

機関番号：82636

研究種目：特定領域研究

研究期間：2006～2010

課題番号：18049050

研究課題名（和文） ユビキタスネットワークコンテンツに対する
管理・統合基盤に関する研究研究課題名（英文） Study on Integration and Management of
Ubiquitous Contents Infrastructure

研究代表者

下條 真司 (SHIMOJO SHINJI)

独立行政法人情報通信研究機構・上席研究員

研究者番号：00187478

研究成果の概要（和文）：近年、いたる所に設置されたセンサデバイスがネットワークを介して大量のデータを送受信する環境が整いつつあり、これらのユビキタスネットワークコンテンツを有効利用するサービスの実現が期待されている。我々は、発生したセンサデータを集め、ネットワーク上で管理し、またサービス提供時には必要なデータを探し出し、探し出したデータを解析するといった一連の処理を効率よく行うために必要な技術について研究開発を行った。

研究成果の概要（英文）：Recently, sensor devices are being ubiquitously deployed. These devices send and receive a large amount of sensor data over the network. Due to these advances of sensor and network technologies, various services that make use of those 'ubiquitous network contents' are expected to be widely developed. We studied on techniques to collect, manage, discover, and analyze those massive sensor data.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	17,100,000	0	17,100,000
2007年度	17,800,000	0	17,800,000
2008年度	16,100,000	0	16,100,000
2009年度	15,800,000	0	15,800,000
2010年度	16,900,000	0	16,900,000
総計	83,700,000	0	83,700,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学 メディア情報学・データベース

キーワード：ユビキタス、コンテンツ共有、メタデータ管理、P2P、セキュリティ

1. 研究開始当初の背景

近年の急激なネットワーク広帯域化とユビキタス技術の発達、ネットワーク上のあらゆるデバイスが大量データを送受信することを可能にしている。多地点にばらまかれたカメラやセンサから大量のデータが収集され、それらの情報を瞬時に発見し、統合的に解析することが求められている。たとえば、センサにより土壌を細かく制御する新しい農業や、環境汚染の監視、犯罪の防止、ICタグを用いた情報管理に基づく食品や物流に

おけるトレーサビリティ、車についての100以上のセンサからの情報を管理するVRM (Vehicle Relationship Management) などの応用が登場しつつある。さらに、携帯電話で映像が撮影できるようになり、個人がありとあらゆるところで映像を交換できるようになってきている。

2. 研究の目的

上記のようなユビキタスネットワークコンテンツの急速な増大に伴い、ネットワークの

利用が、サーバ・クライアントの非対称なものから、P2Pによる対称なものに変わりつつあり、ネットワークの輻輳など大きな問題になっている。同時に、サーバ集中型の制御方法や資源発見方法が、急速なインターネットの広がりやユビキタスネットワークコンテンツの増大に追従できていないのも事実である。このような現状を打破するためには、ユビキタスネットワークコンテンツに対し、ネットワークを通じた効率的な収集、管理、発見、解析といった、これまでにない統合的な取り組みが必要である。すなわち、ネットワーク、ミドルウェア、応用といったそれぞれの枠のみで考えられてきた壁を打ち破り、これらを統合した手法が必要である。本研究では、従来のデータ管理・解析手法に代わる、ユビキタスネットワークコンテンツの爆発が及ぼす影響を抑止できる新しいデータ管理・解析基盤の研究開発を行う。

3. 研究の方法

本研究では、図1に示すように、センサデータの収集からサービス応用まで、幅広い範囲に渡る研究を行うため、まず研究全体を以下の課題に分け、それぞれについて研究を進めた。

- (1) センサネットワークにおけるノード制御およびコンテンツ共有基盤
- (2) P2Pネットワークにおけるネットワーク制御およびコンテンツ共有基盤
- (3) ユビキタスネットワークコンテンツのメタデータ管理基盤
- (4) ユビキタスネットワークコンテンツの応用システム

その後、それぞれの課題に対する成果の統合について、検討・研究開発を行った。



図1: 本研究の全体像

4. 研究成果

- (1) センサネットワークにおけるノード制御およびコンテンツ共有基盤

センサデータを収集する一つの形態である

無線センサネットワークにおいて、データ収集を効率よく行うための方式について、以下に示す研究を行った。

無線センサネットワークにおけるセンシングやデータ収集の周期、頻度は、センシング対象の状態に応じて変化する。本課題では、複数のセンシング機能を有するセンサ端末からなるセンサネットワークを対象に、センシング要求に応じた柔軟な周期でのセンシングおよびデータ収集を可能とするデータ収集方式を提案した。この方式では、センシング対象の状態に応じたセンシング周期およびデータ収集周期の制御に反応閾値モデルを、電力効率の良いデータ収集およびスリープ制御のためにパルス結合振動子を用いた(図2)。これにより、センシング要求の動的な変化に柔軟に対応した電力効率の良いデータ収集を実現した。

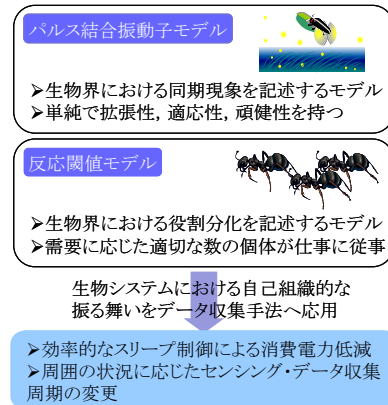


図2: 生物システムのセンサネットワークへの応用

一方、無線センサネットワークで収集するデータは、温度や湿度など、時間的または空間的な相関性があることが一般的である。本課題では、この特性を利用し、対象領域全体のデータ分布を得るために必要な最小限のデータのみを収集することで、無線センサネットワークの消費電力を削減する方式について取り組んだ。この方式では、図3に示すように、各センサノードが、自身が過去に取得したデータや、無線通信範囲内に存在するノードが発信したデータをもとに、自身のデータの予測値を算出する。この予測値と、実際に取得したデータ値との差分が十分小さい場合、取得したデータを収集する必要がないと判断し、そのデータを発信しない。これにより、データ収集にかかる通信量を抑え、ネットワーク内の消費電力削減を実現した。

さらに、上記の統合方式として、ノードのスリープ制御を行いつつデータの発信量を抑える方式や、パルス結合振動子に基づくデータ収集を行いつつデータの発信量を抑える方式について取り組んだ。これらの統合方

式により、センサネットワークにおける超低消費電力なデータ収集を実現した。

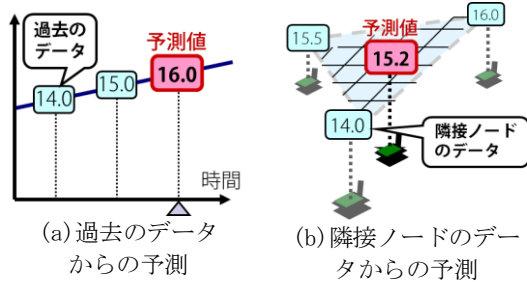


図 3 : データの予測

これらの方式に加え、各センサノードが情報を発信する際の送信電力制御による省電力化や、移動する機能を搭載したセンサノードを用いたデータ収集についても取り組んだ。

(2) P2P ネットワークにおけるネットワーク制御およびコンテンツ共有基盤

ユビキタス環境において、広域かつ大規模に配置されたセンサから爆発的に発生する観測値データを、データを保持する端末 (ピア) 間を相互接続する P2P アーキテクチャにより分散管理する方法の検討に取り組んだ。

とくに、広域で分散管理されたセンサの観測値から、気圧センサによる気圧分布図や、温度センサによる温度分布図等のような地理的領域上のセンサ観測値の分布をスケラブルに得られる手法を提案した。

まず、分布の把握に必要なセンサ観測値を少ないトラフィックで取得可能とするオーバーレイネットワークの構成方法を提案した。この方法は、地理的に一様な複数の密度のピア群から構成される階層化ネットワークドローネーオーバーレイネットワーク (HDOV) を構成する。提案手法では、収集対象とするピアを確率的に地理的に一様となるよう選択することで、構造維持のトラフィック削減を可能とした。

また、図 4 に示すように、センサ観測値をもとに分布を再現するための空間補間を行なう際に必要な、特徴点のセンサ観測値を持つピアを取りこぼさない HDOV 上のデータ集約方式についても提案した。

これらの方式に加え、データの複製配置や、文書検索を考慮したクラスタリング、センサデータの取得時刻を考慮したオーバーレイ構築などによって、P2P ネットワーク上の検索効率を向上させる方式についても取り組んだ。

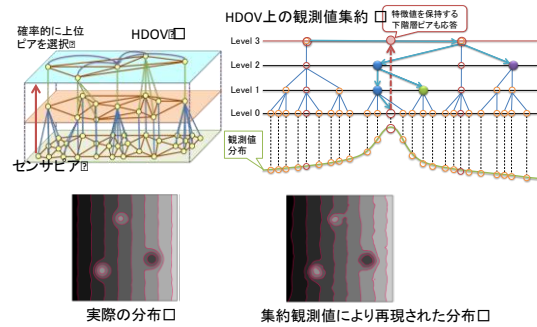


図 4 : センサ観測値の集約と分布の再現

(3) ユビキタスネットワークコンテンツのメタデータ管理基盤

センサネットワーク、ユビキタスアプリケーションでは、位置に依存するサービスを提供するために測位システムが利用される。測位システムの精度はアプリケーションの有効性を高める上で重要となる。測位システムの中でも特に GPS 測位が苦手とする地域で用いられる無線 LAN 測位システムに着目し、その精度の改善に取り組んだ。

広域無線 LAN 測位システムでは、ユーザ手動で基地局位置情報を収集するが、その精度を維持する手法が確立されていなかった。そこで、公募研究 A01-30 で提供されているシステム「Locky.jp」のデータを利用し、GPS で用いられる観測方程式を用いた基地局位置の推定手法を提案した (図 5)。提案手法では 3 点以上観測点があれば従来手法よりも推定精度を改善できる。提案手法を用いることで、既存の観測データによる計算精度を判定し、精度の低い観測データの除去が可能となる。今後の課題として、特に無線 LAN が有用となる屋内測位における精度改善があげられる。

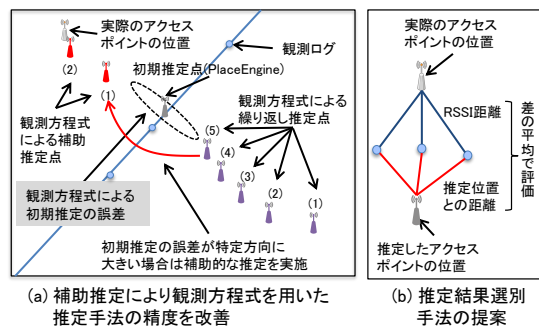


図 5 : 観測方程式を用いた基地局位置推定手法

一方、P2P 型のネットワークでは、汚染 (偽・ウイルス混入) されたデータを流通させるピアが現れる可能性がある。このような不正ピアを回避するためには、過去の取引に対する評価をもとに算出される各ピアの「信頼度」から、次の取引相手を決める手法が有効であ

る。そこで、データを探し出す効率を高く保ちつつ、不正ピアを回避できるネットワークについて研究を行った。

まず、評価者間類似度を用いた信頼度値計算において、共通の被評価者が存在しない状況においても不正ピアの回避効果を得る拡張を提案した。信頼度値計算では、虚偽や不公平な評価値を点ける不正評価を行うことで不正ピアの回避効果を低下させようとするピアの存在が問題となる。不正評価の排除手法として、評価者間で共通に評価している被評価者に対する評価値の類似度（評価者間類似度）を、評価値の正当性を示す値として用いる手法がある。しかし従来手法では、共通の被評価者が存在しない他評価者に対しては評価者間類似度を定義できないため、ピアの選択に有効な信頼度値も得られず、不正ピアの回避効果が十分に得られなかった。本研究では、共通の被評価者が存在しない状況においても評価者間類似度を間接的に計算することで不正ピアの回避効果を十分に得る拡張を提案した。

さらに、検索効率（転送メッセージ数の削減）と不正ピア回避（応答ピア中に含まれる不正ピアの削減）を両立したオーバーレイの構築手法を提案した。ここでは、予めランダムなどの基準でリンクが張られているオーバーレイに対して、応答ピア中により良いピアが存在する場合に、そのピアと直接接続するようにリンクを張り替えることでオーバーレイを構築する。より良いピアかどうかの判断基準として、希望コンテンツ保持確率のみを用いた場合では不正ピアとリンクする可能性があり、信頼度値のみを用いた場合では希望コンテンツを持つピアとの距離が大きくなり、転送メッセージ数が大きくなっていた。そこで、これらの判定基準を組み合わせ、より良いピアとリンクする手法を提案した。

また、近年のインターネット上には、様々な高性能な計算資源が常時接続されている。その一方で、これら高性能な計算資源の多くは、常に高負荷状態にあるわけでない。このような遊休資源をネットワーク上から発見し、これらを仮想的なクラスタあるいはグリッド環境として動的に構築しユーザに占有提供する事ができれば、ネットワーク上の計算資源の有効利用という観点からだけでなく膨大な計算資源を要求する計算科学への応用可能性を見いだすことができる。このような観点から、本課題では、ネットワーク上の計算資源をユビキタスネットワークコンテンツと位置づけ、ネットワーク上より遊休資源を発見、集約、管理、運用する技術に関する研究開発を推進した。より技術的には、ネットワーク上に接続された毛膨大な計算資源から、ユーザの計算要求(CPU数、ノード数等)に応じて、計算資源を動的に集約し、

それらをシングルシステムイメージのクラスタシステムとして構築する技術の確立を目的とした。

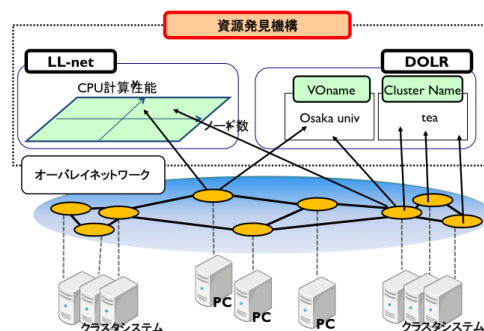


図 6: PIAX を応用した遊休資源発見機構

本研究項目で実現した遊休資源発見機構では、図6に示すように、ネットワーク上のすべての計算資源が前述のPIAXによって作られる構造化オーバーレイネットワークで接続される。この構造化オーバーレイネットワーク上で、CPU計算性能やクラスタシステムのノード数等の静的な情報、およびCPU利用率や使用可能メモリ容量といった動的な情報を組み合わせたクエリを行うことで、ユーザは計算要求に応じた計算資源を発見することが可能となる。本資源発見機構では、PIAXのLL-Net、DOLRという二つの構造化オーバーレイネットワークを活用し、ネットワーク上から効率よく遊休資源を発見することに成功した。

さらに、本研究項目では、複数サイトにまたがる仮想計算資源間でL2オーバーレイネットワークを自動的に形成する機能を、世界的に利用実績のあるクラスタ構築ツールRocksに組み込んだ仮想クラスタ構築技術の試行にも成功した。

(4) ユビキタスネットワークコンテンツの応用システム

上記の課題によって収集・管理されている膨大量のセンサデータを活用するアプリケーション、サービスについて研究を行った。

いたる所で収集された膨大量のセンサデータは、センサデータを扱う研究者にとって重要な研究材料となる。しかし、P2Pネットワーク上で分散管理されているセンサデータを統合的に扱い、研究者にとって必要なもののみを取り出すことは非常に困難である。この問題を解決するため、モバイルエージェントと呼ばれる技術を応用し、P2Pネットワーク上の各所に存在するセンサデータの収集を容易に行えるテストベッド環境を構築した。このテストベッドでは、図6に示すように、P2PネットワークプラットフォームPIAX (P2P Interactive Agent eXtensions)

を用いて、センサネットワークテストベッド X-Sensor のセンサ拠点によって構成される P2P ネットワークを構築する。これにより、PIAX におけるエージェントによる柔軟なセンサデータの収集が可能となる。

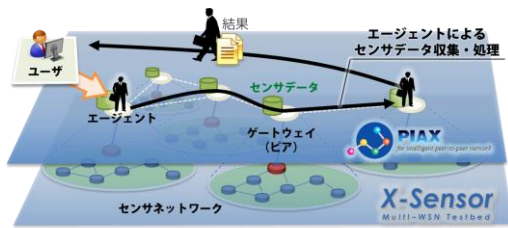


図6：センサデータテストベッド環境

さらに、広域気象センサネットワークである Live! プロジェクトのデータを用い、任意の地点での観測値を、PIAX を用いた P2P ネットワーク上で予測する手法について研究を行った。気象予測については、気象モデルに基づいた流体力学シミュレーションによるものが多いが、適当なモデルの選択、大量のデータと高速なデータ処理装置が必要となる。ここでは、ある程度リアルタイムに予測することを考慮し、データを収集するネットワークや処理を行うサーバ等に負担が少ない AR (Auto-Regressive、自己回帰) モデルを採用した。最も基本的な AR モデルによる予測では、予測地点の観測地の履歴データのみが必要となる。データの収集などの処理はモバイルエージェントを用い、履歴データを収集してから別のノードで予測計算を行う履歴収集型と、予測エージェント (AR モデルに基づいた計算を行う) を観測ノードに派遣し、データを処理して結果を報告する予測エージェント派遣方式を比較し、処理能力が同じ場合、予測に必要な履歴が長ければ予測エージェント派遣方式が効率的であることを示した。また、気象現象は周囲の状況にも影響を受けることから、周囲のデータを積極的に利用して予測精度をあげる手法を提案した。

提案手法では、近傍のノードでの観測データと時刻をずらした偏相関係数を利用して予測したい地点に寄与するノードを選択し、多変量 AR モデルによって予測を行った。これにより、単一ノードのみで行う予測よりも、予測に用いるノードを選択する回数が増えるほど精度があがることがわかった。

また、このような気象センサネットワークのデータは設置場所が限られているため、空間分解能は低く、各ノードでは1分毎程度にデータが蓄積されるため時間分解能は高い。一方、衛星データはこの全く逆の性質を持っている。同時に利用することで、それぞれにおける運用の問題を解決することを提案した。衛星データによる気象情報の把握におい

ては、得られた画像が何を意味しているか知るために較正が必要であり、定期的に行う必要がある。しかし、様々な場所で定期的に較正を行うのは大変であり、気象センサネットワークのデータを用いた較正を試みた。利用したのは気温のデータで、衛星データと地上のセンサデータとの間に良い相関があることがわかり、代表点として比較しやすい平野部などのセンサデータを選択した上で、較正を行うアプリケーションを作成した。センサネットワークにおける運用においても問題となる故障センサの発見に較正した衛星データを用いることが可能であると考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 28 件)

1. S.Kondo, A.Kanzaki, T.Hara, S.Nishio: Integration of traffic reduction and sleep scheduling in wireless sensor networks, Int'l J. CSSE, 2011 to appear, 査読有.
2. K.Hyodo, N.Wakamiya, E.Nakaguchi, M.Murata, Y.Kubo, K.Yanagihara: Reaction-diffusion based autonomous control of wireless sensor networks, IJSNET, 7(4), pp.189-198, 2010, 査読有.
3. Y.Nose, A.Kanzaki, T.Hara, S.Nishio: A route construction based on measured characteristics of radio propagation in wireless sensor networks, JAIHC, 1(4), pp.259-270, 2010, 査読有.
4. T.Hara, K.Maeda, Y.Ishi, W.Uchida, S.Nishio: Cooperative caching by clients constructing a peer-to-peer network for push-based broadcast, DKE, 69(2), pp.229-247, 2010, 査読有.
5. T.Hara, S.Madria: Data dissemination methods for time-constraint applications in mobile ad hoc networks, JOIN, 9(4), pp.351-367, 2008, 査読有.
6. T.Hara, S.Madria: Consistency management strategies for data replication in mobile ad hoc networks, IEEE TMC, 8(7), pp.950-967, 2008, 査読有.
7. K.Treeprapin, A.Kanzaki, T.Hara, S.Nishio: An effective mobile sensor control method for sparse sensor networks, Sensors, 9(1), pp.327-354, 2008, 査読有.

8. Y.Taniguchi, N.Wakamiya, M.Murata: A traveling wave based communication mechanism for wireless sensor networks, JNW, 2(5), pp.24-32, 2007, 査読有.
9. Y.Arase, T.Maekawa, T.Hara, T.Uemukai, S.Nishio: A web browsing system for cellular-phone users based on adaptive presentation, Int'l J. UAIS, 6(3), pp.259-271, 2007, 査読有.

[学会発表] (計 125 件)

1. Y. Taniguchi et al.: Autonomous data gathering mechanism with transmission reduction for wireless sensor networks, CCCA 2011, Mar. 5, 2011, Le Royal Hammet Hotel, Hammamet, Tunisia.
2. Y.Ishi et al.: Range-Key Extension of the Skip Graph, GLOBECOM 2010, Dec. 7, 2010, Hyatt Regency Miami, Miami, USA.
3. S.Kondo et al.: Energy-efficient data gathering using sleep scheduling and spatial interpolation in wireless sensor networks, NBiS 2010, Sept. 14, 2010, Hida Earth Wisdom Center, Gifu, Japan.
4. K.Nakayama et al.: Wikipedia Mining for an Association Web Thesaurus Construction, WISE 2007, Dec. 5, 2007, LORIA, Nancy, France.
5. Y.Arase et al.: OPA browser: a web browser for cellular phone users, ACM UIST 2007, Oct. 8, 2007, Hotel Viking, Newport, USA.
6. J.Cai et al.: An adaptive control method in the hybrid wireless broadcast environment, MDM 2007, May 9, 2007, University of Mannheim, Mannheim, Germany.
7. T.Maekawa et al.: Image classification for mobile web browsing, WWW 2006, May 24, 2006, Edinburgh International Conference Centre, Edinburgh, Scotland.

[図書] (計 2 件)

1. T.Hara et al.: Wireless sensor network technologies for information explosion era (Book series: studies in computational intelligence), 271pages, Springer-Verlag, July 2010.
2. A.Kanzaki et al.: Energy-efficient scheduling and data aggregation techniques in wireless sensor networks for information explosion era,

Book Chapter, Wireless Sensor Network Technologies for Information Explosion Era, Springer-Verlag, pp.47-75, July 2010.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

下條 真司 (SHIMOJO SHINJI)

独立行政法人情報通信研究機構・上席研究員

研究者番号：00187478

(2) 研究分担者

村田 正幸 (MURATA MASAYUKI)

大阪大学・大学院情報科学研究科・教授

研究者番号：80200301

原 隆浩 (HARA TAKAHIRO)

大阪大学・大学院情報科学研究科・准教授

研究者番号：20294043

若宮 直紀 (WAKAMIYA NAOKI)

大阪大学・大学院情報科学研究科・准教授

研究者番号：50283742

寺西 裕一 (TERANISHI YUICHI)

大阪大学・大学院情報科学研究科・准教授

研究者番号：30403009

伊達 進 (DATE SUSUMU)

大阪大学・サイバーメディアセンター・准教授

研究者番号：20346175

秋山 豊和 (AKIYAMA TOYOKAZU)

京都産業大学・コンピュータ理工学部・講師

研究者番号：80324862

加藤 精一 (KATO SEIICHI)

兵庫医療大学・共通教育センター・准教授

研究者番号：40346127

岡村 真吾 (OKAMURA SHINGO)

奈良工業高等専門学校・情報工学科・助教

研究者番号：50423132

谷口 義明 (TANIGUCHI YOSHIKI)

大阪大学・サイバーメディアセンター・助教

研究者番号：50532579

神崎 映光 (KANZAKI AKIMITSU)

大阪大学・大学院情報科学研究科・助教

研究者番号：80403038

(3) 連携研究者

()

研究者番号：