

広域分散センサノードのための統合通信基盤における拡張検索機能の提案 Proposal of Enhanced Query Function on Integrated Communication Structure for Widely Distributed Sensor Nodes

磯村 学† 井戸上 彰† 堀内 浩規†
Manabu Isomura Akira Idoue Hiroki Horiuchi

1. はじめに

今後、環境モニタリング、生産・物流管理など、異なる用途のセンサノードが、様々な場所で利用されるであろう。これらのセンサノードが提供するセンシングデータを、ワイヤレスセンサネットワーク (WSN) の通信エリアに依存せず、統一的な方法で取得、利用できれば、センシングデータの新たな利用方法が創出できると考えられる。これまで筆者らは、複数のセンサノードが広域に分散する環境において、P2P (Peer to Peer) 技術を用いることで、任意のセンサノードを検索、発見し、センシングデータにアクセス可能にする統合通信基盤を提案している[1]。本稿では、より効率的なセンサノードの検索、発見のため、数値型の属性情報に対する範囲検索や、異なる属性情報に対する条件を組み合わせた多項目検索を行う拡張検索機能を提案する。また、本機能を実装したシステムを、DHT (Distributed Hash Table) の構築時間や検索時間の観点から測定、評価したので報告する。

2. 統合通信基盤の概要

図1に広域分散センサノードのための統合通信基盤のシステム構成を示す。センサノードはWSNを形成し、シンクノードを介してLANに接続する。P2PBridgeはいくつかのシンクノードを収容するとともに、他のP2PBridgeやP2Pピアとインターネット上にP2Pネットワークを形成する。P2PBridgeはWSNからセンシングデータを受信するなどの方法でセンサノードを検出し、それに含まれるID、位置情報、センサの種類などのセンサノードの属性情報ならびにP2PピアがP2PBridgeに接続するための接続記述子を広告としてP2Pネットワークに広報する。P2Pピアは、センサノードの属性情報を検索条件としたクエリをP2Pネットワークに送信する。クエリはP2Pネットワークの検索機能(DHTなど)により解決され、応答としてクエリに該当する広告がP2Pピアに提供される。P2Pピアは広告の接続記述子を用いてP2PBridgeに接続し、P2PBridgeを介してセンシングデータを受信する。

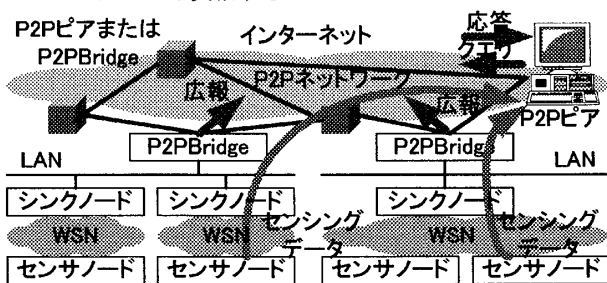


図1 統合通信基盤のシステム構成

† (株) KDDI 研究所, KDDI R&D Laboratories Inc.

3. 拡張検索機能

3.1. 既存の検索機能の問題点

DHTを用いたP2Pネットワークでは、DHTの構築のため、広告の属性情報のハッシュ値を担当（ハッシュ値に最も近いピアIDを持つなど）するピアに広告のロケータ（広告を広報したピアのピアIDなど）を配信する。このため、基本的に完全一致による広告の検索しか行えない。

しかしながら、例えば、ある地理的範囲に存在する全てのセンサノードを発見する場合、数値型の属性情報に対する範囲検索ならびに複数の検索条件による多項目検索が必要となる。具体的には、センサノードの設置座標が緯度・経度で記述され、ある矩形範囲に存在するセンサノードを発見する場合、緯度と経度に対する二つの範囲検索からなる多項目検索を行う必要がある。さらに、センサの種類など文字列型で示される属性情報に対する検索条件を組み合わせるなど、より複雑な検索が考えられる。例えば、ある座標範囲に存在する、特定のセンサを持つセンサノードを検索するなどである。

3.2. 範囲検索

一般にDHTではハッシュ関数を用いるため、属性値の連続性が失われる。このため、ある範囲の数値を検索する場合、その範囲に含まれる各値についての検索が必要となり非効率である。そこで、属性情報Aが数値型の場合、ハッシュ関数の代わりに、属性値の連続性をピアID空間でも維持した形で射影する関数 $F(v)$ を用い、 $F(v)$ を担当するピアにロケータを配信する。 $F(v)$ は、例えばピアIDの値域に対するAの値域の比を属性値 v に掛ける関数であり、属性情報Aの値域を $[A_{min}, A_{max}]$ 、ピアIDの値域を $[P_{min}, P_{max}]$ とした場合、次のように示される。

$$F(v) = (PID_{max} - PID_{min}) \div (A_{max} - A_{min}) \times v$$

これにより、属性情報Aに対する下限値 q_{min} 、上限値 q_{max} が与えられた範囲検索において、 $F(q_{min})$ 、 $F(q_{max})$ を計算し、その範囲を担当する全てのピアにクエリを送信すれば、 $q_{min} < v < q_{max}$ を満たす属性情報Aを持つ広告が検索できる。下限値もしくは上限値が指定されない場合、それぞれ A_{min} 、 A_{max} を適用する。

3.3. 多項目検索

複数の検索条件を持つ多項目検索の場合、まず各条件について、クエリを送信すべきピアを決定する。次いで、検索条件間の論理式を満たすピアを算出し、そのピアへクエリを送信する。クエリを受信したピアは、保持するロケータの中で、クエリの全ての検索条件に該当するものを検索し、結果が空でなければクエリの送信元に結果を送信する。

3.4. 属性値のデータ型の記述

広告に属性情報のデータ型を記述することで、各ピアが事前に属性情報についての情報を持たなくとも、適切に広告のロケータを配信できる。具体的には、属性値のデータ

型が文字列型であった場合はハッシュ関数を用い、数値型であった場合は 3.2 の方法に従い、それぞれロケータを配信するピアを決定する。なお、数値型の場合には、値域を示す型を事前に定義してもよい。例えば、符号なし 8 ビット整数 (uint8) であれば、値域は[0, 255]となる。

4. 実装概要

4.1. P2PBridge ならびに P2P ピア

P2P ミドルウェアとして JXTA 2.4 を用いて P2PBridge を実装した。また、センサノードの検索、センシングデータの取得を行う P2P ピアを実装した。

4.2. 拡張 Discovery Service

JXTA における既存の検索機能である DiscoveryService とは別のモジュールとして、新たに 3 の拡張検索機能を持つ ExtendedDiscoveryService を実装した。JXTA は一般的な DHT 手法と異なり、DHT を構築するランデブーピア (RDV) は、他の RDV とピア ID を交換、共有する。このため、RDV の数の増加に対するスケーラビリティに劣るが、ロケータの配信ならびにクエリ・応答の送受は常に 1 ホップで行うことが可能であり、通信遅延が低いという特徴を持つ。このため、本実装ではロケータやクエリを、該当する複数の RDV に同時に送信することとした。また、RDV のリスト順に従ってクエリをリレーする JXTA の Walk 機能を利用し、文字列の前方・後方一致検索を実装した。RDV は前方・後方一致検索を持つクエリを受信した場合、自ピア内でそれに該当するロケータの検索を行うとともに、次の RDV へクエリをリレーする。

5. 性能評価

5.1. 性能測定環境

図 2 のように P2PBridge, P2P ピア, ランデブーピア (RDV0~3), シンクノード, データ生成 PC を PC ルータに接続した。シンクノードにはセンサノードが WSN を介して接続する。センサノードにはドイツ Karlsruhe 大学で開発された Particle コンピュータを適用した。データ生成 PC は擬似的なセンシングデータを任意の間隔で P2PBridge へ送信する。P2PBridge, P2P ピアは DHT の構築を行わないエッジピアとして動作し、それぞれ RDV1, RDV2 に收容される。P2PBridge が RDV1 に広報する広告のロケータは、RDV0~3 へ配信される。P2P ピアが RDV2 に送信するクエリは、RDV0~3 へリレーされ、応答が RDV2 から P2P ピアに提供される。

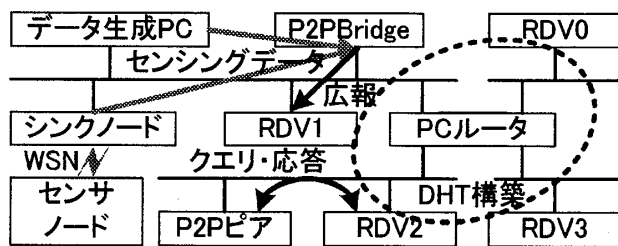


図 2 性能測定環境

5.2. 性能測定方法

データ生成 PC を用いて、1024 個のセンサノードが仮想的に存在し、全体で毎秒 76 個のセンシングデータを P2PBridge に送信する状態において、以下の測定を行った。

DHT の構築にかかる時間を測定するため、P2PBridge が広告を RDV1 に送信した時刻 t_1 , RDV1 が広告を受信した時刻 t_2 , RDV1 が広告のロケータを他の RDV に送信した時刻 t_3 , 他の RDV がロケータを受信した時刻 t_4 , 他の RDV がロケータを記録した時刻 t_5 を測定した。

また、広告の範囲検索ならびに多項目検索にかかる時間を測定するため、P2P ピアがクエリを送信した時刻 t_6 , RDV2 がクエリを受信した時刻 t_7 , RDV2 が他の RDV にクエリをリレーした時刻 t_8 , 他の RDV がクエリを受信した時刻 t_9 , 他の RDV がクエリに該当する広告を広報したピア (つまり P2PBridge) にクエリを送信した時刻 t_{10} , P2PBridge がクエリを受信した時刻 t_{11} , P2PBridge がクエリに該当する広告を応答として P2P ピアに送信した時刻 t_{12} , P2P ピアが応答を受信した時刻 t_{13} を測定した。

5.3. 性能測定結果

広告、ロケータ、クエリ、応答をピア間で送受するのに要した時間は 50~400 ミリ秒程度であった ($t_2 - t_1$, $t_4 - t_3$, $t_7 - t_6$, $t_9 - t_8$, $t_{11} - t_{10}$, $t_{13} - t_{12}$)。RDV1 が広告を受信してからロケータを他の RDV へ送信するのに 4~7 秒を要した ($t_3 - t_2$)。これは、主に RDV1 が広告をファイルシステムにキャッシュするのに時間を要しているためで、RDV1 が属性情報からロケータを配信すべき RDV を決定し、ロケータを送信するのに要した時間は 100~300 ミリ秒程度であった。同様に、他の RDV がロケータをファイルシステムに記録するのに 1 秒程度かかった ($t_5 - t_4$)。

RDV2 がクエリをリレーすべき RDV を決定し、クエリを送信するのに 100~300 ミリ秒程度を要した ($t_8 - t_7$)。クエリを受信した RDV が該当するロケータを検索し、クエリを P2PBridge にリレーするまでに 100 ミリ秒程度 ($t_{10} - t_9$)、クエリを受信した P2PBridge が該当する広告を検索し、P2P ピアへ送信するまでに 100~300 ミリ秒程度を要した ($t_{12} - t_{11}$)。

実装した拡張検索機能では、ロケータやクエリを送信すべき RDV が複数決定されることから、従来の JXTA の検索機能に比べ、それらの送信処理にかかる時間が増加した。一方、ロケータを配信すべき RDV の決定や、クエリに該当するロケータや広告を検索するのに要する時間には、ほとんど差は生じなかった。

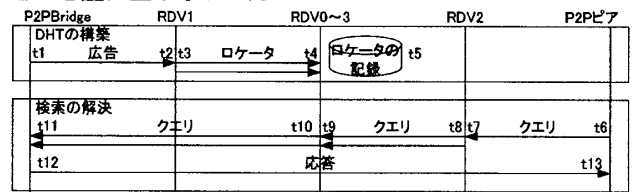


図 3 広告の広報、検索の解決におけるシーケンス

6. おわりに

本稿では、広域分散センサノードのための統合通信基盤における拡張検索機能を提案、評価した。最後に、日頃ご指導頂く (株) KDDI 研究所秋葉所長、鈴木執行委員に深く感謝する。

参考文献

[1] 磯村他, センサネットワークのための統合通信基盤の提案, DICOMO2006, pp. 89 - 92 (2006).