

ホップ数を考慮した P2P 型センサデータストリーム配信システムの配信遅延に関する評価

石 芳正¹ 川上 朋也² 義久 智樹¹ 寺西 裕一^{3,1}

概要: 我々の研究グループでは、センサの観測データが連続的に流れるセンサデータストリームの配信に際し、複数の配信先がそれぞれ異なる周期のセンサデータを要求する環境を想定し、P2P 技術により通信負荷を分散する P2P 型センサデータストリーム配信システムを研究してきた。従来、配信系全体の負荷の公平性のみに着目した LCF 法、LLF 法を提案してきたが、それらの手法では同一周期の配信先が多数存在する場合に配信時のホップ数が大きくなり、配信遅延が増大する問題があった。そこで、新たに配信ホップ数に上限を設ける LLF-H 法を提案し、シミュレーション評価を行ってきた。本稿では、PIAX テストベッドを用い実機環境での評価を行い、同一周期を要求するノードが多い環境において、LLF-H 法では既存手法である LLF 法と比較して負荷の公平性を大きく損ねることなく配信遅延を約 60 ~ 30 % に抑制できることを確認した。

Evaluation of Delivery Delay in a P2P Sensor Data Streaming System Considering the Number of Hops

YOSHIMASA ISHI¹ TOMOYA KAWAKAMI² TOMOKI YOSHIHISA¹ YUICHI TERANISHI^{3,1}

1 はじめに

近年、センサデバイスの高機能化・小型化・低廉化に伴い、ライブカメラや気象センサといった環境観測機器の普及が進んでおり、様々な利用者がセンサデバイスから得られるセンサデータを共有・活用するアプリケーションが現実的になりつつある。これらのセンサでは、多くの場合、周期的にセンサデータが収集され、収集される度にセンサデータ利用者に配信されることとなる。例えば、ライブカメラでは、1 秒間に 30 枚から 60 枚の画像がライブカメラから送り出され、それらを受け取った利用者が視聴や解析処理をすることとなる。センサから周期的に送出される一連のセンサデータは、一般にセンサデータストリームと呼ばれており、センサデータを必要としている利用者に逐次配信することにより映像配信や環境モニタリングなどに利

用するセンサデータストリーム配信への注目が高まっている。

センサデータストリーム配信では、1 台のセンサから得られるセンサデータを多数の利用者で共有することが一般的であり、配信時の通信負荷を分散させる様々な手法が研究されている [1-6]。これらの研究では、複数の端末に同じセンサデータストリームを配信する場合に、センサデータを受信した端末が他の端末に再配信することで、センサデータの配信元に集中していた通信負荷を分散させている。これらの研究は、全ての端末においてセンサデータの収集周期が等しい均質なセンサデータストリームを対象としているが、次の例のように、同じセンサが収集したセンサデータに対して周期の異なるセンサデータストリームを配信する場合も考えられる。

- 短い周期でのデータ取得により個人が特定される可能性があるセンサデータの場合、信頼済みのサービス提供者と、その他のサービス提供者との間で異なる周期でセンサデータを提供する。

¹ 大阪大学サイバーメディアセンター
Cybermedia Center, Osaka University

² 神戸大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Kobe University

³ 独立行政法人情報通信研究機構
National Institute of Information and Communication Technology

- 温度センサーの値から将来の気温を複数の機関が予測している場合、各機関が持つ端末の処理速度に応じて収集周期を決める。
- 映像ストリームを解析し、対象物が被写体として映っているかどうかによって、存在を検出したい場合、検出対象とする物（人・車等）の移動速度に応じて収集周期を決める。

収集周期が異なる場合であっても、収集周期の最も短いセンサデータストリームをすべての端末に配信し、各端末で必要とする周期のセンサデータのみを使用し、他は無視することで所望の収集周期を再現できる。この場合、既存手法を適用できるが、端末が必要としないセンサデータまで配信することとなり、端末に無用な通信負荷が生じることとなる。

我々の研究グループでは、配信先がそれぞれ異なる配信周期を要求する場合において、配信元・配信先の送受信負荷を分散させた配信経路を決定する P2P 型のセンサデータストリーム配信手法として、LCF（Longest Cycle First；最長周期優先）法 [7] と LLF（Lowest Load First；最小負荷優先）法 [8] を提案してきた。しかしながら、これらの手法では各ノード間での通信負荷の均一化を主眼としており、配信先までの配信遅延時間については考慮していなかった。LCF 法や LLF 法では、共通して取得するセンサデータをノード間で再配信を行うことで負荷分散を実現している。このため、ノード間に通信遅延がある場合、再配信に伴う配信遅延時間が累積することが指摘されており [9,10]、これが許容できない長さまで累積する可能性がある。この問題に対し、我々は、LLF 法を拡張しホップ数制限を設けた LLF-H（Lowest Load First considering Hops）法を提案し、シミュレーションによるメッセージ数を基にした評価を行ってきた [11]。しかしながら、通信遅延を含む実環境における有効性の評価はできておらず、未知数であった。本稿では、この LLF-H 法の実環境での有効性を確認するため、情報通信研究機構が提供している PIAX テストベッドを用いて行なった評価について報告する。

2 センサデータストリーム配信手法

2.1 配信モデル

図 1 に、我々のグループが想定しているセンサデータストリーム配信のモデルを示す。図中 S は、センサが繋がったサーバを示しており、センサから周期的に観測値を収集している。以下、このサーバを配信元ノードと呼ぶ。配信元ノードは、センサ毎に存在し、センサと 1 対 1 で対応している。また、センサから取得した観測値はセンサデータと呼ぶ。 D_x は、センサデータの受信端末を示しており、 D_x 同士は相互にセンサデータを受け渡すことができる。以下、これら受信端末を配信先ノードと呼ぶ。これらの配

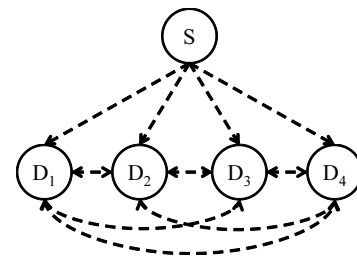


図 1 想定モデル

Fig. 1 Assumed model.

表 1 収集するセンサデータの例

Table 1 An example of sensor data collection.

Time	0	1	2	3	4	5	6	...
D_1 (Cycle=1)	○	○	○	○	○	○	○	...
D_2 (Cycle=1)	○	○	○	○	○	○	○	...
D_3 (Cycle=1)	○	○	○	○	○	○	○	...
D_4 (Cycle=3)	○			○			○	...
D_5 (Cycle=3)	○			○			○	...
D_6 (Cycle=3)	○			○			○	...

信元ノードと配信先ノードは、オーバーレイネットワークにより接続され、相互に探索可能な状態とする。

表 1 は、配信先ノード $D_1 \sim D_6$ が収集するセンサデータの収集周期（Cycle）と、受信するセンサデータを ○ で示している。 D_1 から D_3 は、収集周期が 1 であり、配信元ノードが収集した全てのセンサデータを受け取る。同様に D_4 から D_6 は、時刻 3 毎にセンサデータを受け取る。

収集周期は各配信先ノードが保持しており、センサデータストリームの配信を開始する前に配信先ノードが配信元ノードに自身の収集周期を通知する、あるいは配信元ノードが自身のセンサデータを必要としている配信先ノードから収集周期を収集する。これらは、ノード間を接続しているオーバーレイネットワークの探索により行う。各配信先ノードの収集周期を取得した配信元ノードは、それら配信先ノードの収集周期を元に配信経路を決定し、各配信先ノードに通知するとともに、センサデータストリームの配信を始める。これにより、配信先ノードは希望する周期のセンサデータを配信元ノードまたは他の配信先ノードから受け取る。1 つのセンサに対して、1 つの図 1 の構造を構築するため、複数の異なるセンサから生じるセンサデータを配信する場合は、図 1 の構造をそれぞれのセンサ毎に構築し、それぞれ配信することとなる。

2.2 通信負荷モデル

多くの場合、各ノードの通信負荷は送受信するセンサデータストリームにおける単位時間あたりのセンサデータの数に比例する。ここで、ノード D_x がノード D_y に送信する単位時間あたりのセンサデータ数を $R(x, y)$ と表すと、ノード D_r が他のノードにセンサデータストリームを送信

することによる負荷，送信負荷 O_r は式 1 となる．なお， D_0 は S を表すものとし， α と β は，それぞれ受信処理と送信処理の重み係数， N は配信先ノードの数とする．

$$O_r = \beta \sum_{i=0}^N R(r, i) \quad (1)$$

同様に，ノード D_r が他のノードからセンサデータストリームを受信することによる負荷，受信負荷 I_r は式 2 となる．

$$I_r = \alpha \sum_{i=0}^N R(i, r) \quad (2)$$

以上より，ノード D_r の通信負荷 L_r は，送信負荷 O_r と受信負荷 I_r の合計となる（式 3）．

$$L_r = O_r + I_r \quad (3)$$

2.3 基本的なアイデア

基本的な方針として，配信先ノードが受信したセンサデータストリームに含まれるセンサデータのうち，他の配信先ノードが要求する周期に合致するセンサデータをそれらの配信先ノードに再配信することにより通信負荷を分散する．例えば，表 1 では，時刻 0 と時刻 6 のセンサデータは全ての配信先ノードが要求しており，ある配信先ノードが他の配信先ノードにセンサデータを再配信することで，サーバが直接配信することなくそれらのセンサデータを必要としている配信先ノードに配信できる．同様に時刻 2 と時刻 4 のセンサデータについては収集周期 1 の配信先ノードと収集周期 2 の配信先ノード，時刻 3 については収集周期 1 の配信先ノードと収集周期 3 の配信先ノードが相互に再配信が可能である．サーバから直接配信する場合，通信負荷がサーバに集中するが，この例のように，センサデータを受信した配信先ノードが他の配信先ノードに再配信することで，通信負荷の分散が期待できる．

ノード間の負荷分散の指標としては，公平性の評価として一般的に用いられる Jain's fairness index を採用している（式 4）．配信元ノードの負荷を L_0 ，配信先ノードの負荷を L_i で示している．FI は $\frac{1}{N+1}$ から 1 の間の値をとり，1 に近いほど公平な状態であると言える．

$$FI = \frac{\left(\sum_{r=0}^N L_r\right)^2}{N \cdot \sum_{r=0}^N L_r^2} \quad (4)$$

2.4 配信経路構築手法

2.4.1 LCF 法

想定環境において，収集周期の短い配信先ノードは，単

位時間あたりの受信するセンサデータの数が多く，他の収集周期のセンサデータが含まれる確率が高い．例えば，収集周期 3 の配信先ノードが受信するセンサデータには，その倍数である収集周期 6, 9 … のセンサデータが含まれる．このため，収集周期の短い配信先ノード D_s が，収集周期がより長い配信先ノード D_l よりも優先的に再配信する場合，多くの配信先ノードがその再配信先となり，配信先ノード D_s に通信負荷が集中する可能性が高くなる．また，同時に単位時間あたりにより多くのセンサデータを扱うことから，収集周期の短い配信先ノードは再配信を行わなくとも負荷が高い状態であると考えられる．

逆に，収集周期の長い配信先ノードは単位時間あたりに扱うセンサデータが少なく，相対的に負荷は低く，再配信先の候補となる配信先ノードも少ない．LCF（Longest Cycle First；最長周期優先）法では，収集周期の長い配信先ノードが優先的に再配信することで負荷分散する．配信先ノード $D_1, D_2, D_3, D_4, D_5, D_6$ の収集周期はそれぞれ 1, 1, 1, 3, 3, 3 であるため，最小公倍数の 3 が全体の周期となる．この全体の周期内の各周期での配信経路を求め，全体の周期 3 で繰り返し各配信経路を用いることとなる．周期 0 では，その周期のセンサデータを受け取る配信先ノードの内，最長の周期を持つ D_4 は配信元ノードからセンサデータを受け取る． D_4 は，同周期の D_5 と D_6 に再配信し， D_6 は，周期 0 のセンサデータを必要とする D_1 に再配信する． D_1 は，同周期である D_2 と D_3 に再配信する． D_4 は 3 の倍数となる時刻のセンサデータしか配信できないため， D_1 は残りの周期 1, 2 のセンサデータを配信元ノードから受信し，再配信することとなる．表 1 の場合における LCF 法での配信経路は図 2 の通りとなる．

以上のように，LCF 法では各配信先ノードが要求する収集周期のみに着目して配信経路を構築しており，比較的容易に実装できる．しかしながら，各配信先ノードが要求する収集周期のみに着目しているため，必ずしも負荷が適切に分配されない場合が生じる．例えば，長周期の配信先ノードでは，他の配信先ノードへ多く送信するため，同じ時刻に再配信先が多い場合，送信負荷が増大する可能性がある．また，同一の収集周期を持つノードによるグループが複数ある場合，LCF 法ではグループ間を跨ぐ再配信はグループ内の特定のノードのみが行うこととなり，負荷に偏りが生じることとなる．

2.4.2 LLF 法

LLF（Lowest Load First；最小負荷優先）法は，各ノードの収集周期から各ノードに加わる通信負荷を 2.2 節の負荷モデルにより推定し，ある時刻のセンサデータを受け取る際には，同時刻のセンサデータを受信しているノードの中で推定された負荷が最小のノードから受け取ることで通信負荷を分散する．負荷を推測することにより LLF 法では，

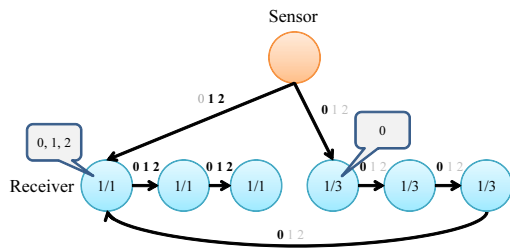


図2 LCF法による配信経路
Fig. 2 The delivery route in the LCF method.

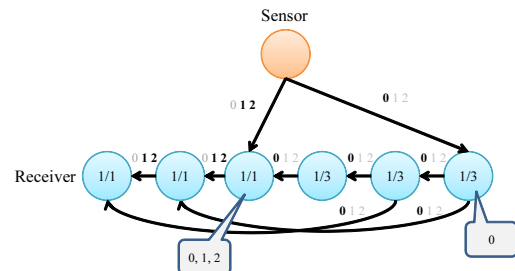


図3 LLF法による配信経路
Fig. 3 The delivery route in the LLF method.

LCF法より均等に負荷が分散されることが期待できる。

表1の場合、配信先ノードの収集周期の最小公倍数の3が全体の周期となる。この全体の周期内の各周期での配信経路を求め、全体の周期3で繰り返し各配信経路を用いることとなる。センサデータ1個あたりの送信負荷を1、受信負荷を1とする ($\alpha = \beta = 1$)。まず、各ノードが受信しなければならない周期のセンサデータによる受信負荷を求めると、3, 3, 3, 1, 1, 1となる。各周期において、最長周期の配信先ノードは、配信元ノードからセンサデータを受け取り、2番目に長い周期の配信先ノードに再配信することとなるため、次にそれらによる送信負荷を求める。例えば、周期0では D_6 が配信元ノードからセンサデータを受け取り、 D_5 に再配信する。周期1では D_3 が配信元ノードからセンサデータを受け取り、 D_2 に再配信する。これらの最長周期の配信先ノードに生じる送信負荷を加算すると、各配信先ノードの負荷は3, 3, 4, 1, 1, 2となる。最後に、各周期においてセンサデータの取得元が決定していない配信先ノードの取得元を決定してゆく。例えば、ここまでの手順で、周期0では D_6 は配信元ノードから受け取る、 D_5 は D_6 から受け取ると決定している。 D_4 は、この時点で経路が決定している負荷が最小のノードを選択し、周期0のセンサデータを受け取る。これは D_5 となる。この再配信による送信負荷を加算すると、各配信先ノードの負荷は3, 3, 4, 1, 2, 2となる。同様に D_3 は D_4 から受け取り、各配信先ノードの負荷は3, 3, 4, 2, 2, 2となる。これを D_2 , D_1 についても行き、周期0の経路が決定される。以降、残りの周期1, 5についても負荷が最小のノードを選択することで経路を決定することで、表1の場合におけるLLF法による配信経路は図3の通りとなる。

2.4.3 LLF-H法

LLF法では、各ノードの負荷の均等化に主眼を置いており、あるセンサデータが配信元ノードから配信先ノードまで届く配信遅延については考慮されていない。このため、配信先ノードの収集周期によっては配信先までのデータのホップ数が大きくなり、配信遅延が累積する可能性がある。特に、同一の配信周期のノードが数多く存在する場合には、それらのノード間でデータをリレーするように配信経路を

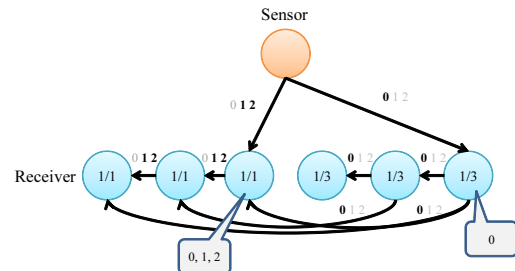


図4 LLF-H法による配信経路
Fig. 4 The delivery route in the LLF-H method.

構築するため、末端のノードまでのホップ数が増大し、配信遅延時間が長くなる傾向がある [10]。

LLF-H (Lowest Load First considering Hops) 法では、センサデータの再配信を許すホップ数に上限を設けることで、配信遅延の抑制を目指す。具体的には、LLF法において負荷が最小のノードを選択する過程において、候補となる配信先ノードから再配信を受けた場合にホップ数の上限を越えないか判定を行う。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ノードが無い場合は各周期で最長の周期を持つノードから受け取る。

LLF-H法による配信経路は、ホップ数の上限を3、配信先の周期を表1とした場合、図4の通りとなる。LLF法で構築した経路(図3)と異なり、周期0時の D_4 から D_3 への配信経路がホップ数上限を越えるために消失し、変わって D_3 は D_6 から同センサデータを受け取るようになる。これをうけて、 D_1 , D_2 への経路にも変化が生じている。

3 PIAXテストベッドを用いた評価

LCF法、LLF法、LLF-H法を実装したセンサデータストリーム配信システムを、情報通信研究機構が提供しているPIAXテストベッドを用いて評価を行った。試作したセンサデータストリーム配信システムは、オーバーレイネットワークを介した探索機能を持つPIAXを用いてシステムを構築している。

3.1 PIAXテストベッドの概要

PIAXテストベッド*1は、PIAXエージェントを用いた

*1 PIAXテストベッド <https://piax.jgn-x.jp/>

システムの動作検証や性能評価を容易に行うためのテストベッドとして NICT により整備・運営されているサービスであり、同機構が整備・運営している新世代ネットワーク技術の研究開発テストベッドの JGN-X の一部として提供されている。

PIAX テストベッドでは、JGN-X の仮想マシン環境上に PIAX 実行基盤が用意されており、ユーザにはそれらの仮想マシンが複数台割り当てられる。2012 年 6 月現在、PIAX テストベッドは JGN-X 札幌 AP, NICT 大手町, NICT 小金井, NICT けいはんな, 大阪大学の各拠点・データセンタにおかれた計 492 台の仮想マシンによって構成されており、各仮想マシンは JGN-X L2 サービスにより相互に接続されている。

3.2 評価環境の構成

評価を行うノード構成は、配信に携わるノードとして配信元ノード 1 ノードと配信先ノード 30 ノード（1～30）の全 31 ノードを用いる。配信元ノードにはけいはんなに置かれたノードを用いる。配信先ノードには、全てけいはんなのノードを利用する場合（local）と、一部に札幌、大手町のノードを用いる場合（remote）で評価を行う。それぞれ、ノード間の通信遅延が小さく等質である場合と、通信遅延が大きいノードを含む場合を想定した環境となる。札幌、大手町のノードを含む場合では、配信先ノード 2 に大手町、配信先ノード 5, 10, 12, 20, 25, 29 に札幌のノードを用い、他の配信先ノードは全てけいはんなのノードを用いる。

配信経路の構築法は、LLF-H 法、LLF 法、LCF 法の 3 種を用い、比較する。LLF 法、LLF-H 法での負荷推定に用いるパラメータ α と β には、送受信の負荷が同一であると仮定し、 $\alpha = \beta = 1$ とした。また、LLF-H 法での上限ホップ数は 5 とした。

各配信先ノードが要求する収集周期として、次の 2 種のパターンを与えた。

FIXED

全て収集周期 1（全周期）

GROUP

配信先ノード 1～15 は収集周期 1（全周期）、16～30 は収集周期 2（偶数周期のみ）

センサデータは 100ms 間隔で配信し、実際の観測値の代用として 0 パディングされた 1024 バイトのダミーデータを用いる。このセンサデータを 5 分間配信することで計測を行う。

3.3 評価

3.3.1 割り当て周期 FIXED におけるホップ数と配信遅延

図 5 は、割り当て周期が FIXED での配信元ノードから配信先ノードまでに要する各ノードの平均ホップ数を示

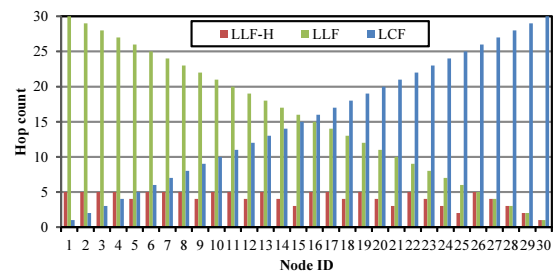


図 5 平均ホップ数（FIXED）

Fig. 5 Average number of hops (FIXED).

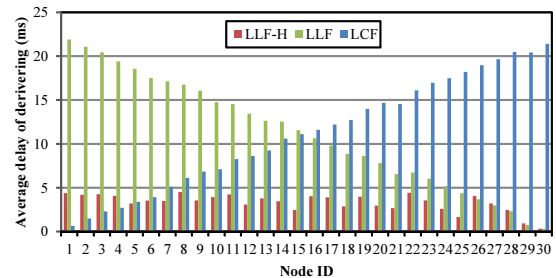


図 6 平均配信遅延時間（FIXED, local）

Fig. 6 Average delay of deriving (FIXED, local).

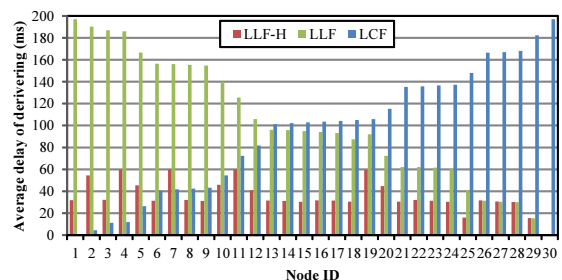


図 7 平均配信遅延時間（FIXED, remote）

Fig. 7 Average delay of deriving (FIXED, remote).

している。横軸が各ノードを示しており、縦軸がそのノードの平均ホップ数を示している。割り当て周期 FIXED では、全てのノードの収集周期が同じであることから、LCF 法、LLF 法ではそれぞれチェーン状の配信経路を形成する。LCF 法では、配信先ノード 1 が配信元ノードからセンサデータを受け取り、以降配信先ノード 30 に向けて配信される。LLF 法では、配信先ノード 30 が配信元ノードからセンサデータを受け取り、配信先ノード 1 に向けて配信される。配信方向は逆であるが、それぞれチェーン状に順次再配信されるため最大ホップ数はノード数と同じ 30 となっている。LLF-H 法では、ホップ数に制限が加わることから、最大でも 5 となっていることがわかる。

図 6 は、配信先ノードをすべてけいはんな設置のノードを用いた場合の、平均配信遅延時間を示している。配信遅延時間とは、あるセンサデータが配信元ノードにより配信され始める直前から、配信先ノード上のアプリケーションに受け渡されるまでに要する時間としている。LCF 法、

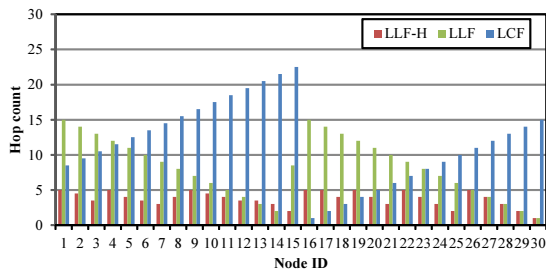


図 8 平均ホップ数 (GROUP)
Fig. 8 Average number of hops (GROUP).

LLF 法においては、各ノード間の通信遅延時間が 1ms 未満のほぼ同じ環境であることから、ホップ数と同様にほぼ直線的に遅延時間が累積していることがわかる。LLF-H 法においても同様に、ほぼホップ数と同じ分布となっている。図 7 は、札幌・大手町のノードを含めた場合の、平均配信遅延時間となる。札幌・大手町のノードとの間の通信遅延は、けいはんな・札幌間 26ms、けいはんな・大手町間 10ms、大手町・札幌間 17ms となっている。遠隔地のノードを含めた場合、LCF 法、LLF 法では、主にこれらのデータセンタ間を跨ぐ再配信があるノード間において、これら通信遅延の影響を受けて大きく遅延が加算されている。LLF-H 法においては、配信先ノード 30 が受けたセンサデータは、同 25 と 26 に再配信され、そこから他のノードへと再配信が進む経路となっている。これらノード 25、29 は札幌ノードとなっているため、けいはんなに置かれた他の配信先ノードにおいても、約 30ms の配信遅延時間となっている。また、LLF-H 法においてもデータセンタ間を跨ぐ場合には、大きく遅延が加算されている。

3.3.2 割り当て周期 GROUP におけるホップ数と配信遅延

図 8 は、割り当て周期が GROUP での各ノードの平均ホップ数を示している。LCF 法では、周期 0 のセンサデータは配信先ノード 16～30 の間を順次再配信され、さらに配信先ノード 30 から配信先ノード 1 へ、そこから配信先ノード 15 まで再配信される。配信先ノード 15 でのホップ数は 30 となる。周期 1 のセンサデータは配信先ノード 1～15 の間を順次再配信される。これらの平均から、LCF 法でのホップ数は図 8 の通りとなる。LLF 法では、周期 0 のセンサデータは配信先ノード 30～16 の間を順次再配信されると共に、配信先ノード 1～15 へは対応する配信先ノード 16～30 が再配信する。例えば、配信先ノード 12 へは、配信先ノード 30, 29, 28, 12 という経路となる。周期 1 では、配信先ノード 15 が配信元ノードからセンサデータを受け取り、以降配信先ノード 1 へ向けて順次再配信される。LLF 法では、LCF 法と異なり、周期 0 のセンサデータがチェーン状に配信されることが無いため、LCF 法と比較して配信先ノード 1～15 での平均ホップ数は小さくなっている。LLF-H 法では、周期 0, 1 で配信元ノードから

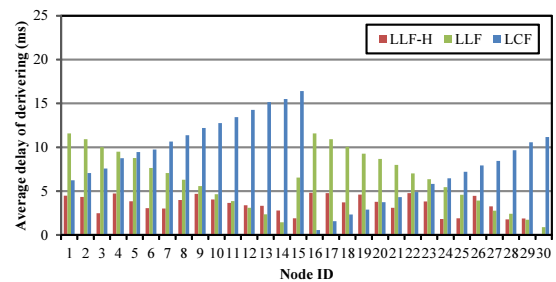


図 9 平均配信遅延時間 (GROUP, local)
Fig. 9 Average delay of deriving (GROUP, local).

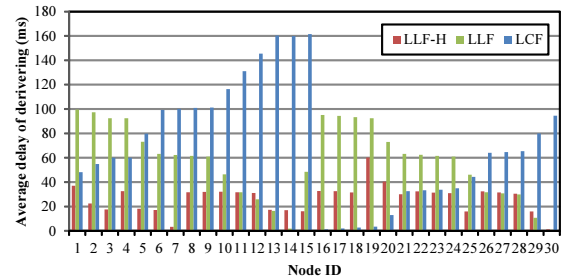


図 10 平均配信遅延時間 (GROUP, remote)
Fig. 10 Average delay of deriving (GROUP, remote).

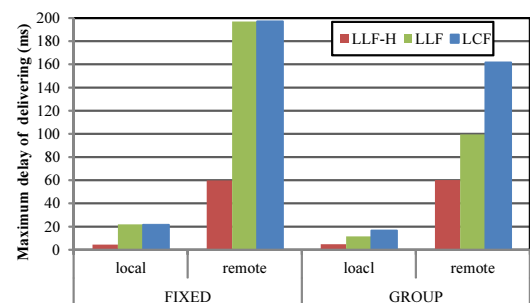


図 11 最大平均配信遅延時間
Fig. 11 Maximum delay of deriving.

センサデータを受け取るノードは LLF 法と同様に、それぞれ配信元ノード 30, 15 になっている。以降の再配信については、設定した上限ホップ数 5 となっている。

図 9 は、配信先ノードをすべてけいはんな設置のノードを用いた場合の、平均配信遅延時間を示している。この環境では、FIXED と同様にほぼホップ数と同じ分布となっている。図 10 は、札幌・大手町のノードを含めた場合の、平均配信遅延時間となる。LCF 法では、配信先ノード 1～15 は周期 0 のセンサデータを配信先ノード 30 を介して受け取るため、比較的少ないホップ数で受け取る LLF 法の同ノードと比較して配信遅延が多くなっている。全手法とも、データセンタ間を跨ぐ再配信があるノード間において、これら通信遅延の影響を受けて大きな遅延が生じるのは FIXED の場合と同様となっている。

3.4 最大遅延時間と Fairness Index

図 11 は各評価において、各配信先ノードのうち、平均

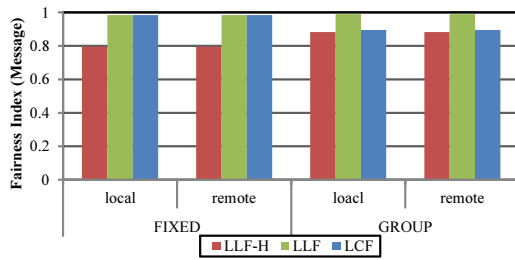


図 12 メッセージ数による Fairness Index
Fig. 12 Fairness Index (Messages).

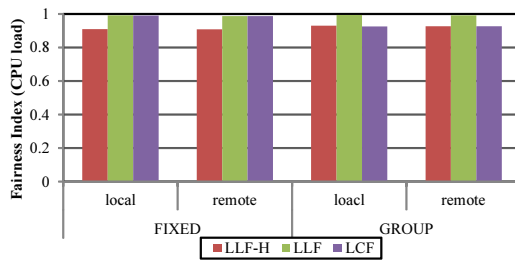


図 13 CPU 負荷による Fairness Index
Fig. 13 Fairness Index (CPU load).

配信遅延時間が最も大きい値を比較した図となり、各配信経路における、最悪値を示している。この図より、LLF-H 法ではホップ数を制限することで LCF 法、LLF 法と比較して大きく配信遅延時間を削減できていることがわかる。FIXED の札幌・大手町のノードを含めた場合 (remote) では、LCF 法、LLF 法での約 200ms に対して LLF-H 法では約 60ms となっており、約 30% の遅延時間となっている。GROUP の remote では、LCF 法が約 160ms、LLF 法が約 100ms、LLF-H 法が約 60ms となっており、配信遅延時間は LCF 法比で約 36%、LLF 法比では約 60% に抑制できている。

この時の Fairness Index を図 12 と図 13 に示す。それぞれメッセージ数から求めた Fairness Index と、計測中の CPU 負荷 (CPU 利用率) から求めた Fairness Index となっている。各評価において、LLF 法が 0.98 ~ 0.99 となっており、最も負荷が公平に分散されている。LCF 法は、FIXED においては LLF 法と同じ配信形態となることから LLF 法と同等となっている。GROUP では 0.89 ~ 0.92 となっている。LLF-H 法では、図 12 においては FIXED では約 0.80、GROUP では約 0.88 となっている。また、図 13 では、それぞれ約 0.90 と約 0.93 となっており、LLF 法との差は少なくなっている。

4 まとめ

本稿では、収集周期の異なるセンサデータストリームを配信するための Peer-to-Peer 型配信経路構築手法として、我々の研究グループが提案している LLF-H 法について、PIAX テストベッドを利用して配信遅延時間を中心とした

評価を行った。LLF-H 法では、同じ周期を要求するノードが多い環境において、既存手法である LLF 法と比べて負荷の公平性を大きく損ねることなく配信遅延を約 60 ~ 30% に抑制できることを確認した

今後は、複数のセンサデータストリームを同時に扱う配信手法について検討を進める予定である。

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。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。

参考文献

- [1] Magharei, N. and Rejaie, R.: PRIME: peer-to-peer receiver-driven mesh-based streaming, *IEEE/ACM Transactions on Networking (TON)*, Vol. 17, No. 4, pp. 1052–1065 (2009).
- [2] Yu, L., Liao, X., Jin, H. and Jiang, W.: Integrated buffering schemes for P2P VoD services, *Peer-to-Peer Networking and Applications*, 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*, pp. 3008–3017 (2011).
- [4] Jin, X., Yiu, W.-P. K., Chan, S.-H. G. and Wang, Y.: On Maximizing Tree Bandwidth for Topology-Aware Peer-to-Peer Streaming, *IEEE Transactions on Multimedia*, pp. 1580–1592 (2007).
- [5] Silawarawet, K. and Nupairoj, N.: Locality-Aware Clustering Application Level Multicast for Live Streaming Services on the Internet, *Journal of Information Science and Engineering*, Vol. 27, pp. 319–336 (2011).
- [6] Le, T. A. and Nguyen, H.: 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)*, pp. 2185–2190 (2012).
- [7] Kawakami, T., Ishi, Y., Yoshihisa, T. and Teranishi, Y.: A Delivery Method considering Communication Loads for Sensor Data Stream with Different Collection Cycles, *Proceedings of The 28th ACM Symposium On Applied Computing (SAC 2013)*, pp. 611–618 (2013).
- [8] Kawakami, T., Ishi, Y., Yoshihisa, T. and Teranishi, Y.: A P2P Delivery Method for Sensor Data Stream Based on Load Estimation from Collection Cycles, *Proceedings of The 4th IEEE International Workshop on Enablers for Ubiquitous Computing and Smart Services (EUCASS 2013) in conjunction with The 37th Annual International Computer Software & Applications Conference (COMPSAC 2013)*.
- [9] 石 芳正, 義久智樹, 川上朋也, 寺西裕一: 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, *情報処理学会第 75 回全国大会論文集 第 3 分冊 (IE-5)*, pp. 23–24 (2013).
- [10] 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, 第 5 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2013) 論文集 (E6-6) (2013).
- [11] 川上朋也, 石 芳正, 義久智樹, 寺西裕一: P2P 型センサデータストリーム配信システムにおけるホップ数を考慮した負荷均等化手法, *電子情報通信学会技術研究報告 IN2013-39*, Vol. 113, No. 140, pp. 19–24 (2013).