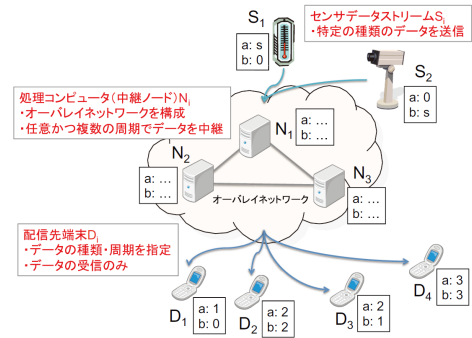


図 9 L/M/N モデルにおける配信経路の例

5 L/M/N モデルにおける通信負荷分散手法

L/M/N モデルは、中継端末が増加するほど中継端末の送受信に伴う通信負荷が大きくなって、配信システム全体の通信負荷が増加する。このため、主に故障対策として中継端末を用いる場合に利用されるモデルである。例えば、図 9 のような構成で配信経路を構築することが考えられる。図 9 には、2 台の配信元端末である温度センサ S_1 とライブカメラ S_2 がセンサデータストリームを中継端末 $N_1 \sim N_3$ を介して配信先端末 $D_1 \sim D_4$ に配信している。各端末の四角形で囲まれた部分はセンサデータストリームの配信周期を示しており、 S_1 は温度データのデータストリーム a を配信周期 s 、 S_2 は映像のデータストリーム b を同じく配信周期 s で配信している。 S_1 はデータストリーム b を配信しないため 0 になっている。中継端末は任意の配信周期のデータストリームを中継して、他の中継端末や配信先に配信する。配信先端末は幾つかのデータストリームを受信しており、例えば D_2 はデータストリーム a を配信周期 2、データストリーム b も配信周期 2 で受信している。LLF-H 法のような通信負荷分散と遅延のみを考慮した手法では、中継端末の利用による耐障害性の向上を期待できない。そこで、本研究では、分散ハッシュを用いて中継端末の通信負荷を自律的に分散させる手法を提案した^[11]。

5.1 分散ハッシュを用いた通信負荷分散手法

中継端末が自律的に配信経路を構築するためには、ハッシュ空間上にノードを配置し、分散ハッシュに基づいて配信するセンサデータを決定することが考えられる。このとき、配信する中継端末の決定には、「センサデータストリーム」、「センサデータストリーム及び周期」、「センサデータストリーム及び時刻」を利用した分散ハッシュを用いることが考えられる。例えば、センサデータストリームの分散ハッシュでは、センサデータストリームごとに担当する中継端末を決定し、

配信元端末からのセンサデータの受信及び配信先端末への配信を行う。しかし、各センサデータストリームのセンサデータ数や配信先端末の数によって、通信負荷に偏りが生じることがある。そこで本研究では、センサデータストリーム及び周期によって中継端末をグループ化し、各周期グループで時刻ごとに配信する中継端末を決定する手法を提案する。時刻ごとに中継端末を決定することで処理を細かく分散し、特定の時刻及び中継端末への通信負荷の集中を抑制する。

配信周期を1から10の間でランダムに与え、中継端末の数を変えて最大通信負荷をコンピュータシミュレーションで求めた結果を図10に示す。分散ハッシュを用いているため、各手法において通信負荷が分散され、最大通信負荷に大きな差がないことが分かる。一方、公平性を図11に示す。縦軸がFIである。中継端末が多い場合は何も担当しない中継端末が増えるため、センサデータストリームの分散ハッシュを用いた手法及び周期の分散ハッシュを用いた手法通信負荷の偏りが大きくなっている。一方、周期及び時刻の分散ハッシュを用いた提案手法では、中継端末が多い場合でもFIは高く、通信負荷が分散されていることが分かる。

5.2 分散ハッシュを用いた耐障害性向上手法

上記の手法では、センサデータストリームごとにハッシュ空間上に中継端末を配置し、短い配信周期

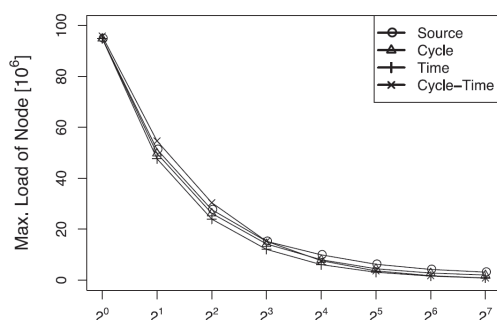


図10 分散ハッシュを用いた手法の最大通信負荷

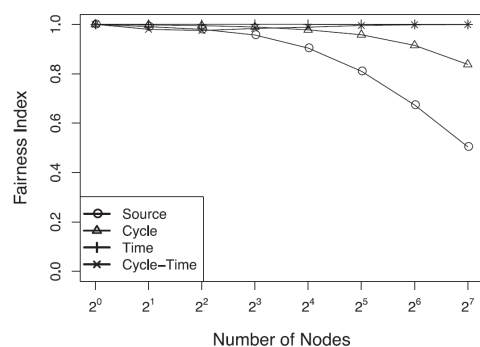


図11 分散ハッシュを用いた手法の公平性

グループほど中継端末が多くなるように、配信周期ごとにハッシュ空間を分割してグループ化する。ある配信周期のグループに中継端末が含まれない場合には、その前のグループが配信を担当する。本研究では、中継端末のネットワークからの切断や電源オフなどに対する耐障害性を向上させるため、時刻ごとに中継端末を Successor List を用いて冗長化する手法を検討する。既存の分散ハッシュ手法 Chord^[12] などにおいても、リング構造維持のための冗長化ノード情報 (Successor List) を用いて冗長化が行われている。本研究では Successor List の長さ (冗長化する中継端末の数) をあらかじめ設定し、本来の中継端末がすべての Successor にセンサデータを中継する。本来の中継端末が故障した場合には、分散ハッシュ上で Successor が次の中継端末なるため、配信経路の再構築処理の一部を効率化できる。評価の結果、通信負荷が多少増加するものの、Successor List を用いることで中継端末が故障しても配信を続けられる確率が高くなることを確認した。ページ数の都合上、詳細は文献[13]を参照いただき、ここでは評価結果を省略する。

6 まとめ

本研究では、異なる配信周期を扱う分散型センサデータストリーム配信システムの研究開発を行った。具体的には、配信システムのモデル化及び問題の定式化を行い、通信負荷を分散させる幾つかの手法を提案した。コンピュータシミュレーション及び実測による評価を行った結果、提案手法を用いることで、通信負荷を分散できることを確認した。

今後、センサデータストリームに対して問い合わせや計算といった処理を連続的に行いながら、更に処理結果をストリーム配信する分散処理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及び処理負荷の分散方式や、データ欠損時の再配信を伴う配信システムの研究開発を考えている。

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。検証環境として JGN-X 上の PIAX テストベッド (プロジェクト番号 JGNX-A12005) を利用した。関係者に衷心より謝意を表す。

【参考文献】

- 1 N. Magharei and R. Rejaie, "PRIME: Peer-to-Peer Receiver-Driven Mesh-Based Streaming," Proc. of IEEE International Conference on Computer Communications (INFOCOM 2007), pp.1415-1423, 2007.
- 2 L. Yu, X. Liao, H. Jin, and W. Jiang, "Integrated Buffering Schemes for P2P VoD Services," Peer-to-Peer Networking and Applications, Vol.4, No.1, pp.63-74, 2011.
- 3 坂下卓, 義久智樹, 原隆浩, 西尾章治郎, "ストリーミング環境における分割データの重要度を考慮した視聴中止端末数削減手法," 情報処理学会論文誌, Vol.52, No.11, pp.3008-3017, 2011.
- 4 T. A. Le and H. Nguyen, "Application-Aware Cost Function and Its Performance Evaluation over Scalable Video Conferencing Services on Heterogeneous Networks," Proc. of IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC 2012), pp.2185-2190, 2012.
- 5 T. Kawakami, Y. Ishi, T. Yoshihisa, and Y. Teranishi, "A P2P-Based Sensor Data Stream Delivery Method to Accommodate Heterogeneous Cycles," Journal of Information Processing, Vol.22, No.3, pp.1-9, 2014.
- 6 石芳正, 川上朋也, 義久智樹, 寺西裕一, "収集周期の異なるセンサデータストリームのためのP2P型配信システムとその評価," 情報処理学会論文誌, Vol.55, No.2, pp.707-720, 2014.
- 7 T. Kawakami, Y. Ishi, T. Yoshihisa, and Y. Teranishi, "A Delivery Method considering Communication Loads for Sensor Data Stream with Different Collection Cycles," Proc. of ACM Symposium On Applied Computing (SAC 2013), pp.611-618, 2013.
- 8 川上朋也, 石芳正, 義久智樹, 寺西裕一, "複数配信元によるP2P型センサデータストリーム配信システムにおける負荷均等化手法の評価," 電子情報通信学会技術研究報告(インターネットアーキテクチャ研究会IA2013-11), Vol.113, No.94, pp.61-66, 2013.
- 9 Y. Ishi, T. Kawakami, T. Yoshihisa, and Y. Teranishi, "An Implementation of P2P Sensor Data Streaming System Considering the Number of Hops," Proc. of IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2014), pp.428-429, 2014.
- 10 T. Yoshihisa, Y. Hamaguchi, Y. Ishi, Y. Teranishi, T. Hara, and S. Nishio, "A Sensor Data Aggregation System using Mobile Agents," Distributed Networks: Intelligence, Security, and Applications, Chapter 2, CRC Press, Taylor and Francis, pp.39-65, 2013.
- 11 T. Kawakami, Y. Ishi, T. Yoshihisa, and Y. Teranishi, "A Load Distribution Method Based on Distributed Hashing for P2P Sensor Data Stream Delivery System," Proc. of IEEE Computer Software and Applications Conference (COMPSAC 2014) Workshops, pp.716-721, 2014.
- 12 I. Stoica, R. Morris, D. Liben-Nowell, D. R. Karger, M. F. Kaashoek, F. Dabek, and H. Balakrishnan, "Chord: A Scalable Peer-to-Peer Lookup Protocol for Internet Applications," IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol.11, No.1, pp.17-32, 2003.
- 13 川上朋也, 石芳正, 義久智樹, 寺西裕一, "分散ハッシュを用いたP2P型センサデータストリーム配信システムにおける耐障害性向上法の検討," 情報処理学会研究報告(マルチメディア通信と分散処理研究会), Vol.2014-DPS-158, No.3, 6pages, 2014.



義久智樹 (よしひさ ともき)
 大阪大学サイバーメディアセンター准教授
 博士(情報科学)
 ストリーミング配信、ビデオオンデマンド



寺西裕一 (てらにし ゆういち)
 ネットワーク研究本部ネットワークシステム
 総合研究室研究マネージャー
 博士(工学)
 ユビキタスコンピューティング、オーバーレイ
 ネットワーク、マルチメディア、データベース
 モバイル