

特集 実世界インタフェースの新たな展開

3

集合知センシングによる 実世界インタフェース

味八木崇 東京大学大学院情報学環 暦本純一 東京大学大学院情報学環/ソニーコンピュータサイエンス研究所

身の回りのすべてのものがネットワークに接続される環境が現実的なものとなりつつある。単一のセンサから得られる情報の価値は限られているが、それをネットワークを介して大規模に集約させていくと新たな価値や意味が生まれる。本稿では、実世界センシングとその大規模知識集約について述べる。特に、ヒューマンインタフェースの観点から、近年の応用例とともに筆者らのグループが取り組んできた WiFi による位置測位システム PlaceEngine、それを基盤としたライフログプラットフォーム LifeTag、環境センシングについての取り組みを紹介する。

集合知センシング

モノのインターネット (Internet of Things, IoT) という言葉に代表されるように、身の回りのすべてのものがネットワークに接続される環境が現実的なものとなりつつある。単一のセンサから得られる情報の価値は限られているが、それをネットワークを介して大規模に集約させていくと新たな価値や意味が生まれる。今後、MEMS 技術等の発達とともに、さまざまなセンサを利用した実空間のセンシングがより稠密に行われることで、生活環境の情報をコンピュータ上で扱うことが可能となることが予想され、現在新たなアプリケーションの可能性が模索されている¹⁾。

このように実空間のセンシングによって得られたデータを、ネットワークを介して大規模に集約することで新たな価値を生む「実世界集合知」実現のための研究が注目されつつある。筆者らの研究グループでは、これをソーシャルタギングやフォークソノミーになぞらえて「センソノミー (Sensonomy)」と呼んでいる。たとえば各モバイル機器がセンスする WiFi 電波情報を集約すると、WiFi から位置情報を求めるためのインフラが構築可能となる。

従来、「実世界指向インタフェース」の研究は、コンピュータ内の情報を現実世界で直接扱うことを可

能にするアプローチであった。しかし今後数年で、センシングデバイスの高機能化、小型化、低消費電力化から、両者の距離はさらに縮まり渾然一体のものとなり、「現実世界」と「コンピュータ」を分離可能なものとして、その界面を扱うことは非常に困難となるだろう。このように環境自体がセンシング・計算能力を備え、実世界と不可分となり、人間も動物もモノ自体もあらゆるものがセンシング可能になったときのコンピュータと人間のかかわり方は、現在とは非常に異なったものになるのではないだろうか。

かつて、Norbert Wiener が提唱したサイバネティクスは、通信工学と制御工学を融合したフィードバック系の科学としてさまざまな分野に影響を及ぼした。現在、物理環境における実体の監視と制御に計算と通信が緊密に連携するシステムはサイバーフィジカルシステム (Cyber-Physical Systems, CPS) と呼ばれている。ITS やセンサネットワークなどのユビキタスサービスがその一例である。つまり単体のセンサノードとしてではなく、大量のセンサノードが相互通信するネットワークシステム全体が対象となる。この CPS のように人間の身体機能の外延としてのインターネット、もしくは人間を含む地球規模でのサイバネティクス系を視野に入れた、新たなインタラクションの可能性を模索したい。

本稿では、実世界センシングとその大規模知識集

約、ヒューマンインタフェースの観点から、近年の応用例とともに筆者らのグループが取り組んできた WiFi による位置測位システム PlaceEngine, それを基盤としたライフログプラットフォーム LifeTag, 環境センシングについての取り組みを紹介する。

集団的知性 (Collective Intelligence)

実空間のセンシングによって得られた大量のデータを、ネットワークを通じて大規模に集約し知識を創出することを考える上で重要な概念は、この 10 年で Web を中心に爆発的に広まった「集合知」である。Wikipedia, Google PageRank, ソーシャルブックマークなどに代表されるサービスでこの発想が取り入れられ、成功を収めている。なかでも、本稿では Pierre Levy の著書²⁾によって広く知られることになった「集団的知性」という言葉を使用する。これは、個々の持つ断片的な知識の大規模な集積によって生まれる知性のことをいう。

代表的な例としては、多くの人の記事投稿によって百科辞典を作成する試みである Wikipedia や、利用者の手によって著作権フリーの地図を作成する OpenStreetMap などが挙げられる。

なかでも、多くの人々の少しの貢献を統合することで、結果として大きな価値を生み出すための雇用形態は、群集 (crowd) に対する業務委託 (sourcing) という意味で、クラウドソーシングと総称されている³⁾。

Amazon Mechanical Turk^{☆1} は、単純作業ではあるがプログラムによっては効率的に処理することのできない作業を、人手によって代行するサービスである。利用者は Web ブラウザを通して労働の依頼と受託を行うことができる。特徴的なのは、その労働単位が非常に細かいことである。数回のクリックで達成できる 1 件の労働対価として、数セントの報酬を得ることができる。このサービスは、2007 年に海上で遭難した計算機科学者 Jim Gray を巨大な衛星画像から探索することに利用されたことで、一躍有名になった。

2009 年に Google に買収された reCAPTCHA^{☆2}

は、Web のログインフォーム認証などに利用される、ゆがんだ文字を利用したスパムボット排除技術である。提示する 2 単語のうち 1 つは既知の問題とすることで、正解を入力されたら、もう一方の情報も正確である確率が高いことを利用している。利用者側からすると、無意識的に利用している認証方法の 1 つでしかないが、サービス提供者からすると、多数の人間からの入力情報を利用して、コンピュータでは正確に処理できない文字認識問題を解いているといえる。実際にこの入力情報は OCR エンジンの学習データとして活用されている。

このように、個々人の少しの貢献が全体として大きな価値を生み出すことを可能にしたのは、携帯電話などを通じたモバイルネットワーク環境の劇的な普及に伴ってネットワーク利用人口が増え、情報の集約コストが限りなく低下していることが挙げられる。しかしその一方で、インフラ面の整備だけでなく、サービス提供者と利用者の双方にとって有益な価値を生み出すことができなければ大規模なデータ集約は機能しない。

集合知センシング応用例

集合知センシングの基礎となる大規模情報集約基盤として、最初に注目されたのは SETI@Home^{☆3} などに代表される分散科学技術計算プラットフォームであった。これは Berkeley Space Sciences Laboratory を中心として立ち上げられた、分散処理によって電波信号の解析と探索を行うプロジェクトである。派生プロジェクトとしてタンパク質の構造解析を行う Folding@Home など 50 を超えるプラットフォームが利用されている。QCN (Quake-Catcher Network Seismic Monitoring) はそのようなプロジェクトの 1 つであるが、他のプロジェクトとは決定的に異なる特徴を備えている。QCN が収集する情報はノート PC のハードディスク保護用に

☆1 <https://www.mturk.com/mturk/>

☆2 <http://recaptcha.net/>

☆3 <http://setiathome.berkeley.edu/>



図-1 QCN 動作画面例 (<http://qcn.stanford.edu/> より引用)

内蔵されている加速度センサの値である。PC の設置場所とこの情報を併せて集約することで、地震の震源地特定や震度の解析に利用されている(図-1)。単に計算負荷の分散だけでなく、大量のセンサが分散して配置されることでまったく異なる新たな価値が創出されている一例だと言える。

WIDE プロジェクトが行ったタクシーを利用した気象情報のセンシングは集合知センシングの先駆的な例である。都市部を走行するタクシーのワイパー部分に動作検知センサを取り付けることで、その動作状態とタクシーの位置情報を利用したリアルタイムの降水状況モニタリングを実現している。

ほかにも自動車をはじめとした移動体によるセンシングプラットフォームの研究は近年注目を集めている。MIT を中心に取り組みされている cartel^{☆4} では大量の利用者の位置情報を利用したソーシャルカーナビが実現されている。

iPhone アプリとしても提供されているソーシャルカーナビ waze^{☆5} は自動車走行中にアプリケーションを起動しておくことで、多数のユーザから送信されるリアルタイムの位置情報を利用した渋滞情報の提供や、ナビゲーションに活用されている。

また、ホンダ インターナビ^{☆6} やパイオニア スマートループ^{☆7} などに代表されるカーナビに組み込まれたセンシングネットワークを利用した事例では、走行状態から詳細な燃費の算出、エコロジー度のユーザーランキングの生成などが実現されている。

MIT Senseable City Lab の Copenhagen Wheel プロジェクト^{☆8} では、自転車のホイールに内蔵された環境センサ(図-2)を利用した市街地の空気汚染モニタリングに取り組んでいる。

Intel と CMU Living Environments Lab^{☆9} が共同で研究している Street sweepers では、都市部を走行するゴミ収集車に載せた大気汚染センサを利用した環境モニタリングを行っている。

Sony CSL Paris の NoiseTube^{☆10} は、移動する人間が所持するマイクと位置情報を統合し、都市のノイズを可視化する試みがなされている。

一般家庭の消費電力量を詳細にセンシングし、発

☆4 <http://cartel.csail.mit.edu/doku.php>

☆5 <http://world.waze.com/>

☆6 <http://www.honda.co.jp/internavi/>

☆7 <https://www.smartloop.jp/smartloop/index.html>

☆8 <http://senseable.mit.edu/copenhagenwheel/>

☆9 <http://www.living-environments.net/>

☆10 <http://noisetube.net/>

特集 実世界インタフェースの新たな展開



図-2 Copenhagen Wheel ((c) MIT Senseable City Lab)



図-3 Google PowerMeter 対応のスマートメータ (Yello Strom)

電計画等に活用しようとする動きもある。Google PowerMeter^{☆11}は図-3に示すように家庭の電力メータに無線センサを取り付けることで、電力使用量の変化を調べ、ネットワーク経由で大規模に集約することで、電力の発電量を決定する際の補助情報としようとするものである。同時に詳細な電力使用量を可視化することによって、利用者の節電意識を向上しようとする試みも行われている。

以上のような移動体によるセンシングや、草の根型・ボトムアップ型のセンシングデータ集約機構は、People Centric Sensing または Participatory Sensing と呼ばれ、現在活発な研究トピックの1つとなっている。

このようにして多数のセンサノードから集められたセンシング情報の統合基盤としては、MicrosoftのSense Web^{☆12}や図-4に示すUsman HaqueらのPachube^{☆13}というWebサービスが注目を集めている。

学術的な取り組みとしては、センサネット技術を

利用した環境センシングのMIT CENSAM (Center for Environmental Sensing and Modeling) プロジェクト^{☆14}が、都市レベルでの土壌や水質などの自然環境のモニタリングとモデリングに関して研究を行っている。

電気情報通信学会第二種研究会のヒューマンプロローブ (HPB) 研究会^{☆15}では、人間がセンサを持ち歩くセンサプロローブとなり、都市部のきめの細かいセンシングを行うという、個人によるセンシングとその統合に関して議論が行われている。

Human Activity Sensing Consortium^{☆16}では、スマートフォンなどを利用したデータ収集環境を利用した人間行動理解のための大規模データベース構

☆11 <http://www.google.com/powermeter/about/>

☆12 <http://research.microsoft.com/en-us/projects/senseweb/>

☆13 <http://www.pachube.com/>

☆14 <http://censam.mit.edu/>

☆15 <http://hpb.osoite.jp/>

☆16 <http://hasc.jp/>



図-4 Pachube
(<http://www.pachube.com/> より引用)

築について活動を行っている。

このように大気汚染，騒音，渋滞情報，生体情報，無線電波，電力，画像のセンシングを利用したライフログ応用などがアプリケーションとして展開されている。

センソノミー：大規模センシングによる実世界集合知の実現

センソノミー (Sensonomy) とはセンサ (Sensor) とフォークソノミー (Folksonomy) からなる造語であり，センシング情報を利用した，実世界指向の集団的知性形成を指している。

筆者らを含むグループが開発し，クウジット (株) がサービス提供する PlaceEngine は，ユーザから送られてくる WiFi 電測情報をもとにした位置推定ソフトウェア基盤である⁴⁾。従来，電子機器の位置認識には GPS が用いられてきたが，屋内での使用が不可能・計測開始までに時間がかかる，などの問題があった。無線 LAN の普及を背景に，WiFi アク

セスポイントを利用した電測情報によって位置認識を行う方式の実用性が増してきている。WiFi 方式位置認識では，不特定の所有者が設置する膨大な個数のアクセスポイントの位置そのものを効率よく推定し，さらに，漸次的に発生するアクセスポイントの追加・削除・位置移動などに対処する必要がある。PlaceEngine ではインターネット上での情報集約の考え方として注目される集合知の発想をセンシングに適用し，エンドユーザによる検索要求などからデータベース更新のための情報を抽出する機構を提案した(図-5)。

また，このようにして得られた時系列の位置履歴はライフログの最も基本的なデータである。従来，位置測位には GPS が用いられていたが，GPS は屋内や地下での利用が困難で，都市部などビルが密集している地域でも精度が落ちるため，ライフログのように日常生活の位置履歴を正確に記録する目的には必ずしも適さない。図-6 に示す LifeTag⁵⁾ は WiFi 位置認識による位置履歴を記録するデバイスである。WiFi モジュール，マイクロプロセッサ，フラッシュ



図-5 PlaceEngine による Wi-Fi アクセスポイントの位置推定結果(東京都心部)

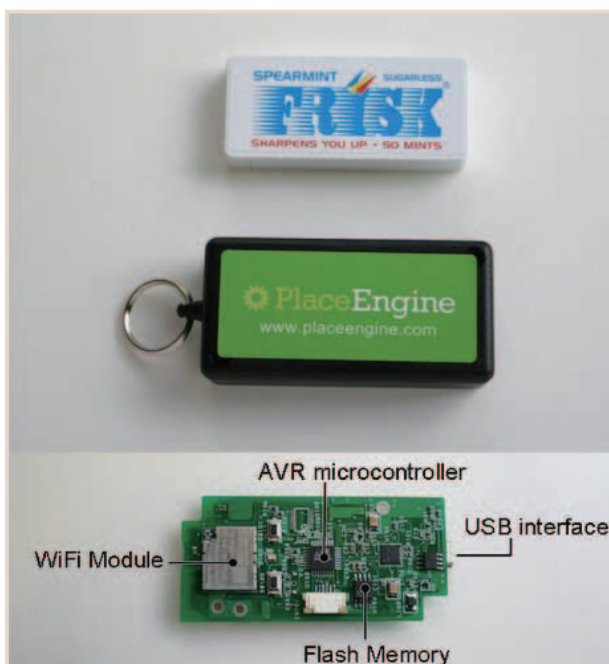


図-6 LifeTag デバイス外観

メモリ、USB インタフェース、バッテリーのみからなるシンプルなハードウェアで、3分に1回位置を記録した場合、1回の充電で約1週間の継続使用が可能である。記録された情報は行動パターン解析、行動予測など種々のライフログ応用の基礎データとして用いることができる。

位置履歴の時系列情報が常に得られると、ほかのさまざまな時系列センサ情報について、そのセンシング情報の取得位置が利用できる。Parasitic Logger⁶⁾ではこの仕組みを利用して、移動する人間に寄生するセンサノードを提案している。このシステムでは、都市を移動する人間が所持する携帯電話や、PCなどに追加して装着可能な環境センサモジュール(図-7)を作成し、WiFi電波から得られた位置情報とともにセンサデータ(温度、湿度、CO₂濃度)を逐次保存することを可能にした。このことで、位置情報付きの大気汚染マップなどが安価に実現できることを示した。実世界センシングシステムの実環境での運用を考えた際に、従来手法では設置場所や電源管理の問題が大きく、必ずしも固定設置のノードが利用可能であるとは言いにくい。移動体によるセンシングネットワークの構築は今後重要になると考えられる。

今後の展望

集合知センシングの研究が、実験段階から抜けだし規模を拡大するためには、センサの実環境への設置や電源供給の問題がある。後者を解決する手段と

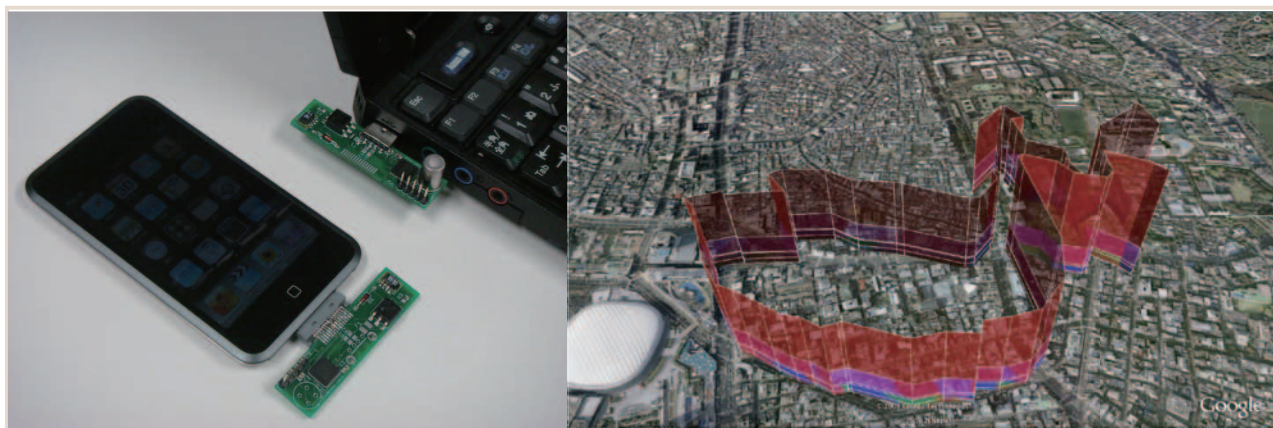


図-7 Parasitic Logger センサモジュール(左) WiFi から推定された位置情報との統合(右)

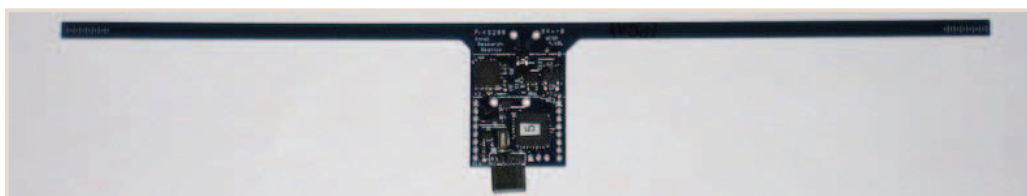


図-8 Intel WISP センサモジュール

してエネルギーハーベスティングや超低消費電力センサノードなどの利用が挙げられる。一例として図-8に示すのは Intel Research が提案する無電源センサノード WISP である。UHF 帯の RFID タグを模した構造をしており、標準規格の RFID リーダを利用してセンサ情報を読み出すことが可能である。数 cm 角のセンサノードを貼り付けることで、対象物の ID のほかに加速度、温度等が取得可能となる。このような超小型の無電源センサノードの研究は実世界センシングの大規模な展開にとって非常に重要な要素技術となると考えられる。

また今後、情報伝達のためのワイヤレスネットワーク技術や地理情報を扱うための GIS 技術、時系列データの蓄積技術であるストリームデータベースなどに関する研究成果を統合して利用することが求められると考えられる。

本稿で紹介した集合知センシングに関連する Web ページや文献等については、筆者らの研究室 Web ページにリソースリスト^{☆17}を用意してあるので、ぜひ参照されたい。

参考文献

- 1) Cuff, D., Hansen, M. and Kang, J. : Urban Sensing : Out of the Woods, Communications of the ACM, Vol.51, No.3 (2008).
- 2) Levy, P. : Collective Intelligence : Mankind's Emerging World in Cyberspace, Basic Books (1999).
- 3) ジェフハウ：クラウドソーシングーみんなのパワーが世界を動かす、ハヤカワ新書 juice (2009).
- 4) 暦本純一, 味八木崇：When-becomes-Where : WiFi セルフロギングによる継続的位置履歴取得とその応用, インタラクシオン 2007, pp.223-230 (2007).
- 5) Rekimoto, J., Miyaki, T. and Ishizawa, T. : LifeTag : WiFi-based Continuous Location Logging for Life Pattern Analysis, 3rd International Symposium on Location and Context Awareness (LOCA2007) , pp.35-49 (2007).
- 6) Miyaki, T. and Rekimoto, J. : Sensoromy : Envisioning Folksonomic UrbanSensing, Ubicomp 2008 Workshop Programs, pp.187-190 (2008).

(平成 22 年 5 月 11 日受付)

味八木崇 (正会員) miyaki@acm.org

2008 年東京大学大学院新領域創成科学研究科博士課程修了。同年同大学院情報学環特任助教。ヒューマンコンピュータインタラクション、実世界センシング、メディア処理に関する研究に従事。ACM, IEEE, ヒューマンインタフェース学会各会員。博士 (科学)。

暦本純一 (正会員) rekimoto@acm.org

1986 年東京工業大学情報科学科修士課程修了。1994 年より (株) ソニーコンピュータサイエンス研究所に勤務。2007 年より東京大学大学院情報学環教授。理学博士。ヒューマンコンピュータインタラクション、特に実世界指向インタフェース、拡張現実感等に興味を持つ。1990 年本会 30 周年記念論文賞, 1998 年 MMCA マルチメディアグランプリ技術賞, 1999 年本会山下記念研究賞, 2003 年日本文化デザイン賞, 2005 年 iF Communication Design Award, 2007 年 ACM SIGCHI Academy, 2008 年日経 BP 技術賞等を受賞。

☆17 <http://lab.rekimoto.org/projects/sensoromy-resourcealist/>