

Internet of Things 環境のための情報の時空間局所性制御に関する検討

A Study on the Spatiotemporal Locality of Information for Internet of Things Environments

小泉 佑揮^{1,2}
Yuki Koizumi

村田 正幸^{1,2}
Masayuki Murata

大阪大学 大学院情報科学研究科¹
Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University
情報通信研究機構/大阪大学 脳情報通信融合研究センター²
Center for Information and Neural Networks (CiNet),
National Institute of Information and Communications Technology, and Osaka University

1 はじめに

Internet of Things (IoT) [1] 環境では、膨大な数の端末がネットワークに接続し、時々刻々と情報を生成し続けるため、情報爆発が予想される。したがって、IoT 環境における情報共有基盤として、クラウドに情報を集約する従来型のアプローチにのみ依存することは困難であり、IoT 環境のための新しい情報共有基盤が必要である。IoT 環境におけるサービスを考えると、センサー端末によって生成された情報をモバイル端末によって利用するなど、共有する情報は、空間的および時間的に局所的な範囲でのみ有効であるという、時空間局所性を有する。本稿では、情報爆発にも対応しうる情報共有基盤実現のため、情報が持つ時空間局所性に注目し、情報を必要とするときに必要な場所でのみ共有することを可能にする情報の時空間局所性制御手法を提案する。

2 情報の時空間局所性

IoT 環境におけるサービスで共有される情報は、時間的または空間的な局所性を有することがある。これまでに、いくつかの IoT サービスが提唱されている [1]。例えば、Smart City では、駐車場に設置したセンサー端末によって取得した駐車領域の空き情報を共有することで、自動車の駐車をサポートするシステムが提唱されている。駐車場の空き情報は、その駐車場周辺でのみ有用である。このように、IoT 環境のサービスで共有される情報は空間局所性を有する。時間が経過すると、センサーで取得した時点の駐車場空き情報と、現在の空き情報の間に乖離が発生する。時間の経過とともに、その乖離は大きくなる。したがって、情報は、ある時間的に局所的な範囲でのみ有用であるという時間局所性を有する。さらに、情報はこれら2つの局所性を同時に有することがある。紙面の都合上、空間局所性に焦点をあてる。

3 グラディエントにもとづく情報の空間局所性制御

3.1 概要

情報を局所的に共有するため、クラウドなどに依らないインフラレスネットワークの利用を前提とし、その上で、端末間のアドホック通信にもとづいた情報共有を想定する。情報を発信したい端末が情報の共有を開始すると、情報は端末間で交換し共有される。情報の有効範囲外で情報を受信した端末は、情報を破棄する。もちろん、情報の空間局所性を制御するための方法として GPS の利用も考え得る。しかし、ビルの谷間など GPS が適切に動作しない環境は多いため、位置情報に依らないアプ

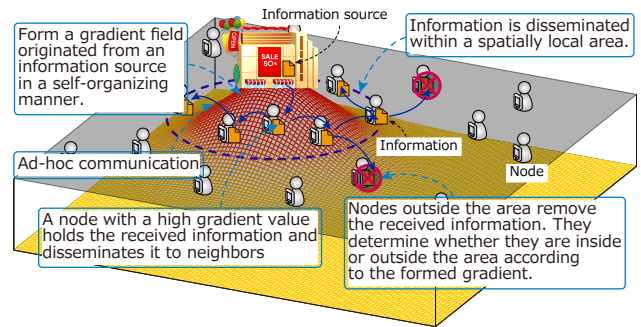


図1 グラディエントにもとづく情報の空間局所性制御

ローチを考える。さらに、IoT のデバイスやモバイル端末での運用もふまえ、処理が軽量であるアプローチとして、グラディエントを用いた自己組織型制御に注目する。これは重力場や脳や生体内のグラディエントに着想を得た自己組織型制御であり、動きの制御を得意とする制御メカニズムである。自己組織的にグラディエントを形成し、グラディエントに応じて制御対象を制御する。グラディエントを用いた情報の空間局所性制御の概念を図1に示す。提案手法は、端末間のシンプルな情報交換で自己組織的にグラディエントを形成し、このグラディエントにもとづいて、情報の共有および破棄の制御をすることで、情報の空間局所性を制御する。

3.2 グラディエント形成と空間局所性制御

提案手法は、図1に示したように、情報の発信源を始点として、空間的に離れるにつれて減衰するグラディエントを形成し、グラディエントが高い領域でのみ情報を共有することで、情報の空間局所性を制御する。このとき、1) グラディエントの形成、2) グラディエントに応じた情報共有制御が鍵になる。

1) のグラディエント形成には、Delay Tolerant Networks におけるグラディエントを用いた経路制御の一つである Utility-based Routing [2] におけるグラディエントの形成方法を参考にする。各ノード i は時刻 t におけるグラディエント値 $g_i(t)$ ($0 \leq g_i(t) \leq 1$) を持つ。情報の発信源ノード s の $g_s(t)$ は t によらず 1 する。 $g_s(t) = 1$ がネットワーク中の全ノードで最大のグラディエント値である。 s 以外のノードは、ある一定の時間間隔ごとに、以下の式にしたがって $g_i(t)$ を更新する。

$$g_i(t) = \begin{cases} g_k(t) - \theta & \text{if } g_k(t) - \theta \geq g_i(t) \\ \alpha \cdot g_i(t - \gamma) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

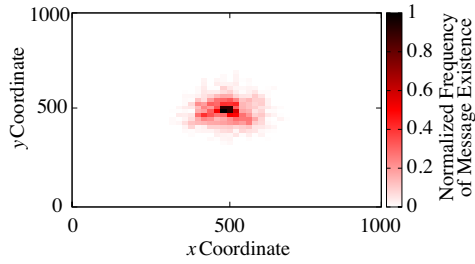


図2 グラディエントにもとづく情報の空間的局所性制御における情報共有の一例

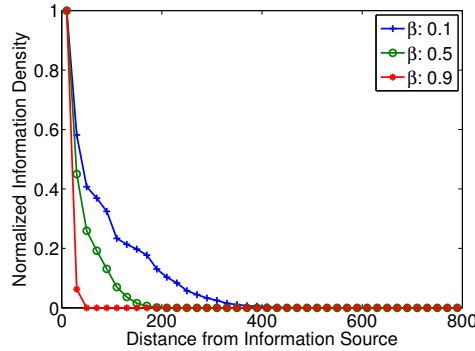


図3 情報源からの距離と情報密度 (ノード数: 100)

ここで、 θ 、 γ 、 α は定数である。定数 α は、 $g_i(t)$ の減衰を決めるパラメーターであり、 θ は周囲のノードとの $g_i(t)$ の伝搬の度合いを決めるパラメーターである。 γ は更新間隔である。 k はノード i も含め i と通信可能範囲内に存在するノードの中で最も高いグラディエント値を持つノードである。ノードはビーコンなどの軽量な方法で周囲のノードと $g_i(t)$ を交換する。この方法で、情報源 s を起点として、その周囲に徐々にグラディエント値が低くなるグラディエントを形成する。

2) は、各ノード i が $g_i(t)$ にもとづいて情報を保持するか破棄するかを選択することで実現する。 $g_i(t) \geq \beta$ であるノード i はメッセージのコピーを保持し、そうでなければ保持していたメッセージを削除する。情報の破棄は、それぞれのノードが、 $g_i(t)$ に応じて決めるため、情報の共有に関しては、シンプルにブロードキャストを用いる。すなわち、情報を保持しているノードは、通信可能な範囲に存在する全てのノードに対して情報のコピーを送信する。受信側で $g_i(t)$ に応じて情報を取捨選択する。

4 グラディエントにもとづく情報の空間局所性制御の実現可能性

1000 m 四方のフィールド内にモバイルノードをランダムに配置する。情報共有を開始し、かつグラディエントの中心である情報源ノードをフィールドの中央に配置する。情報源はフィールドの中央から移動しない。ノードの無線通信範囲は 50 m とする。ノードは、ランダムウォークモビリティモデルにしたがって、平均 3 m/s でフィールド内を移動する。ノードは 1 秒ごと ($\gamma = 1$) に式 (1) にしたがって、 $g_i(t)$ を更新する。パラメーターは $\alpha = 0.99$ 、 $\theta = 0.1$ とした。

図 2 に情報共有範囲をヒートマップで示す。フィールドを 20 m 四方の区画に区切り、シミュレーションの 1 秒ごとに、各区画に存在する情報のコピー数を数え、情

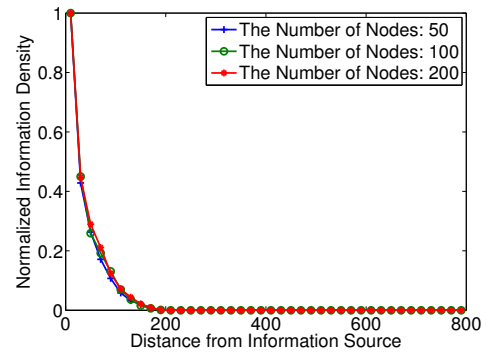


図4 情報源からの距離と情報密度 ($\beta: 0.5$)

報の存在数をもっとも多い区画の値で正規化している。提案手法により、位置情報を用いることなく空間的に局所的な範囲でのみ情報を共有できていることがわかる。

情報共有範囲に影響を与える要因として、パラメーター β に注目した。情報の密度を 1 m^2 あたりの平均情報数と定義する。図 3 は、ノード数を 100 とした場合の、情報源からの距離に対する情報密度である。 β の違いによる情報共有範囲の変化を見るため、ここでは情報密度をそれぞれの最大値で正規化している。当然の結果であるが、 β を小さくした方がメッセージの伝搬範囲が広がっている。グラディエント値 $g_i(t)$ は、最大値を 1 として徐々に減衰する値であり、 $g_i(t)$ が β より高いときに情報のコピーを保持するため、 β が小さいほど情報共有範囲が広がる。このように、 β の値を変更することで、ある程度は情報共有範囲を制御することができる。

最後に、 $\beta = 0.5$ に固定して、ノード数を変化させたときの結果を図 4 に示す。以上より、情報の共有範囲は、ノード数、すなわちノード密度に依存しないことが分かる。このことから、提案手法は、ノードの疎密にかかわらず、制御パラメーター β で情報共有範囲を制御できることがわかる。評価結果は割愛するが、 $g_i(t)$ の減衰を決めるパラメーター α でも情報共有範囲を制御できる。また、情報共有範囲はノードの移動が速いほど、広がることわがわっている。

5 おわりに

本稿では、IoT 環境で爆発が予想される情報の共有範囲を制御するための、自然界や生体内に存在するグラディエントの概念を応用した自己組織型制御を提案した。提案手法は、自己組織的に情報の共有範囲を制御できることをシミュレーションにより示した。説明は割愛したが、提案手法を拡張することで時間局所性も同時に制御可能であることがわがわっている。

参考文献

- [1] D. Miorandi *et al.*, "Internet of things: Vision, applications and research challenges," *Ad Hoc Networks*, vol. 10, pp. 1497–1516, Sept. 2012.
- [2] T. Spyropoulos *et al.*, "Efficient routing in intermittently connected mobile networks: The single-copy case," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 16, pp. 63–76, Feb. 2008.