

アプリケーション指向センサネットワーク

南 正 輝*・猿 渡 俊 介*

*東京大学先端科学技術研究センター
*Research Center for Advanced Science and Technology, The University of Tokyo, 4-6-1 Komaba, Meguro-ku, Tokyo 153-8904, Japan
*E-mail: {minami, saru}@mlab.t.u-tokyo.ac.jp

キーワード：センサネットワーク、ユビキタスネットワーク、アプリケーション、プラットフォーム、地震モニタリング、ヘルスマニタリング、グリーン IT
JL 0008/03/4208-0685 ©2003 SICE

1. はじめに

現在のセンサネットワークのイメージを形作った Smart Dust¹⁾ のコンセプトが提示されて以来、およそ 10 年の歳月が経過した。この間、ノードのハードウェア構成技術、OS 等の制御ソフトウェア技術、ネットワーク技術、および位置検出・時刻同期技術などの要素技術は着実に研究開発が進んできた。今日ではそれら要素技術の中から適切なものを選んで組み合わせることで、実験レベルであれば比較的容易にセンサネットワークを構成することができるようになってきている。

また、かつては MAC プロトコルやルーティングプロトコルの研究に傾倒しがちであった研究コミュニティも、アプリケーション指向に軸足を移しつつあり、メジャーな国際会議やジャーナル等においては、アプリケーションシナリオが明確に示されない論文は採録されにくい傾向にある。さらに最近では、センサネットワークの研究を建設的に批判した論文²⁾ なども登場しており、センサネットワークの研究コミュニティのあり方が問われている時期にある。文献³⁾ では、センサネットワークの研究は常にアプリケーション指向であるべきで、行き過ぎた抽象化や理想化をせず、現実的な課題を真摯に見つめるとともに、車輪の再発明やシステムの無用な複雑化を回避し、先達が開発した有用な技術は積極的に活用して、シンプルかつ実用的なセンサネットワークを構築するための研究を行うべきであると喝破している。

このようなアプリケーション指向の動きがある一方で、センサネットワークの登場から 10 年の歳月を経ても、多くの研究者が夢見たセンサネットワークの世界、すなわち、センサネットワークを活用した多くの実際的な応用システムやサービスが展開される世界の実現には至っていない。その理由はセンサネットワークのコミュニティがキラー・アプリケーション不足と技術開発の孤立という典型的なジレンマに陥っている点にある。

本来、センサネットワークは多様な分野への応用が可能な技術であり、究極的にはセンサを用いるすべての応用分野に適用可能な技術である。しかしながら、その一方で、多様な環境や多様なアプリケーションに対応可能な共通基盤(プラットフォーム)を設計することが難しく、個別の事例

に対して垂直統合的に設計と実装がなされているのが現状である。また、センサが活用されている分野はノウハウの蓄積が多い分野でもあり、技術のシーズとニーズのマッチングをスムーズに行うのが難しい点も挙げられる。この結果、センサネットワークシステムの開発コスト増大と要素技術の孤立化を招く結果となっている。

その一方で、現在の研究開発動向が急速にアプリケーション指向になりつつあることに鑑みれば、プラットフォーム化に向けた動きは不可避である。このような観点から、本稿では特にアプリケーション指向の研究開発動向を概観することで、センサネットワークのプラットフォーム化における諸課題を考える。

本稿の構成は以下の通りである。まず、2. では内外におけるアプリケーション指向の研究開発を概観し、ハードウェア、制御ソフトウェアおよびネットワークの各方面からプラットフォーム化を考える。3. ではそれら諸課題について、筆者らのアプローチを示し、4. でまとめとする。

2. プラットフォーム化に向けた課題

本節ではこれまで行われてきたアプリケーション指向の研究を概観し、プラットフォーム化に向けたヒントを得る。次いで、ハードウェア、ソフトウェア、およびネットワークの各方面からプラットフォーム化における諸課題について考える。

2.1 アプリケーション指向センサネットワーク

これまで開発されてきたセンサネットワークのアプリケーションを時系列に沿って分類すると 3 世代に分けることができる。第 1 世代のアプリケーションは、センサネットワークの可能性を示すアプリケーションである。この世代のアプリケーションはある程度の具体的なシナリオを示しつつも、実用性よりはセンサネットワークを適用した事実に重きを置いた研究となっている。このため、主として自然科学分野などへの適用事例が多く、スケーラビリティなどを技術課題とする研究となっている。具体的には、動物や植物の生態を観測する生態モニタリング^{3), 4)}、珊瑚礁や漁場の観察を行う水中モニタリング⁵⁾、大気の有毒なガスや嵐の情報を 3 次元的に取得する空中モニタリング⁶⁾ などが事例としてあげられる。

第 2 世代のアプリケーションは、人々の安心や安全に関

わるアプリケーションである。この世代のアプリケーションでは、医療や災害といった、重要かつ具体的な課題を対象とし、高コストであっても実用化が強求められる内容の研究が行われる。また、ノウハウの蓄積といった意味合いが強いのも第2世代のアプリケーションの特徴である。具体的には河川の氾濫を監視する河川モニタリング⁷⁾、森林火災を監視する森林モニタリング⁸⁾、火山活動を監視する火山モニタリング⁹⁾、構造物の安全性監視^{10), 11)}、車載のセンサで道路の障害を検出する道路モニタリング^{12), 13)}、弾丸の発射位置を検出する発射源同定システム¹⁴⁾などがこれに当たる。第2世代のアプリケーションは、センサネットワークの有用性が社会的に認知されるという意味で、重要な役割を果たしている。

第3世代のアプリケーションは我々の身近で役に立つアプリケーションである。この世代のアプリケーションは、すべてのユーザにとって必要ではないかも知れないが、それを利用することで豊かで効率的な社会を実現できるようなアプリケーションとなる。第3世代のアプリケーションの数はまだ多くはないものの、研究コミュニティでは第3世代に向けた動きが出はじめており、家庭の水量を監視する水量モニタリング¹⁵⁾、ユーザの状況に合わせて家庭の空調や家電を自動で制御するホームオートメーション¹⁶⁾、ユーザの状況情報を友達と共有するSNS (Social Network Service) とセンサネットワークの融合¹⁷⁾といった研究事例がある。また、フィールドサーバ¹⁸⁾やLive E!¹⁹⁾などは第2世代と第3世代の中間に位置付けられる研究開発事例と言えよう。

このようなアプリケーション指向センサネットワークの研究動向からセンサネットワークのプラットフォーム化に求められる課題を考える時、重要となるのは多様化への対応である。センサネットワークはハードウェアからサービスに至るまで、幅広い技術領域を統合して実現される。このため、各技術領域において、多様化への対応をどのように行っていくかが重要となる。

2.2 課題

前節での議論を踏まえ、本節ではセンサネットワークの要素技術をハードウェア、ソフトウェア、ネットワークに分類し、それぞれにおいて多様化に向けた課題を考える。

ハードウェア： ハードウェアに関しては、環境の多様性に対応できるセンサノードの構成技術が重要な課題である。センサノードは、センサ、マイクロプロセッサ、ネットワークデバイス、および電源の4つの主要機能に加え、時刻同期と位置検出の2つの補助機能から構成されるのが一般的である。これら諸機能はコモディティ化が進んでおり、用途に応じて適切な製品を組み合わせることで、ある程度は対応が可能となっている。また、MICA Mote の様な既製のノードを流用することもできるようにはなっている。

しかしながら、第2世代以降のアプリケーションにおい

ては、個別の環境においてアプリケーションに応じた機能を持ったセンサノードを設置できるようにすることが求められており、既存技術の単純な組合せのみではその要求に応えることはできない。例えばワイヤレスセンサネットワークの場合には長期運用に向けた電源の確保は依然として大きな課題である。また、過酷な環境に耐えられるパッケージング技術や、デザインや景観に影響を与えない設置方法なども実際的な問題として予想できる。さらに、昨今の環境意識の高まりに鑑みれば、環境負荷やリサイクルを考慮したノードデザインも求められよう。

すなわち、ハードウェア技術においてはセンシング対象に依存したカスタムセンサノードを如何に短期間で低コストに実現できるかがプラットフォーム化に向けて重要となる。これに向けたファーストステップとしては、センサネットワーク向けEDA (Electric Design Automation) ツールの様なシステム設計支援ツールの充実やハードウェアのモジュール化²⁰⁾が有効となろう。また、将来に向けてはプリントエレクトロニクスやデスクトップ工場のような技術も視野に入れておく必要があると考えられる。

ソフトウェア： ソフトウェアに関しては、TinyOS²¹⁾がセンサネットワークの制御ソフトウェアとして広く用いられている。TinyOSはnesC²²⁾と呼ばれるプログラミング言語で構築されており、C言語のコンパイラが用意されている。CPUであれば簡単に移植できるという特徴を持っている。TinyOSは研究者を中心に比較的大きなコミュニティを形成しており、様々な機能がTinyOSを中心に実装されている。また、モジュール化や信頼性の向上を図ったTinyOS 2.0²³⁾が登場するなど、ノードの制御ソフトウェアプラットフォームとして、今後しばらくはTinyOSが主導権を握ると考えられる。その一方で、機能のハードウェアモジュール化が進んだ将来において、制御ソフトウェアの位置付けがどのようになるかについては、注意深く見守っていく必要がある。

ネットワーク： センサネットワークにおいて今後ますます重要な位置を占めるのはネットワーク技術である。これまではMintRoute²⁴⁾、B-MAC²⁵⁾、IEEE802.15.4やZigBeeに代表されるような、センサノードのネットワーク化に向けた技術開発が中心であったが、今後は導入環境に応じて必要なネットワークスペックを満たすセンサネットワークを設計するためのデザイン支援ツールや、センサ情報を広域のネットワーク上で活用するためのデータマネジメント技術などが重要になると考えられる。

特に第3世代のアプリケーションにおいては、センサ情報の共有をきっかけとして、様々なアプリケーション開発が活発化していくことが予想され、センサ情報の収集・共有に向けた技術開発が必須となる。これに向けては、セン

サネットワークに特化した技術をスクラッチから開発するのではなく、インターネットを中心としたコミュニティで培われてきた技術を積極的に活用することが重要となろう。具体的には Atom²⁶⁾ のような Web サービス向け技術の利用などが挙げられる。また、IPv6 とセンサネットワークの相互運用性に関する研究²⁷⁾ なども行われている。加えて、センサ情報はノウハウやプライバシーに関連する情報となるため、特に第2世代のアプリケーションなどにおいては、NGN/IMS(Next Generation Network/IP Multimedia Subsystem) のようなセキュリティや通信品質制御の機能が充実したプラットフォームを活用するといったアプローチも考えられる。

以上、センサネットワークのプラットフォーム化に向けて、技術的な側面での諸課題をアプリケーションの世代の観点から概観した。しかしながら、特に第2世代や第3世代のアプリケーションに向けては、技術的な側面だけではなく、研究開発のモデルと普及に向けた戦略を考えておくことも重要である。

第1世代のアプリケーションにおいては、ある程度自由な発想でアプリケーションを定義し、研究開発を進めることが可能であった。しかしながら、第2世代のアプリケーションにおいては、具体的なニーズを発見するために、異分野間のコラボレーションが重要となる。例えば、Sociometric Badge²⁸⁾ では、経営学の研究者と共同で、センサネットワークで抽出した人間関係から企業の生産性を向上させる研究を行っているが、このような研究を進めるに際しては異分野間の相互理解と協力が必須となる。また、国内においては、科学技術振興機構の先進的統合センシング技術のプロジェクト²⁹⁾ において研究のシーズとニーズを積極的に結びつける試みがなされているが、このようなプロジェクトをきっかけとした活発なコラボレーションが第3世代のアプリケーション創出に向けて重要となる。第3世代のアプリケーションでは、デザイン、機能、およびデータ等のリソースをネットワーク上で積極的に共有することが重要となる。例えば、Place Lab^{30), 31)} では実際の生活環境で取得したセンサ情報を公開することでエスノグラフィやコンテキストウェアサービスなどの研究に貢献することを目指している。このような取組をきっかけにして、リソース共有の枠組を構築していくことが、第3世代のセンサネットワークのアプリケーションに向けて重要となろう。

3. アプローチ

本節では 2. で述べた諸課題に対する筆者らの取組を紹介する。筆者らの研究室では第2世代のアプリケーションとして、高層ビル等の建造物の損傷検知を行うための地震モニタリングシステム、およびヘルスケアサービスに向けた生体情報モニタリングシステムなどの開発を進めている。

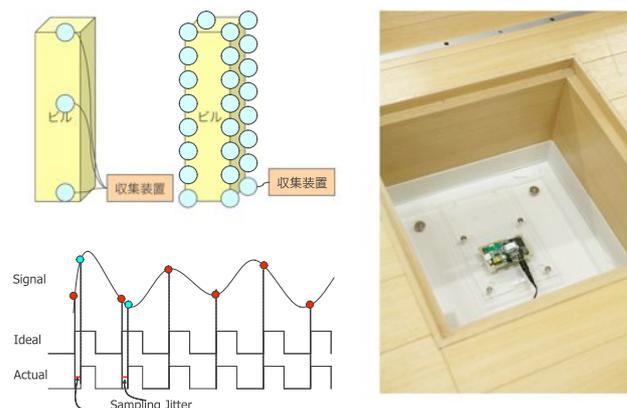


図1 地震モニタリングシステム

また、第3世代のアプリケーションとして、エコサービスをターゲットとした消費電力モニタリングシステムの開発も行っている。これら3つのセンサネットワークの応用事例は、それぞれが異なったモデルと戦略を有している。以下ではそれぞれの事例について、その要点を述べる。

3.1 地震モニタリングシステム

地震モニタリングは耐震設計の基礎となる技術のひとつで、ビルなどの建造物の健全性判断や、地震後の損傷検知に応用することが期待されている。損傷の程度を正確に把握するためには、各フロアやフロアの複数箇所で高品質なモニタリングを行うことが望ましいが、このような高密度なモニタリングが行われている事例はない。これに向けては、センシングした値の精度のみならず、その値を取得するタイミングの精度も重要となる。そこで、地震モニタリングシステムの研究では、地震波の高精度同期サンプリングに的を絞って技術的な部分での研究を進め、ハードリアルタイム OS を含めてハードウェアからソフトウェアまで、垂直統合型で設計・実装を行っている(図1)³²⁾。また、関連する企業との連携を行い、研究室のみならず、秋葉原ダイビル等に設置し、地震時の振動計測に成功している。

本システムは垂直統合型のシステムではあるものの、産と学との双方にとってメリットのある形で、明確なターゲットを定めて研究開発を行っており、センサネットワーク研究の良い事例のひとつとして位置付けることができる。また、高精度同期サンプリングの技術は地震モニタリング以外にも応用が可能であり、将来的にプラットフォーム化が進んだ場合でも、技術の再利用は可能である。2. で述べた事例を含め、現在のセンサネットワーク研究において成功を取めているモデルの多くは、地震モニタリングと同様の研究開発モデルとなっている。

3.2 生体情報モニタリングシステム

本システムは前述の地震モニタリングとは異なり、次世代のサービスプラットフォームである NGN/IMS の機能を積極的に利用しつつ、独自の機能をプラットフォームに追

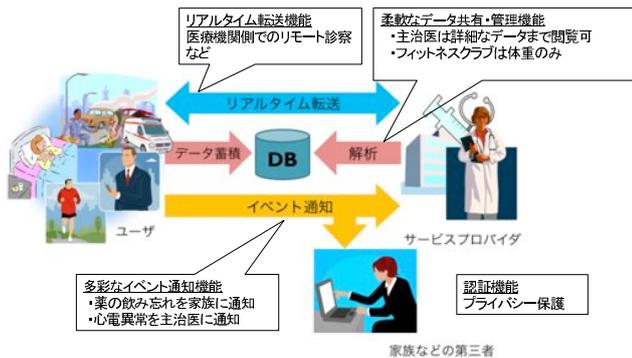


図2 生体情報モニタリングシステム

加する形で研究を進めている。本システムは様々な医療・健康サービスをネットワーク上で提供する場合に必要な3つの機能をNGN/IMS上に実現することを目的としている。具体的には、図2に示すように、体温、心電波形、運動状態といった各種生体情報を遠隔の医療機関やヘルスケアサービスに品質保証しながらリアルタイムに転送する機能、生体情報から異常を検出した場合に、これを家族や医療機関に通知するイベント通知機能、および過去のデータを蓄積し、予防医療などに役立つデータ蓄積機能の3機能を、品質保証と認証機能を併せ持つNGN/IMS上で実現している。特に、イベント通知機能は緊急時に重要な役割を果たすが、これをNGN/IMS上で実現するために、XMLを対象としたデータマネジメントシステムであるXDMS(XML Document Management Server)に拡張を施し、IMSにおけるイベント通知機能と連動させている³³⁾。

このように、具体的なサービスシナリオを抽象化し、既存のプラットフォーム技術を活用しつつ、その機能拡張により技術的な独自性を出す研究開発のモデルもセンサネットワークにおいては有効である。しかしながら、この場合においては、地震モニタリングのような明確なターゲットを持つ研究開発に比べて抽象度が高くなるため、開発したシステムの普及に向けた具体的なシナリオを十分に検討しておく必要がある。

3.3 消費電力モニタリングシステム

消費電力モニタリングシステムは、昨今の環境への意識の高まりを背景に、あらゆる機器の消費電力を収集し、消費電力情報を元に様々なサービスを展開することで、最終的には社会システム全体の効率化を目指している。これに向けて、筆者らの研究室では図3に示すような消費電力モニタリングシステムを構築し、個人の活動と消費電力の関係の「見える化」を進めている。また、文献³⁴⁾に示すように、消費電力モニタリングシステムとポリシーベースの消費電力制御を組み合わせた低消費電力なネットワークシステムの研究なども進めている。さらに、機械学習に基づく行動予測アルゴリズムによる家電制御手法を、Place Lab

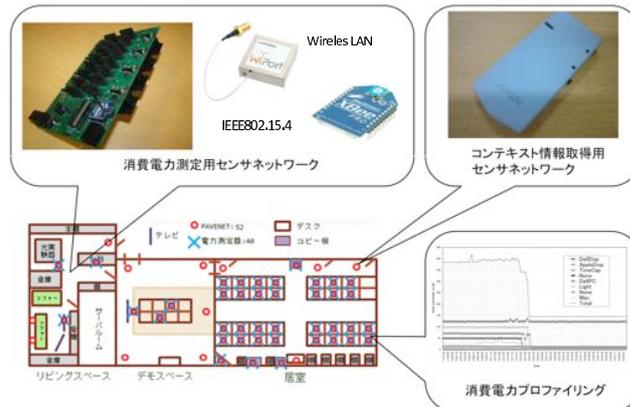


図3 消費電力モニタリングシステム

のデータを活用して評価する研究も行っている³⁵⁾。

エコをターゲットとした情報通信分野の研究開発は今後活発化が予想され、大手IT企業が電力管理ビジネスに向けた動きを見せている。センサネットワークは消費電力等を含めた、広い意味での環境を測定する基本技術であり、コンシューマ領域におけるエコ意識の高まりはセンサネットワークにとって大きなチャンスである。

しかしながら、長期的な視点で見た場合、単純な「見える化」がセンサネットワークの普及を促進する強力なドライバーフォースとなり得るかについては注意を要する。例えば、本稿で示した電力モニタリングシステムにおいては、どのようにしたらユーザが消費電力情報を提供してくれるか、あるいは、どのようにしたらメーカーが消費電力モニタリング機能をすべての機器に搭載してくれるかといったシナリオ作りが重要な課題となる。このようなシナリオ作りにおいては、消費電力情報を他の様々なサービスと連携させることが重要であり、通販、オークション、あるいはリサイクルと言ったような各種サービスとの連携を模索していくことが重要であると考えている。

4. おわりに

本稿ではセンサネットワークについて、特にアプリケーションの観点からその動向と課題を述べた。要素技術が整いつつあることに鑑みれば、今後は異分野融合によるアプリケーションの創出、デザイン、機能、およびデータの共有が重要になる。特にセンサネットワークはデータオーリエントドシステムであると言われるように、センサ情報の収集・蓄積基盤を早期に確立することが必要である。これに向けては、個別にアプリケーションを開発してきたセンサネットワークの研究開発者が結束し、将来に向けたビジョンと戦略を決めることが肝要である。

参考文献

- 1) J. M. Kahn, R. H. Katz, and K. S. J. Pister, Next century challenges: mobile networking for “Smart Dust”, In

- Proceedings of the 5th annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking (MobiCom'99)*, pages 271–278, Seattle, Washington, August 1999.
- 2) B. Raman and K. Chbrolu, *Censor Networks: A Critique of Sensor Networks from a Systems Perspective*, *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, volume 38, number 3, pages 75–78, .
 - 3) Alan Mainwaring, Joseph Polastre, Robert Szewczyk, David Culler, and John Anderson. *Wireless Sensor Networks for Habitat Monitoring*. In *Proceedings of the 1st ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications (WSNA'02)*, Atlanta, Georgia, September 2002.
 - 4) Gilman Tolle, Joseph Plastre, Robert Szewczyk, David Culler, Neil Turner, Kevin Tu, Stephen Burgess, Todd Dawson, Phil Buonadonna, David Gay, and Wei Hong. *A macro-scope in the redwoods*. In *Proceedings of the 3rd ACM Conference on Embedded Network Sensor Systems (SenSys'05)*, pages 51–63, San Diego, California, November 2005.
 - 5) I. Vasilescu, K. Kotay, D. Rus, M. Dunbabin, and P. Corke. *Data Collection, Storage, and Retrieval with an Underwater Sensor Network*. In *Proceedings of the 3rd ACM Conference on Embedded Network Sensor Systems (SenSys'05)*, San Diego, California, November 2005.
 - 6) Jude Allred, Ahmad Bilal Hasan, Saroch Panichsakul, William Pisano, Peter Gray, Jyh Huang, Richard Han, Dale Lawrence, and Kamran Mohseni. *SensorFlock: An airborne wireless sensor network of micro-air vehicles*. In *Proceedings of the 4th International Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys'07)*, pages 117–129, Sydney, Australia, November 2007.
 - 7) Elizabeth A. Basha, Sai Ravela, and Daniela Rus. *Model-based monitoring for early warning flood detection*. In *Proceedings of the 6th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys'08)*, pages 295–308, Raleigh, North Carolina, November 2008.
 - 8) Carl Hartung, Richard Han, Carl Seielstad, and Saxon Holbrook. *FireWxNet: A Multi-Tiered Portable Wireless System for Monitoring Weather Conditions in Wildland Fire Environments*. In *Proceedings of the 4th International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services (MobiSys'06)*, Uppsala, Sweden, June 2006.
 - 9) Geoff Werner-Allen, Konrad Lorincz, Jeff Johnson, Jonathan Lees, and Matt Welsh. *Fidelity and yield in a volcano monitoring sensor network*. In *Proceedings of the 7th USENIX Symposium on Operating Systems Design and Implementation (OSDI'06)*, Seattle, Washington, November 2006.
 - 10) Ning Xu, Sumit Rangwata, Krishna Kant Chintalapudi, Deepak Ganesan, Alan Broad, Ramesh Govindan, and Deborah Estrin. *A Wireless Sensor Network for Structural Monitoring*. In *Proceedings of the 2nd ACM Conference on Embedded Network Sensor Systems (SenSys'04)*, Baltimore, Maryland, November 2004.
 - 11) Sunkun Kim, Shamim Pakzad, David Culler, James Demmel, Gregory Fenves, Steven Glaser, and Martin Turon. *Health monitoring of civil infrastructures using wireless sensor networks*. In *Proceedings of the 6th International Symposium on Information Processing in Sensor Networks (IPSN'07)*, Cambridge, Massachusetts, April 2007.
 - 12) Jakob Eriksson, Lewis Girod, Bret Hull, Ryan Newton, Samuel Madden, and Hari Balakrishnan. *The pothole patrol: Using a mobile sensor network for road surface monitoring*. In *Proceeding of the 6th International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services (MobiSys'08)*, pages 29–39, Breckenridge, Colorado, June 2008.
 - 13) Parashanth Mohan, Venkata N. Padmanabhan, and Ramachandran Ramjee. *Nericell: Rich monitoring of road and traffic conditions using mobile smartphones*. In *Proceedings of the 6th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys'08)*, pages 323–336, Raleigh, North Carolina, November 2008.
 - 14) Gyula Simon, Miklos Maroti, and Akos Ledecz. *Sensor Network-Based Countersniper System*. In *Proceedings of the 2nd ACM Conference on Embedded Network Sensor Systems (SenSys'04)*, Baltimore, Maryland, November 2004.
 - 15) Younghun Kim, Thomas Schmid, Zainul M. Charbiwala, Jonathan Friedman, and Mani B. Srivastava. *Nawms: Nonintrusive autonomous water monitoring system*. In *Proceedings of the 6th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys'08)*, pages 309–322, Raleigh, North Carolina, November 2008.
 - 16) Michael C. Mozer. *The neural network house: An environment that adapts to its inhabitants*. In *Proceedings of the American Association for Artificial Intelligence Spring Symposium*, pages 110–114, Menlo Park, Canada, 1998.
 - 17) Emiliano Miluzzo, Nicholas D. Lane, Kristof Fodor, Ronald Peterson, Hong Lu, Mirco Musolesi, Shane B. Eisenman, Xiao Zheng, and Andrew T. Campbell. *Sensing meets mobile social networks: The design, implementation and evaluation of the cenceme application*. In *Proceedings of the 6th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys'08)*, pages 337–350, Raleigh, North Carolina, November 2008.
 - 18) 深津時広, 平藤雅之, 圃場モニタリングのためのフィールドサーバの開発, *農業情報研究* 12(1), pages 1–12, April, 2003.
 - 19) Live E! ウェブサイト : <http://www.live-e.org/>
 - 20) Prabal Dutta, Jay Taneja, Jaemin Jeong, Xiaofan Jiang, and David Culler. *A building block approach to sensor network systems*. In *Proceedings of the 6th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys'08)*, pages 267–280, Raleigh, North Carolina, November 2008.
 - 21) Jason Hill, Robert Szewczyk, Alec Woo, Seth Hollar, David Culler, and Kristofer Pister. *System Architecture Directions for Networked Sensors*. In *Proceedings of the 9th International Conference on Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems (ASPLOS'00)*, pages 93–104, Boston, Massachusetts, November 2000.
 - 22) David Gay, Philip Levis, and Robert von Behren. *The nesC Language: A Holistic Approach to Networked Embedded Systems*. In *Proceedings of Conference on Programming Language Design and Implementation (PLDI'03)*, pages 1–11, San Diego, California, June 2003.
 - 23) Philip Levis, David Gay, Vlado Handziski, Jan-Heinrich Hauer, Ben Greenstein, Martin Turon, Jonathan Hui, Kevin Klues, Cory Sharp, Robert Szewczyk, Joseph Polastre, Philip Buonadonna, Lama Nachman, Gilman Tolle, David Culler, and Adam Wolisz. *T2: A second generation os for embedded sensor networks*. Technical Report Technical Report TKN-05-007, Telecommunication Networks Group, Technische Universität Berlin, 2005.
 - 24) Alec Woo, Terence Tong, and David Culler. *Taming the Underlying Challenges of Reliable Multihop Routing in Sensor Networks*. In *Proceedings of the 1st ACM Conference on Embedded Network Sensor Systems (SenSys'03)*, Los Angeles, California, November 2003.

- 25) Joseph Polastre, Jason Hill, and David Culler. Versatile Low Power Media Access for Wireless Sensor Networks. In *Proceedings of the 2nd ACM Conference on Embedded Network Sensor Systems (SenSys'04)*, Baltimore, Maryland, November 2004.
- 26) J. Gregorio and B. de hOra, The Atom Publishing Protocol, IETF RFC 5023, October 2007.
- 27) Jonathan W. Hui and David E. Culler. IP is dead, long live IP for wireless sensor networks. In *Proceedings of the 6th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys'08)*, pages 15–28, Raleigh, North Carolina, November 2008.
- 28) Daniel Olguin Olguin, Benjamin N. Waber, Taemie Kim, Akshay Mohan, Koji Ara, and Alex Pentland. Sensible organizations: Technology and methodology for automatically measuring organizational behavior. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part B: Cybernetics*, 39(1), February 2009.
- 29) JST 戦略的創造研究推進事業 先進的統合センシング技術 ウェブサイト: <http://www.sen.jst.go.jp/>.
- 30) Emmanuel Munguia Tapia, Stephen S. Intille, Louis Lopez, and Kent Larson. The design of a portable kit of wireless sensors for naturalistic data collection. In *Proceedings of 4th International Conference on Pervasive Computing (Pervasive'06)*, Dublin, Ireland, May 2006.
- 31) Stephen S. Intille, Kent Larson, Emmanuel Munguia Tapia, Jennifer S. Beaudin, Pallavi Kaushik, Jason Nawyn, and Randy Rockinson. Using a live-in laboratory for ubiquitous computing research. In *Proceedings of 4th International Conference on Pervasive Computing (Pervasive'06)*, Dublin, Ireland, May 2006.
- 32) N. Kurata, M. Suzuki, S. Saruwatari, and H. Morikawa Actual Application of Ubiquitous Structural Monitoring System using Wireless Sensor Networks, In *Proceedings of the 14th World Conference on Earthquake Engineering (14WCEE)*, Beijing, China, October 2008.
- 33) 力武 紘一郎, 荒木 靖宏, 川原 圭博, 南 正輝, 森川 博之, NGN/IMS を用いたユビキタスヘルスマニタリングシステムの設計と実装, 電子情報通信学会研究報告, 情報ネットワーク研究会, IN2008-195, March 2009.
- 34) P. Morales, J. Ok, M. Minami, and H. Morikawa, Smart Wireless Aggregation for Access Network Infrastructure Power Saving in the Office Environment ” *IEICE Technical Report*, IN2008-209, March 2009.
- 35) H. Si, S. Saruwatari, M. Minami, and H. Morikawa, A Stochastic Scheme to Balance Energy Saving and Response Time of Electronic Devices, 電子情報通信学会総合大会, B-20-46, March 2009.

[著者紹介]

みなみまさてる
南正輝 君(非会員)



1996 年 芝浦工業大学工学部電子工学科卒。1998 年 芝浦工業大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程修了。2001 年 東京大学大学院工学系研究科電子情報工学専攻博士課程修了(工学博士)。2003 年～2007 年 芝浦工業大学工学部電子工学科講師。2006 年 スイス・ローザンヌ連邦工科大学客員研究員。現在、東京大学先端科学技術研究センター准教授。電子情報通信学会論文賞、電子情報通信学会学術奨励賞各受賞。IEEE、電子情報通信学会、情報処理学会各会員。

さるわたらしゅんすけ
猿渡俊介 君(非会員)



978 年 7 月 12 日生まれ。2007 年 3 月東京大学大学院新領域創成科学研究科博士課程修了。科博。2006 年 4 月～2008 年 3 月日本学術振興会学振特別研究員。2007 年 4 月～2008 年 3 月イリノイ大学客員研究員。現在、東京大学先端科学技術研究センター助教。無線センサネットワークの研究に従事。ACM、IEEE、電子情報通信学会、情報処理学会各会員。