

L_052

広域分散センサノードのための統合通信基盤の性能評価

Performance Evaluation of Integrated Communication Structure for Widely Distributed Sensor Nodes

磯村 学†

堀内 浩規†

Manabu Isomura

Hiroki Horiuchi

1. まえがき

自然環境モニタリング、生産・物流管理など、センサノードを用いた様々なサービスの利用が予想されている。このような環境では、複数のセンサノードやそのワイヤレスセンサネットワーク (WSN) が広域に分散して存在することになる。そして、これらの提供するセンシングデータを統一的な方法で取得、利用できれば、WSN の地理的なカバー範囲の拡大や、センシングデータの新たな利用方法の創出が可能となる。これまで筆者らは、複数のセンサノードが広域に分散して存在する環境において、P2P (Peer to Peer) 技術を用いることにより、任意のセンサノードを検索、発見し、そのセンシングデータにアクセス可能とする統合通信基盤を提案している[1]。本稿では、提案方式に基づき、P2P ミドルウェアに JXTA[2]、センサノードに Particle コンピュータ[3]を適用、実装したシステムの性能について測定、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。シンクノードには WSN を介して複数のセンサノードが接続する。P2PBridge はいくつかのシンクノードを収容し、センシングデータを受信する方法で各 WSN 内のセンサノードを検知する。そして、新たなセンサノードを検知すると、センシングデータに含まれる 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、所望のセンサノードを特定する属性情報を検索鍵としたクエリを P2P ネットワークに送信する。クエリは DHT (Distributed Hash Table) などを用いた P2P ネットワークの検索機能により解決され、クエリに該当する広告が P2P ピアに提供される。次いで、P2P ピアは広告に含まれる接続記述子を用いて P2PBridge に接続し、センシングデータにアクセスする (図1 (1))。

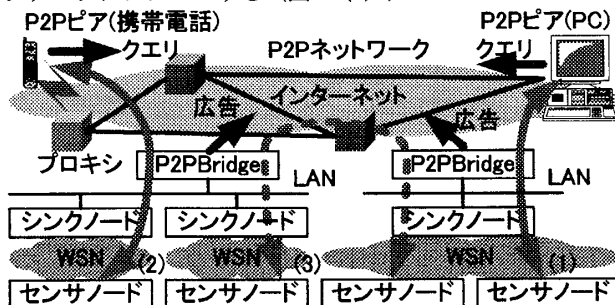


図1 統合通信基盤のシステム構成

また、携帯電話などの計算能力が限られ、P2P プロトコルを実装できない端末が P2P ピアである場合、プロキシを介して同様にセンシングデータにアクセスする (図1 (2))。さらに、異なる WSN に存在するセンサノード同士も P2PBridge を介してセンシングデータの送受を行う (図1 (3))。

3. 実装概要

3.1 P2PBridge ならびに P2P ピア

P2PBridge を PC (Linux Kernel 2.6) 上に、P2P ミドルウェアとして JXTA 2.3.5 を用いて実装した。また、P2P ピアとして、別の PC (Linux Kernel 2.6) 上にセンサノードの発見、センシングデータの取得を行う P2P アプリケーションを実装した。JXTA はアプリケーションに対して P2P プロトコルを隠蔽した API を提供し、本稿では Java 1.4.2 の実行環境を用いた。JXTA は JxtaBiDiPipe と呼ばれる双方向の P2P 通信サービスをサポートしており、P2PBridge と P2P ピア間のセンシングデータの送受にこれを利用した。また、JXTA ではランデブーピアと呼ばれるピア同士が DHT を形成し、収容するエッジピアのクエリを解決する。さらに、ピアグループによってピアがグループ化、階層化される。本実装では、全ての P2PBridge ならびに P2P ピアはピアグループ ParticleGroup に参加することとし、P2PBridge はそのピアグループの中のランデブーピアとして、P2P ピアはエッジピアとして動作するようにした。

3.2 シンクノードならびにセンサノード

センサノードには Particle コンピュータ (以下、Particle) を適用した。Particle は Karlsruhe 大学で開発されたセンサノードであり、本稿では uPart と呼ばれる Particle の中で最も小型のものを使用した。uPart は照度、温度、振動、バッテリー電圧のセンシングデータを 315MHz 帯の微弱無線を用いて定期的に送信する。本稿では、その送信間隔を 38s とし、これによって uPart は数ヶ月の連続稼働が可能となった。また、Particle が WSN に送信したセンシングデータは、シンクノードである XBridge によって UDP パケットにカプセル化され、LAN にブロードキャストされる。

4. 性能評価

4.1 性能測定環境

図2のように P2PBridge1、P2PBridge2、P2P ピア、ランデブーピア、XBridge、データ生成 PC を PC ルータで接続した。XBridge には 1つの Particle が収容され、P2PBridge1 がそのセンシングデータを受信する。データ生成 PC は P2PBridge の性能測定のため、擬似的な Particle のセンシングデータを任意の間隔で P2PBridge2 に送信する。

一般に JXTA では、全てのピアはまずインターネット上の NetPeerGroup と呼ばれるピアグループに参加するが、こ

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

ここではインターネットの影響を排除するため、性能測定環境内に擬似的な NetPeerGroup をランデブーピアに設定し、各 P2PBridge ならびに P2P ピアはこの NetPeerGroup に参加後、ParticleGroup を形成するようにした。

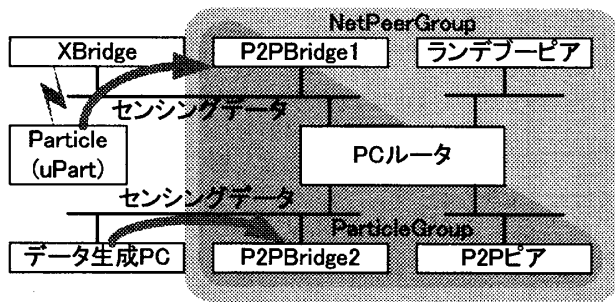


図2 性能測定環境

4.2 性能測定方法

図3に示すように、P2PBridge ならびに P2P ピアの各処理に要した時間を測定した。まず、P2PBridge1 が Particle のセンシングデータの受信した後、広告を作成、広報するまでの時間 t_1 を測定した。次に、データ生成 PC を用いて擬似的に 300 個の Particle が P2PBridge2 の配下に存在する環境を生成した後、P2P ピアが Particle を発見するため、P2PBridge1 の広報した広告を検索するクエリを送信してから、広告を取得するまでの時間 t_2 を測定した。また、P2P ピアが P2PBridge1 に接続するまでにかかった時間 t_3 、P2PBridge1 が Particle のセンシングデータを受信してから P2P ピアに転送を開始するまでの時間 t_4 、P2PBridge1 の転送したセンシングデータが P2P ピアで受信されるまでの時間 t_5 をそれぞれ測定した。

さらに、P2PBridge のセンシングデータの転送スループット性能について、データ生成 PC から擬似的なセンシングデータを連続的に送信し、毎秒何個のセンシングデータが P2PBridge2 から P2P ピアへ転送されるか測定した。

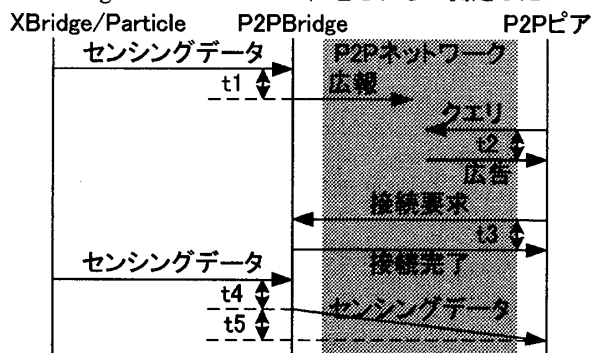


図3 処理シーケンスならびに測定時間

4.3 性能測定結果ならびに評価

t_1 の測定の結果、P2PBridge において広告を作成、広報するまでに平均 500ms かかった。本実装では作成した広告をバッファに蓄積し、別のスレッドで 1s 毎にまとめて広報を行っており、そのバッファ内での待ち時間が主な要因である。これは、広報を行うメソッドの呼び出しに数十ミリ秒かかる場合があり、他のセンシングデータの受信処理を妨げるのを回避するための対策である。なお、センシ

ングデータから属性情報を取得し、広告を生成するのに必要な時間は 30ms 程度であった。

t_2 の測定の結果、P2P ピアが広告を取得することで Particle を発見するまでに必要な時間は平均 100ms 程度であった。JXTA における広告の検索性能は[4]などで評価されており、広告やランデブーピアの数、ネットワークの遅延などに影響されることが分かっている。本測定環境におけるネットワークの遅延は数ミリ秒と小さく、広告やランデブーピアの数も少ないため、このような結果になったと考えられる。但し、[4]の WAN における測定でも数百ミリ秒から数秒のオーダーで広告を発見していることから、P2P ピアがセンサノードの広告を発見することに関して十分な性能を持っていると考えられる。

t_3 の測定の結果、P2P ピアと P2PBridge の接続時間は平均 300ms であった。これは、JxtaBiDiPipe における双方向の通信路を開通するために、制御メッセージが交換されることによる遅延と考えられる。また、JxtaBiDiPipe ではメッセージフォーマットに XML (eXtensible Markup Language) を用いているため、センシングデータを XML に埋め込む必要があり、それが t_4 の測定結果 5ms に相当すると考えられる。最後に、 t_5 の測定結果は平均 5ms であった。これは本測定環境におけるネットワークの遅延とほぼ同じである。

また、転送スループットの測定結果は、最大で毎秒 180 個程度であった。これは、 t_4 におけるセンシングデータを XML に埋め込む処理が主な律速要因であり ($1000\text{ms}/5\text{ms}=200$)、この処理を効率化することでより高い転送スループットが得られると考えられる。なお、本実装のように Particle のセンシングデータの送信間隔を 38s とした場合、1つの P2PBridge は最大 7,200 個程度の Particle のセンシングデータを転送できる性能を持ち、その程度の規模の WSN であれば、実装した P2PBridge は十分にセンシングデータを転送可能といえる。

5. おわりに

本稿では、広域に分散するセンサノードのセンシングデータを統一的な方法で取得可能とする統合通信基盤について、センサノードの発見、センシングデータの転送にかかる時間やセンシングデータの転送スループットについて測定、評価を行い、性能測定環境において提案方式がセンシングデータを十分に提供できることを確認した。今後、実環境におけるより詳細な性能評価を行う予定である。

最後に、Karlsruhe 大学 Telecooperation Office の各メンバーならびに日頃ご指導頂く(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, P2P を用いた広域分散センサノードのための統合通信基盤の提案, 2006 情処全大, 3F-6
- [2] Project JXTA, <http://www.jxta.org>
- [3] TecO Particle Home, <http://particle.teco.edu>
- [4] E. Halepovic, et al., "Performance Evaluation of JXTA Rendezvous," in Proceedings of International Symposium on Distributed Objects and Applications, (2004), pp 1125-1142