

# Pub/Sub メッセージングにおける 媒介中心性を用いた Broker 連携方式の比較評価に関する検討

虎谷 章<sup>†</sup>      坂野 遼平<sup>‡</sup>      竹内 亨<sup>‡</sup>  
川野 哲生<sup>‡</sup>      武本 充治<sup>‡</sup>      松尾 真人<sup>‡</sup>

## 1. はじめに

センサネットワーク等を支える技術として、リアルタイムなメッセージングを可能とする pub/sub が注目されている。多くのメッセージ指向ミドルウェア (MOM) において pub/sub が実装されており、一般的には publisher, broker, subscriber の 3 者構成をとる。中継を担う broker に負荷が集中しやすいため、MOM の中には複数 broker を連携させ負荷を分散させる機能を備えたものが存在する。しかしながら、連携には様々な方式が考えられ、それらを比較評価する方法が確立されていないため、用途に応じた適切な方式の選択が難しい問題がある。

本研究では、MOM における broker の連携方式の評価を可能とする指標の検討を行なう。具体的には、各連携方式を構成する broker の負荷を表現するモデルとして、媒介中心性[1]に基づく新たな指標を提案し、これにもとづいて複数の連携方式を実機環境において比較評価した結果を報告する。

## 2. 関連研究

媒介中心性[1]は、ソーシャルネットワークにおける各ノードの影響力を定量化する指標であり、 $n$  個のノードからなるネットワークにおけるノード  $v_i$  の媒介中心性  $C_b(v_i)$  は次式で表される。

$$C_b(v_i) = \frac{v_i \text{ を通る, } 2 \text{ ノード間最短経路の数}}{v_i \text{ を除く } 2 \text{ ノードの組み合わせ数}}$$

下間ら[2]は、データセンター内トラフィックの期待値を表す指標として媒介中心性の概念を取り入れている。

## 3. 提案指標

本研究では、媒介中心性の概念を pub/sub における broker 連携方式の評価指標として導入する。基本的には、各 broker の中心性が均一に近く、また

表 1. 非対称媒介中心性における表記一覧

$b_i$	$i$ 番目の broker を表す
$P$	publisher 総数
$S$	subscriber 総数
$P(b_i)$	$b_i$ に直接接続している publisher 数
$S(b_i)$	$b_i$ に直接接続している subscriber 数
$B(b_i)$	$b_i$ に直接接続している broker の集合
$PSG(b_i, b_j)$	$b_i$ - $b_j$ 間を切断したグラフにおいて $b_i$ を含む部分グラフに接続する publisher 数
$IS(b_i, b_j)$	$b_i$ - $b_j$ 間を切断したグラフにおいて $b_i$ を含む部分グラフに接続する subscriber が存在すれば 1, 存在しなければ 0 を表す

その値が単一 broker の中心性と比べ小さければ、負荷分散性に優れた方式であると言える。

しかしながら、pub/sub ネットワークの特徴を考慮すると、媒介中心性を直接適用することは困難である。即ち、媒介中心性が想定するネットワークと異なり、pub/sub の場合ノードの役割が一樣ではなく、中心性の算出対象は broker のみであって、データの流れる方向も決まっている。また、pub/sub では publisher と subscriber の関係は多対多が前提である。これらの特徴から、媒介中心性を直接適用すると実態と乖離した指標になると考えられる。

上記の特徴を考慮し、以下のように拡張した「非対称媒介中心性」を新たに定義する。

- 各 publisher から全 subscriber へマルチキャストする最短経路木を考え、それら最短経路木が broker を通過する回数に基づいて、中心性を算出する。
- 中心性は inbound/outbound に分けて算出する。inbound 側について、表 1 に示す各表記を用いて、broker  $b_i$  の非対称媒介中心性  $inC_b$  を以下のよう

$$inC_b(b_i) = \frac{P(b_i) + \sum_{b_j \in B(b_i)} \{PSG(b_j, b_i) * IS(b_i, b_j)\}}{P}$$

$inC_b$  は、総 publisher 数に対する、 $b_i$  における inbound の和の比である。

<sup>†</sup> 京都産業大学

Kyoto Sangyo University

<sup>‡</sup> NTT 未来ねっと研究所

NTT Network Innovation Laboratories, NTT Corp.

表 2. 実験条件

サーバ CPU	Atom C2750 2.4GHz (8 core)
サーバメモリ	16GB
MTU	1500 byte
メッセージサイズ	4096 byte

表 3. broker の連携方式

	broker 間接続	閉路	特徴
A	無し	N/A	publisher 側フルメッシュ
B	無し	N/A	subscriber 側フルメッシュ
C	有り	無し	スター型
D	有り	無し	チェーン型
E	有り	有り	フルメッシュ型

次に, outbound 側の媒介中心性  $outC_b$  を以下のよう  
に定義する.

$$outC_b(b_i) = \frac{P(b_i) * [\{\sum_{b_j \in B(b_i)} IS(b_j, b_i)\} + S(b_i)]}{P * S} + \frac{\sum_{b_j \in B(b_i)} [PSG(b_j, b_i) * [\{\sum_{b_k \in B(b_i) \setminus \{b_j\}} IS(b_k, b_i)\} + S(b_i)]]}{P * S}$$

これは, 総 publisher 数と総 subscriber 数の積に  
対する, outbound の和の比を算出したものである.

これらの定義式をもとに, 単一 broker における  
非対称媒介中心性を考えてみると,  $P(b_i) = P$ かつ  
 $B(b_i) = \phi$ となるため,  $inC_b$  は 1.0 となる. また  
 $S(b_i) = S$ であることから,  $outC_b$  も 1.0 である. 複数  
broker を連携させる場合, 各 broker の中心性が  
これらの値と比べどの程度小さくなるかによって,  
連携の効果を評価可能と考えられる.

#### 4. 実環境検証

複数の broker 連携方式について, 実機環境での  
検証を行なった. MOM には MQTT プロトコルを  
実装した Mosquitto を利用し, bridge 機能を用い  
て broker を連携させた. クライアントとしては  
Paho を用いた.

検証環境として 10 台の小型サーバを用意し, ノ  
ンブロッキング通信が可能なギガビットイーサ  
ネットスイッチを介して接続した. 4 台を broker,  
3 台を publisher, 3 台を subscriber として用いた.  
publisher 及び subscriber については, 各物理サー  
バ上で複数プロセスを立ちあげ, それぞれが異なる  
ノードとして broker に接続する構成とした. その  
他, 本検証における諸元は表 2 に示すとおりであ  
る. なお, Mosquitto の仕様上, 各 broker は 1 コ

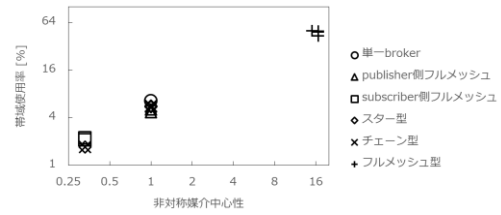


図 1. inbound の非対称媒介中心性と帯域使用率

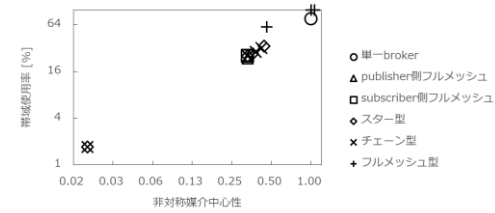


図 2. outbound の非対称媒介中心性と帯域使用率

アのみ利用して動作することに留意されたい.

これらの条件下で, 表 3 に示す 5 方式及び単一  
broker の場合を対象として検証を行なった. なお,  
各方式の詳細等はポスターにて説明を行なう予定  
である. 検証結果を, 図 1 及び図 2 に示す. これら  
の測定結果から, inbound 及び outbound の非対称  
媒介中心性と, 実際の帯域使用率との間に正の相関  
が見て取れる. 閉路を含む方式 E の場合, 同一メ  
ッセージが複数経路を経由して届くといった事象が  
生じることから, 負荷が高くなっている.

#### 5. おわりに

本稿では, broker の連携方式を評価する指標と  
して非対称媒介中心性を提案し, 実機環境での検証  
を行なって実際の負荷を反映していることを示した.  
また今回の測定では, 閉路を含む連携方式の効率  
の悪さが示されたが, 閉路を含むことは耐障害性  
の観点からは利点となる. この両立を実現し得るも  
のとして, 構造化オーバーレイを用いた自律分散的  
なアプローチも提案されている[3]. 今後の課題とし  
て, こうした手法をも含めた比較評価への適用可能  
性についての検討を考えている.

#### 参考文献

- [1] Freeman, "Centrality in Social Networks: Conceptual Clarification," Social Networks, Vol.1, No.3, pp.215-239, 1979.
- [2] 下間, et al., "データセンターにおける輻輳回避のためのルーティング用論理トポロジ構築手法," 信学技報, IN2013-180, pp.217-222, Mar. 2014.
- [3] Banno, et al., "A Distributed Topic-based Pub/Sub Method for Exhaust Data Streams Towards Scalable Event-driven Systems," Proc. of COMPSAC 2014, pp.311-320, July 2014.