

## 大規模センサネットワークにおけるオーバレイネットワークを用いた イベント配送負荷分散アルゴリズムの設計

小川 和真<sup>†</sup> 中村 陽一<sup>††</sup> 齊藤 裕樹<sup>†</sup>

<sup>†</sup>東京電機大学 工学部 情報メディア学科 <sup>††</sup>東京電機大学大学院 工学研究科 情報メディア学専攻

### 1. はじめに

近年, センサデバイスの小型化や無線通信デバイスの高性能化により大規模なセンサネットワークが構築されている. 従来のセンサネットワークはセンシングデータを一つのノードの下に収集するアーキテクチャで構築されることが多いが, 大規模なセンサネットワークでは, 可用性や信頼性を高め負荷の集中を防ぐために, 分散型のアーキテクチャを検討する必要がある.

本研究では, 特定の事象が発生したときに即時的に処理を開始するイベント駆動型アプリケーションを対象とし, 大規模センサネットワークにおけるオーバレイネットワークを用いたイベント配送負荷分散アルゴリズムを提案する.

### 2. Publish/Subscribe モデル

Publish/Subscribe システムは, メッセージの送り手(Publisher)が連続的にデータを送信し, 受け手(Subscriber)があらかじめどのようなデータが必要か選択しておくことで必要な内容のみを得られるシステムである. センサネットワークでは, Publisher であるセンサは, メッセージブローカにデータを送る役割をする. Subscriber である利用者は, どの範囲の位置で起こるどのような事象 (例えば, 経度や緯度の範囲) を購読するかをメッセージブローカに登録するものとする. この購読情報を Subscription と呼ぶ.

本研究ではメッセージブローカの機能を, 複数のノードから構成するオーバレイネットワーク上で実現するアーキテクチャを提案する.

### 3. オーバレイネットワーク上での Publish/Subscribe システム

#### 3.1 Publish/Subscribe マップの構造化

メッセージブローカにおいて, Subscription を位置, 温度, 湿度, 照度といったセンシングデータの種別ごとに分け, 種別ごとに, 登録されている Subscription の範囲を示すマップ状の多次元のデータ構造で表現することができる. これを Publish/Subscribe マップと呼ぶ.

次に, 図 1 に示すように Publish/Subscribe マップを等間隔に分割しオーバレイネットワークを構成するノードに分割領域を割り当て, ノードはこの範囲の処理を担当する.

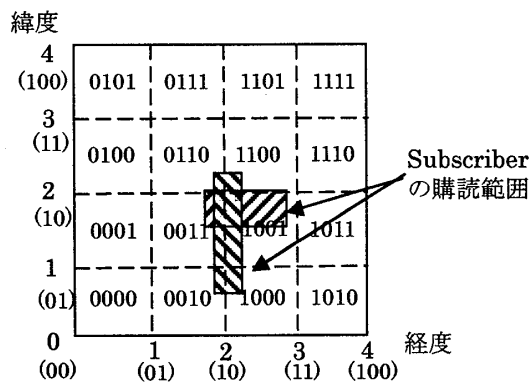


図 1. Publish/Subscribe マップ

#### 3.2 Z-ordering によるノード ID の割り当て

次に多次元のマップを扱うため, 多次元に対応したオーバレイネットワークが必要となる. 多次元情報が扱える先行研究 MAAN[1]では, 範囲検索の効率が悪い. そのため, 多次元情報を 1次元情報として表現することが適していると考えられる. 本研究では, Z-ordering[2]を用いて多次元情報を 1次元情報として扱うことを検討する.

本研究では Z-ordering の規則に従い, ノードの管理すべき範囲の始点  $(x, y)$  を  $n$ -bit で 2進表記した各ビット  $(x_1 x_2 \dots x_n, y_1 y_2 \dots y_n)$  を元に,  $[x_1 y_1 x_2 y_2 \dots x_n y_n]$  というビット表現をノード ID とする. 図 1 の例では, 点線によって区切られた領域が 1 ノードが管理する領域であり, その中の数字はノード ID である.

#### 3.3 イベント配送

センサから送られてきたデータを Subscription に対応づけ, Subscriber に配送するときには, Z-ordering に基づきノード ID からセンシングデータに対応するノードを決定する.

Subscription は範囲をもった情報であるため, 範囲検索可能なネットワーク構造が必要になる. Chord[3]等の従来の DHT では検索範囲となるキーをハッシュ変換するため, キーの連続性が保たれず範囲検索に適さない. 本研究では範囲検索に対応した構造化オーバレイネットワークである Skip Graphs[4]をイベント配送に用いる.

#### 3.4 Publish/Subscribe マップの平準化

実世界では, センサデータの密度や Subscriber の要求には偏りがある. そのため, Publish/Subscribe マップの偏りを動的に平準化するアルゴリズムが必要である.

本研究では, Mercury[5]のアルゴリズムを基

**Algorithm. Publish/Subscribe マップの平準化アルゴリズム**

```
Distribute begin
while(n<k)do
  randomnode -> samplingnode;
  n++;
done
for each(!samplingnode.isEmpty)
  load = sensordata * subscription;
  if (samplingnode).load > avg+e)then
    (samplingnode)→hi_map;
  else if (samplingnode).load < avg-e) then
    (samplingnode)→low_map;
  endif
endif
done
  負荷が低いと判定されたノードは管理領域を離脱し
  負荷が高いと判定されたノードの隣に再参加.
end
```

図 2. Publish/Subscribe マップの平準化アルゴリズム

に Publish/Subscribe マップの平準化を動的に行う。図 2 に平準化のアルゴリズムを示し以下に手順を説明する。

1. 一定間隔ごとに任意の 1 つのノードがランダムサンプリングを行い、 $k$  個のノードのノード ID、センサイベント数と Subscription 数を取得する。
2. ランダムサンプリングで選択されたノードについて、以下の数式でノードの負荷を計算する。

$$\text{負荷} = \text{センサイベント数} \times \text{Subscription 数}$$

次に、 $k$  個のノードの負荷の平均 $+e$  以上のノードを負荷が高いと判断し、平均 $-e$  以下のノードを負荷が低いと判断し、平準化の対象となる。 $e$  は閾値である。

3. 負荷が低いと判断されたノードは ID が隣り合う 2 つのノードに Subscription の半数と管理領域の半分を隣接ノードに渡し、その領域を離脱する。離脱したノードは負荷が高いと判断されたノードの隣に参加し、管理領域を分担することで、Subscription の半数を受け取る。
4. Membership Vector を基に Skip Graphs のリンクの再構成を行う。
5. 1~4 の処理を反復して行う。

#### 4. 評価

Publish/Subscribe マップの平準化アルゴリズムの実装を行い、シミュレーション実験を行った。シミュレーションは、領域の大きさを  $2^{10} \times 2^{10}$ 、ノード数 1000、Subscription 数 100、センサ数 100、平準化の反復回数 1000、サンプリングノード数  $k=5$  として行った。Subscription およびセンサイベントの発生確率は領域の中央を中心と

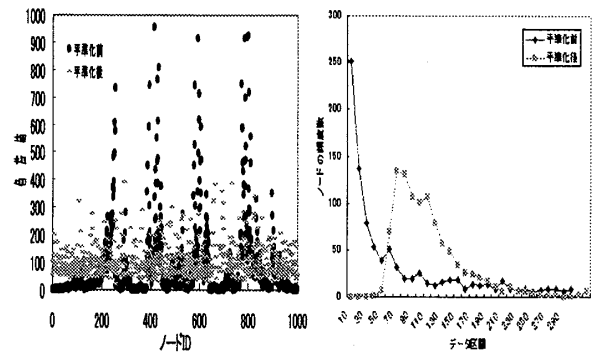


図 3. (a) ノード ID ごとの負荷の分布 (b) 各ノードの負荷の値ごとの頻度分布

した指数分布になるようにした。

図 3(a)に、各ノードの ID ごとの平準化前の負荷の値と平準化後の負荷の値を示す。平準化前と比較し平準化後は負荷が 500 以上のノードがなく 100~200 に多く分布している。図 3(b)に、各ノードの負荷の値ごとの頻度分布を示す。平準化前は負荷が 0~50 と負荷が小さいノードが 50%以上かつごく少数のノードの負荷が 250 以上あり偏りが大きいと考えられる。これに対し平準化後は、約 70%のノードの負荷が 80~120 に収まっている。以上の結果より平準化アルゴリズムが有効であると考えられる。

#### 5. まとめ

本論文では、大規模センサネットワークにおけるイベント配送の負荷分散アルゴリズムの設計、評価を行った。今後は、センサネットワークにおける Publish/Subscribe モデルに基づくオーバーレイネットワークの実装と評価を行う。

本研究は、東京電機大学総合研究所研究課題 Q07J-02 として行ったものである。

#### 参考文献

- [1] M. Cai, M. Frank, J. Chen, and P. Szekely, "MAAN: A Multi-AttributeAddressable Network for grid information services," Journal of GridComputing, vol. 2, no. 1, pp. 3-14, 2004.
- [2] Bongki Moon, H. V. Jagadish, Christos Faloutsos, and Joel H. Saltz, Analysis of the Clustering Properties of the Hilbert Space-Filing Curve, IEEE Transaction on Knowledge and Data Engineering Vol, 13, No.1, pp.124-141, 2001.
- [3] Stoica, I., Morris, R., Karger, D., Kaa-shoek, M. F. and Balakrishnan, H.: Chord: A Scalable Peer-to-peer Lookup Protocol for Internet Applications, Proc. of ACM SIGCOMM 2001, pp.149-160, 2001.
- [4] James Aspnes, Gauri Shah : "Skip Graphs," ACM SIAM Symposium on Discrete Algorithms , pp.384-393 Jan. 2003,
- [5] Ashwin R. Bharambe, Mukesh Agrawal, Srinivasan Seshan: Mercury: Supporting Scalable Multi-Attribute Range Queries, Proc. of ACM SIGCOMM 2004, 2004.