

アーバンセンシングで新たなサービスを展開する ～センサ情報とサイバー情報を融合した近未来サービスの実現～

原 隆浩 | 大阪大学

これまでのセンサネットワーク・ センシングシステム研究

無線通信機能を持つ複数のセンサノードが自律分散的にマルチホップネットワークを構成する無線センサネットワークや、センサデバイスもしくはセンサネットワークがインターネットなどで相互接続されたネットワークセンシングシステムに関する研究(図-1)は、1999年辺りから盛んに研究されている¹⁾。以降では、簡単のため両分野を合わせて「センサ研究」と称する。

センサ研究の黎明期(～2005年)から現在に至るまで、無線センサネットワーク分野では、通信帯域やバッテリー容量などセンサノードの資源が乏しいことを考慮して、センサデータを効率的に基地局(シンクノード)に収集するためのルーティングプロトコルやデータ集約プロトコル、ネットワーク内での問合せ処理技術、ネットワークの長寿命化のための消費電力削減方法などについて盛んに研究されていた。一方、ネットワークセンシングシステム分野では、大規模で連続的に発生するセンサデータ(データストリーム)に対する効率的な問合せ処理方式、インデクシング技術、異種センサ統合技術、ノイズやセンサデバイスの精度、離散的なセンシング周期に起因するセンサデータの不確定性を考慮した問合せ処理技術などについて盛んに研究が行われていた。また、黎明期には、無線センサネットワークとネットワークセンシングシステムという明確な分類はなく、両者ともに「センサネットワーク」と呼ぶことが多く、しばしば混乱の原因となっていた。

黎明期の研究では、実用的な応用分野がそれほど明確ではなかったという特徴がある。特に無線セン

サネットワークは米国において軍事利用を主目的として研究が行われ始めたため、それ以外の応用例は漠然としていて、現実性が明確ではないものが多かったことは否めない。

未来をプロデュースする アーバンセンシング技術

黎明期のセンサ研究の応用分野に関する閉塞感を脱却する新たな概念が2005年辺りに登場した。携帯電話などのモバイル端末の普及や、センサデバイスの高度化・低価格化に伴い、街中に設置されたセンサデバイスや、一般ユーザが所持するモバイル端末に搭載されたセンサデバイスなどで、超広域な範囲(都市全体など)を協調的にセンシングする「アーバンセンシング」²⁾である(アーバンセンシングには「ユビキタスセンシング」など、さまざまな呼称があり、まだ統一されていない)。

アーバンセンシングは、ネットワークセンシングシステムの発展版と見なすことができるが、大規模数のさまざまなセンサデバイスや一般ユーザ(モバイル)がセンサデータを供給するという特徴から、特に以下のような性質を持つ。

1. 異種性が強く、さらにセンサノードの参加・離脱などのシステム構成の変化が頻繁に発生する。
 2. 特定の条件(センシング位置や時間)を指定した問合せに対して、システム全体に問合せメッセージを送信するとネットワークの負荷が非常に大きい。さらに、条件を満たすセンサノードが膨大な数存在する可能性がある。
 3. これまでになくさまざまな応用の可能性がある。
- 以下、本章では、上記3つの観点からアーバンセン

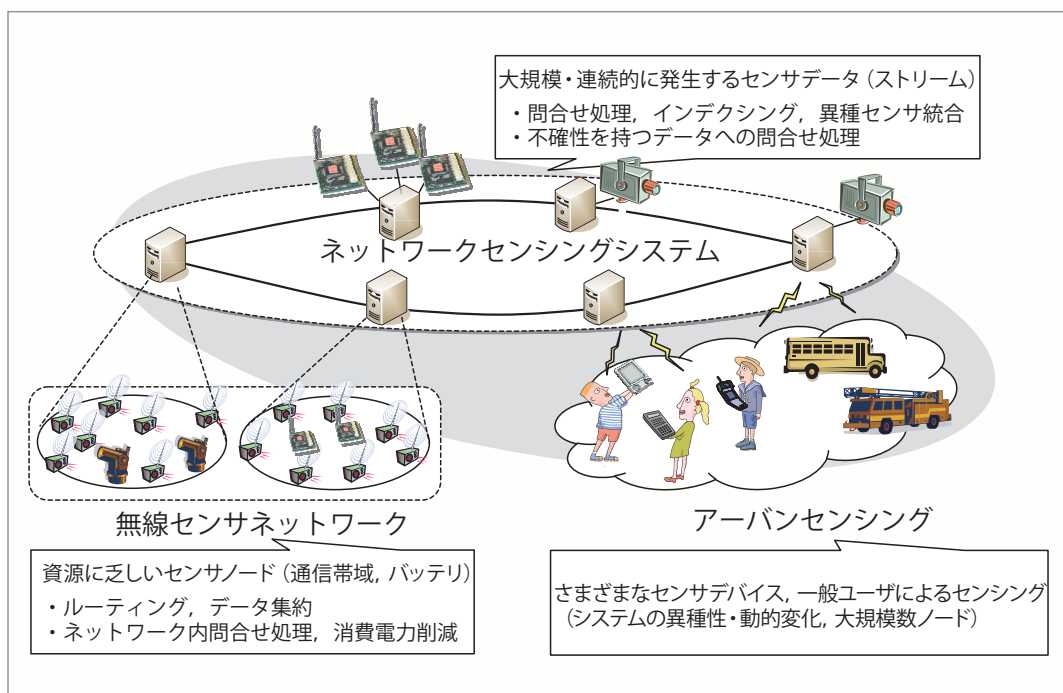


図-1 無線センサネットワーク、ネットワークセンシングシステム

シングを実現するために重要と考えられる研究課題について議論する。

■異種性、動的変化への対応

先に述べたように、従来のネットワークセンシングシステムに関する研究分野においても、センサデバイスの異種性を考慮した研究はいくつか行われている。そのうち、代表的なものとして、GSN (Global Sensor Network)³⁾☆1とX-Sensor⁴⁾について簡単に紹介する。

GSNは、スイスのロザンヌ工科大学 (EPFL) のKarl Aberer教授らによるプロジェクトにおいて開発されているセンサ統合システムのためのミドルウェアである。GSNでは、バーチャルセンサという概念を導入することにより、仕様の異なるさまざまなセンサデバイスを機能ごとに同等に扱うことを可能とする (図-2)。具体的には、バーチャルセンサは、ハードウェアの詳細を隠ぺいするための簡単なXML記述により実現される。また、センサ統合システムを開発するためのさまざまなAPIを提供している。これにより、システム構築者は、センサデバイスの異種性に煩わされることなく、比較的容易にセンサ統合システムを構築できる。

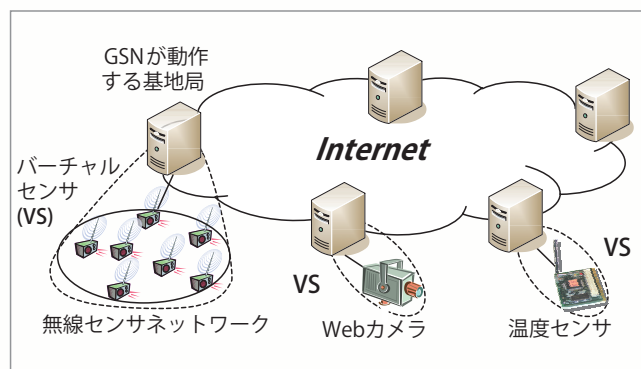


図-2 GSN (Global Sensor Network)

X-Sensorは、筆者らが推進するプロジェクトで開発しているセンサネットワークテストベッドである。X-Sensorは、複数の無線センサネットワークを統合し、センサノードを利用した実測実験の支援と、さまざまなセンサデータの共有の支援を目的としている。そのために、モバイルエージェントを利用したP2PネットワークプラットフォームPIAX^{☆2}をベースとして、複数の無線ネットワーク (拠点) をP2Pネットワークのピアとして統合するシステムを実現している (図-3)。これにより、大規模数の拠点の

☆1 <http://sourceforge.net/apps/trac/gsn/>

☆2 <http://www.piax.org/>

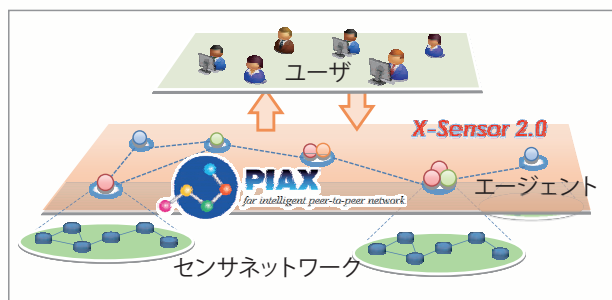


図-3 X-Sensor

参加（スケーラビリティ）と複数拠点への横断的な問合せの実現を可能とする。

これらの異種センサ統合技術を利用することにより、アーバンセンシングのためのセンサ統合システムを構築できる可能性がある。しかし、従来の技術は、一般のモバイルユーザによるセンシングまでは考慮していないため、一般ユーザによるセンシングデータを効率的に管理することは困難である。そのため、今後は、一般ユーザによるセンシングを考慮した、センサデータ登録・管理技術やメタデータ自動付与技術などの実現が必須となる。

■大規模数ノードへの対応

アーバンセンシング環境では、大規模数のセンサデバイスが存在するため、これらが取得したセンサデータに対して効率的に問合せを処理する技術が必要となる。そこで、アーバンセンシング環境（ユビキタスセンサ環境）における問合せ処理のための手法がいくつか提案されている。これらのほとんどは、大規模なノード数に対応するために P2P ネットワークを想定している。以下では、代表的な 2 つの研

究を紹介する。

文献 5) において筆者らは、特定の時刻にセンシングしたセンサノードの観測値のみを効率的に取得するための P2P ネットワーク構築手法を提案した。この手法では、センシング時刻および周期をスロットという単位で管理し、同一周期かつ同一時刻にセンシングするノードをクラスタ化し、さらに、センシング周期が倍数関係にあり、頻繁に同じ時刻にセンシングするノード間を論理リンクで接続する。問合せ処理時には、このようにして構築された P2P ネットワーク上の論理リンクをたどることで、必要最小限のノードのみに問合せメッセージを伝搬することが可能となり、問合せ時のネットワークトラフィックを低減できる（図-4）。

文献 6) では、地理的な領域を指定してセンサデータを要求する問合せを想定し、指定領域の範囲に基づいて、適切な粒度でセンサデータを効率的に取得するための、P2P ネットワーク構築手法を考案している。この手法では、地理ベースのドロネー P2P ネットワーク（ドロネー三角形分割に基づく P2P ネットワーク）を構築する。さらに、問合せに対して、指定領域から一様にセンサデータを取得するようにネットワーク内のピアを探索し、適切な粒度にデータを集約した上でユーザに返信する。

上述のようにアーバンセンシング環境における大規模なセンサノード数に対応するための研究はいくつか行われているが、多様な実应用到に適用可能なレベルまで成熟しているものではない。そのため、今後は当該分野の基盤技術について、さらなる研究開発が望まれる。

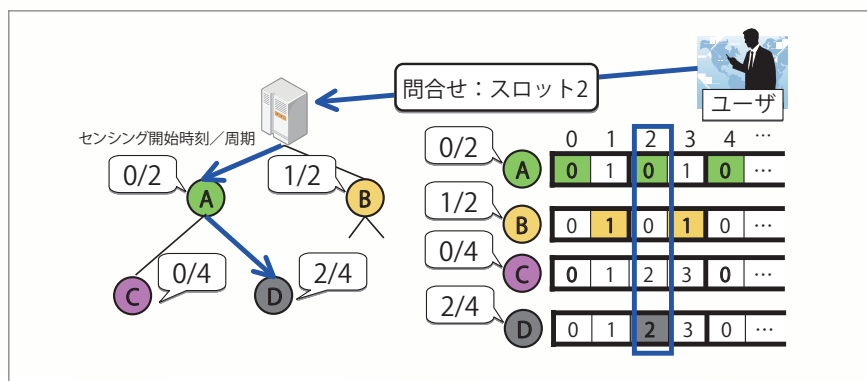


図-4 時刻指定問合せのための P2P ネットワーク構築手法



図-5 Citysense

■新たな応用への展開

アーバンセンシングを想定したさまざまな応用に関する研究およびサービス開発が進められている。本章では、研究分野の代表的なプロジェクトとして Sensor Planet^{☆3}と Urban Sensing^{☆4}を紹介する。さらに、すでにサービス展開されているプロジェクトとして、Citysense^{☆5}と Locky.jp^{☆6}を紹介する。

Sensor Planet は、2006 年に Nokia が発足したアーバンセンシングのための大規模プロジェクトである。このプロジェクトでは、携帯電話などモバイル端末を中心とした世界規模のセンサネットワークの実現を目的としており、特に、大規模センサデータの共有、研究者のための大規模実験環境の提供、および、センサネットワークのための大規模オープンソースコミュニティの実現を目指している。また、さまざまな関連プロジェクトとの共同体制を築いており、Urban Sensing (CENS/UCLA)、CarTel (MIT)、BIONET などのプロジェクトと連携している。

Urban Sensing は、先述の Sensor Planet にも参加している CENS/UCLA によるプロジェクトである。このプロジェクトでは特に、携帯電話を用いたセンシングを想定し、大規模センサデータの共有および Web などの外部リソースとの連携による状況予測等の高度化を目指している。Sensor Planet がプロジェクト連携のためのプラットフォーム構築を目的としているのに対し、このプロジェクトでは実応用への展開に主眼を置いている点が大きな特徴である。具体的には、12 個の応用プロジェクトを実施しており、たとえば、サイクリングを趣味とするユーザー間でコース情報やその状況を共有する Cyclesense や、

ユーザと専門医の間で食生活管理を目的として情報共有を行う Dietsense、家庭内での人間関係を把握するために家族の位置情報や接触情報を共有する Family Dynamics などがある。

Citysense は、Sensor Networks 社が 2008 年に開始した実サービスであり、iPhone や Blackberry 端末を持つユーザを対象とし、San Francisco のユーザ分布をユーザの端末に表示する(図-5)。たとえば、「今、どこに人が集まっていて、どこに行こうとしているか？」などの問合せが可能となる。このために、同社の Macrosense (位置データを用いたユーザ動作解析ツール) を利用し、現在の数万単位のユーザの位置情報と、過去の数 10 億のデータを利用して、現状をリアルタイムに予測している。

Locky.jp は、名古屋大学の河口信夫教授らによって 2005 年に開始された測位サービスである。このサービスでは、Locky.jp を利用している大量のユーザから、無線 LAN の基地局データ (BSSID, RSSI, 設置場所) と、測位場所 (ユーザ位置) を収集する。そして、ユーザの問合せに対して、収集した情報に基づいて位置を予測し提供する。2010 年 10 月現在で、80 万超のデータを収集している。また、このプロジェクトの一環として、時刻表表示や駅構内の測位などのサービスを提供する駅 .Locky も実施している。

☆3 <http://www.sensorplanet.org>
 ☆4 <http://urban.cens.ucla.edu/>
 ☆5 <http://www.sensenetworks.com/>
 ☆6 <http://locky.jp>

アーバンセンシングがどのように 将来を変えるのか？

前章で紹介したように、アーバンセンシングの応用として実サービス展開されているものがすでにいくつか存在するが、ユーザの位置情報をセンサデータとして共用するものがほとんどであり、多種種類のセンサデータを共有するようなものは少ない。これは、アーバンセンシングが新しい研究分野であるため、現状で基盤技術の開発と、応用サービスの開発が並行に行われていることに起因する。つまり、基盤技術の開発が応用に追いついていないため、位置情報などの比較的取得しやすいセンサデータのみが共有され、それを有効活用できる応用の開発が進められていると考える。

今後、基盤技術が成熟し、さまざまなセンサデータを共有可能なプラットフォームが実現されると、さらに多様なサービスが展開されることが予想される。たとえば、Citysense などの応用を発展させ、どのような地域に、どのような趣味・嗜好を持ったユーザが集まっており、何をしているのか、滞在時間はどの程度かなどの情報をリアルタイムに提供できるものと考えられる。このような情報は、たとえば、旅行先での訪問場所の推薦や、スケジュールリングに活用できる。また、社会的価値の高い応用としては、カメラセンサや GPS、人物トラッキングセンサなどを利用することで、犯罪の発生パターンの検出が可能になり、犯罪予防や早期発見につながるものと考えられる。さらに、伝染性の疫病などが発生した際、ユーザ間のコンタクト情報を地理的および時系列的に解析することにより、伝播状況など被害レベルの予想が可能となる。

上記のような新たな応用を実現する上では、実世

界をダイレクトに反映する多種多様なセンサデータに加えて、サイバー世界の情報として一般の Web 情報やブログ、twitter、flicker などのソーシャルメディア情報を利用することが有効と考えられる。サイバー情報を解析することにより、サイバー世界の情報から実世界の情報を反映するものを抽出したり、サイバー世界のソーシャル関係を実世界の解析に利用することが可能になる。これを実現するためには、アーバンセンシングの基盤技術に加えて、サイバー情報を解析する基盤技術をあわせ持つ、情報基盤が必要になる。このような情報基盤を実現することで、センサ情報とサイバー情報を統合的に解析し、さまざまなアーバンセンシングの応用に利用可能な情報を抽出することが可能となる。今後は、このような情報基盤の実現を目指した研究開発を推進していきたいと考えている。

参考文献

- 1) Akyildiz, I. F. et al. : A Survey on Sensor Networks, IEEE Communications Magazine, Vol.40, No.8, pp.102-114 (2002).
- 2) 戸辺義人 他：アーバンセンシング基盤に向けて、人工知能学会誌, Vol.23, No.4, pp.474-479 (2008).
- 3) Aberer, K. et al. : A Middleware for Fast and Flexible Sensor Network Deployment, Proc. of VLDB 2006, pp.1199-1202 (2006).
- 4) Kanzaki, A. et al. : X-Sensor :Wireless Sensor Network Testbed Integrating Multiple Networks, Wireless Sensor Network Technologies for Information Explosion Era, Vol.278, Chapter III-3, pp.249-271 (2010).
- 5) 小坂佳弘 他：ユビキタスセンサ環境におけるセンシング周期に基づく P2P ネットワーク, 情報処理学会論文誌, Vol.51, No.9, pp.1892-1904 (Sep. 2010).
- 6) Shinomiya, J. et al. : An Examination of Sensor Data Collection Method for Spatial Interpolation on Hierarchical Delaunay Overlay Network, Proc. of SeNTIE 2010, pp.407-412 (2010).

(平成 22 年 10 月 30 日受付)

原 隆浩 (正会員) hara@ist.osaka-u.ac.jp

1997 年大阪大学大学院前期課程修了。2004 年より同大学院情報科学研究科准教授、工学博士。2008 年、2009 年本会論文賞受賞。データベースシステム、モバイルコンピューティングに関する研究に従事。IEEE、ACM、電子情報通信学会、日本データベース学会各会員。