

通信システムの概観

伊藤 日出男

産業技術総合研究所サイバーアシスト研究センター
hideo.itoh@aist.go.jp

西村 拓一

産業技術総合研究所サイバーアシスト研究センター
takuichi.nishimura@aist.go.jp

森 彰

産業技術総合研究所サイバーアシスト研究センター
amori@carc.aist.go.jp

■知的都市基盤と通信システム

人間中心の知的都市基盤を実現するためには、情報環境が人間の位置や方向をはじめとする人間の状況を把握し、人間と必要なインタラクションを行い、適切な情報サービスを提供する必要がある。人間と情報環境の間のインタラクションの実現には、音声・画像・データ等の情報を相互接続する通信システムが有線無線を問わず必要になる。通信システムには、光ファイバなどの有線回線やマイクロ波回線のように物理的な接続先が決まっている固定通信システムと、固定されていない移動体との空間通信システムに大別される。都市空間において人間を支援する情報インフラを考えた場合、その通信媒体として各種の無線通信が必須であることは言うまでもない。利用者が通信ケーブルを接続しなければ情報支援を受けられないのでは時機をとらえた支援など不可能であるし、あらかじめ配線されたとおりにしか通信機器を接続できないのであれば、都市環境に情報インフラを埋め込むことは非常に困難になるからである。本稿では特に、電波と光を利用した無線通信システム、そして、無電源で動作する無線通信端末について紹介する。なお本稿では、電波を用いた無線通信を単に無線通信、光を用いた通信を空間光通信と称することとする。

■電波を用いた通信システム

◎代表的な無線通信技術

現在広く利用されている無線通信技術は携帯電話とPHSを除けば、IEEE 802.11bあるいは無線LANと呼ばれるものである。この通信では、電波免許のいらぬ2.4GHz帯域を用いて、最大伝送速度11Mbps、最大伝送距離約100mでのTCP/IP通信が可能である。問題点としては、2.4GHz帯を共有する電子レンジなどの機器との干渉による通信速度低下、盗聴によるセキュリティ懸念、そして消費電力の問題が挙げられる。干渉の問題については、5GHz帯を用いて最大54Mbpsの速度で通信可能な802.11a規格の普及により解消することが期待されている。セキュリティの問題に関しては、従来からWEP (Wired Equivalent Privacy) と呼ばれる暗号方式をオプションとして用いることで対処されてきたが、この暗号方式に重大な欠陥があることが発見されて以来、ベンダごとに強化された暗号方式を採用するなど互換性に関して混乱があるのが現状である。消費電力の問題に関しては、カバーする距離が大きいため劇的な省電力化は困難であることが問題となっている。

この消費電力の点で有利なのがBluetoothである。10m以内の近距離通信に焦点を絞ることで大幅な省電力化が達成されている。無線LANのようなネットワーク

構成を念頭においたものではないが、1台のマスタに最大7台までのスレーブ接続ができ、近接デバイス間のアドホックネットワークを形成することが可能である。最大伝送速度は1Mbps（実際には数百Kbps）である。無線LANと同じ2.4GHz帯を用いるものの、周波数ホッピングと呼ばれるように、定期的に利用する周波数を切り替えていく（1秒間に1,600回）ことで干渉の影響を軽減するとともに、盗聴を困難にすることが意図されている。Bluetooth規格ではデバイスの相互認証方式、通信暗号方式からアプリケーションプロトコル利用に関する規約（プロファイルと呼ばれる）などの仕様が規定されているものの、バージョン間での互換性がないなど相互接続性が最大の問題点となっている。

無線LANやBluetoothの他にも、IEEEの802.11系列でQoS (Quality of Service) 制御を付加したものなどさまざまな拡張が提案されており、その競合規格も含めて多くの技術が存在するが、誌面の制約もありここでは省略する。

◎将来期待される無線通信技術

次に、これからの利用が提案されている無線通信技術をいくつか紹介する。まず最近注目を浴びたものにUWB (Ultra Wide Band) と呼ばれる技術がある。1GHzを超える非常に広い帯域幅に低出力の信号を拡散して（スペクトル拡散と呼ばれる）無線通信を行うものであり、Bluetoothを凌ぐ低消費電力に10mの伝送距離で数百Mbpsの伝送速度など、大きな潜在力を持っている。特に、その信号をレーダとして利用することで、障害物を通して数センチの誤差で位置を計測できることから大きな注目を集めている。しかしながら、広い帯域幅を使用することから既存の無線技術との住み分けを行うことが困難であり、世界で唯一UWBが解禁されている米国においてもその出力と周波数（軍用を避けるなど）に制限が設けられる結果となっている。

計算機を接続するネットワークのための無線通信ではなく、小型センサなどの組込み機器を接続するネットワークを対象とした無線通信技術についても数多くの提案がなされている。こうした組込みネットワークでは高度な汎用プロトコルは必要とされず、センサデータを送受信することに主眼が置かれることから、Bluetoothなどと比べて一層の小型化、省電力化が可能である。なかでもUC BerkeleyおけるSmart Dustプロジェクトから発展したセンサネットワークのための無線通信システムMICA Motes¹⁾と、MITのロボット研究者たちによって開発されたi-Bean²⁾は、自律的なアドホックネットワークの形成をサポートする通信ソフトウェ

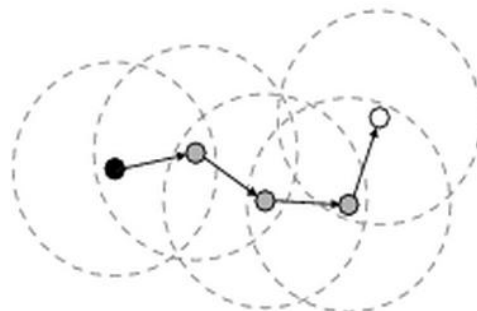


図-1 マルチホップ通信

アが整備されている点で注目に値する。前者が916MHz帯を利用し、最大伝送距離60m、最大伝送速度50Kbpsであるのに対し、後者は300～900MHz帯を利用し、最大伝送距離30m、最大伝送速115Kbpsとなっている。いずれも送信時で数ミリから10ミリアンペア程度の超省電力が特長である。

◎ミドルウェア機能

人間中心の情報支援を都市環境において可能にするには、無線通信に加えてモバイルユーザ間の通信や情報インフラの維持・管理のための自己組織ネットワーク形成を支援するミドルウェアが必要である。具体的には、最大伝送距離を越えて情報を「バケツリレー式」に伝達するマルチホップ通信機能（図-1、円が最大伝送距離）や、位置や残存バッテリー量などの端末情報を勘案した動的なルーティング機能、アドホックネットワークにおけるアドレス解決機能、などが最低限必要となる。このような機能は通信ソフトウェアには含まれず別途開発が必要であるが、広域システムを実現するにあたっては相互運用性が重要であるため、特定の無線技術に依存しないかたちでの実装を行う必要がある。

■光を用いた通信システム

光を用いた無線通信システムは電波を用いた通信システムに比較して、(1) 周波数が高いために桁違いに広帯域な通信が可能であること、(2) ビーム光を用いることによりセキュリティやプライバシーを保持した通信を実現しやすいこと、(3) 環境が端末の位置を高精度に把握しやすいこと、などという特長を有している。一方、隠蔽や減衰に対する通信回線品質の維持が課題になる。本稿では、知的都市基盤を構築するためのそれぞれの光通信システムについて述べる。

◎固定光通信システム

固定光通信システムは、物理的な接続先が固定されている通信システムで、光ファイバを利用した有線の光通信と、空間光通信に分けられる。レーザ光を利用してデータ通信を行う空間光通信は、これまで道路を挟んだ建物の間を接続するような、有線光回線の構築に問題があるものの広帯域が必要でかつ互に見通すことができる1:1接続を実現する応用として利用されてきた。たとえば、浜松ホトニクス社からは、最大1.25Gbpsの通信速度、最大伝送距離4kmでATM/FDDI/Ethernet(100Mbps)等に対応する光無線ネットワークDO-L1000³⁾が市販されている。固定空間光通信は近年、広帯域固定無線通信におけるラスト1マイルアクセス技術としても注目されている。たとえば、日本ビクターでは赤外線を用いて100Mbpsの半固定の光無線LANが市販されている⁴⁾。これは100Base-TXに光無線ハブを接続し、このハブから複数の光無線ノードが接続されるポイントtoマルチポイント型の無線LANシステムである。光無線ノードは寸法が82mm×95mm×95mm、重量が220gで伝送距離は5mに渡って100Mbpsの通信速度を実現している。従来の無線LANあるいは光無線LANでは無指向性の光信号を利用するものが多かったが、この製品は指向角4度のビーム光を使用し、ノードを移動しても5秒ほどで自動的に光軸を合わせて再接続することができる特長を有している。

◎移動体空間光通信システム

コンピュータの動作速度の向上とあいまって、画像等の大容量データを高速に伝送するなど、移動体通信のための空間光通信への需要も増大しつつある。空間光通信の屋外への応用ではたとえば、複数の成層圏プラットフォーム⁵⁾をギガビット級の空間光通信回線により結び、交換機能を搭載することにより成層圏で基幹ネットワークを構成し、ユーザとの間のアクセス回線には電波を用いるネットワークが将来の利用形態として考えられている。成層圏では雲も雨もないため、空間光通信については、何万kmもの距離の衛星間光通信等の実績を考えれば大きな技術的な問題はないと推定している。

室内のような近距離閉空間での移動体との通信応用を考える場合、光を情報伝送媒体としてだけでなく移動体を測位する媒体として利用できる。レーザビームを用いた測位通信システムとして、室内レーザレーダ(i-lidar:アイライダ)通信システムが提案されている⁶⁾。

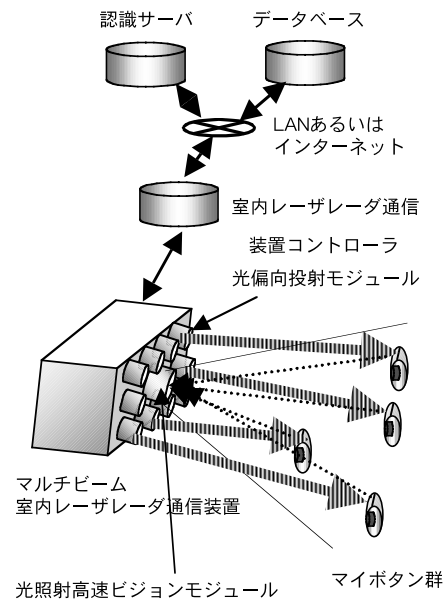


図-2 ビジョンチップを用いた室内レーザレーダ通信装置システム

図-2にビジョンチップを用いたマルチビーム室内レーザレーダ測位通信システムの構成を示す。この測位通信システムの特長は、携帯情報端末であるマイボタンは、液晶素子を用いた反射率変調でデータ送信を行うことでデータ送信に伴う消費電力を削減し、また、画素ごとに並列演算が可能なビジョンチップを利用して、複数のマイボタンから送信されるデータを並列的に取り込むことである。通信には、環境下の人体への安全を考慮して発振波長1.4 μ m以上のアイセーフレーザを使用している。

■状況依存情報支援のための無電源小型情報端末

ユーザや環境の状況に応じた適切な情報支援を実現するためには、携帯端末の位置や方向に基づいた通信技術が重要であろう。本章では、環境やユーザが提供するエネルギーのみで、環境側の装置およびユーザとの情報の送受信を実現する小型情報端末 (Compact Battery-less Information Terminal: CoBIT) を用いた情報支援システム⁷⁾を紹介する。

◎CoBITの仕組み

まず、CoBITにおける音の無電源ダウンロード方法について述べる。図-3のように環境側の装置からは、音の波形に従って強度変調した光を発射する。端末では、

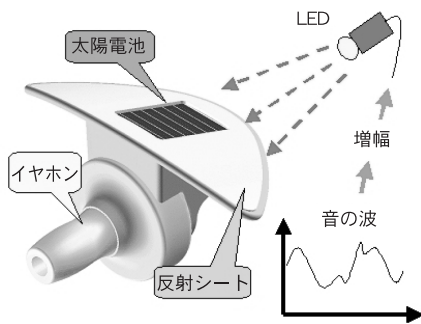


図3 CoBITの仕組み

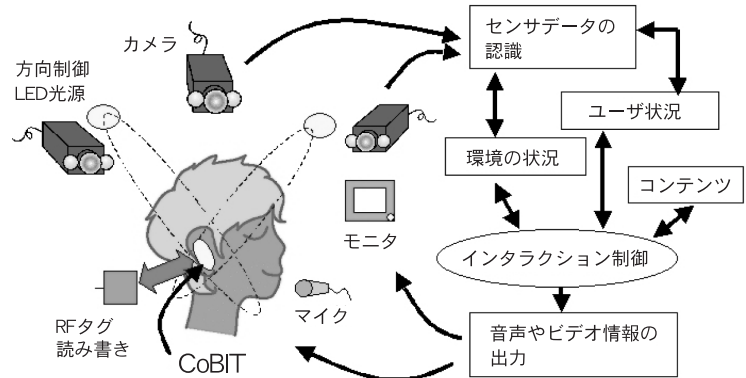


図4 CoBITを用いた状況依存情報支援

太陽電池などの光電変換素子により電力を取り出す。この電力は、音の波形を元に変調されているため、受信の受動回路を通してイヤホンへ導けば音を発生し、ユーザが聞くことができる。ユーザへの情報提示は、振動子、LED、電気刺激などとすることもできる。また、変調周波数や光源の波長・偏光を変化させることで、多チャンネルの情報提供が可能である。

次に、アップロード方法について述べる。端末の表面には、コーナキューブのように光源方向に光を反射するシートを貼り付ける。これによって、環境装置から光を照射するとCoBITから強い光が帰ってくる。この光路上に透過率を変化させる物体を置けば、情報のアップロードが可能である。たとえば、手で遮れば、遮った回数やパターンで数種の合図を送ることができる。また、CoBITの動きパターンにより合図を送ることも可能である。

◎環境システム

赤外カットフィルタを撮像素子上に設置した赤外光投光カメラを用いれば、CoBITのみが光って見えるため3次元位置やおよその方向を容易に推定することができる。これにより、CoBITの位置・方向の履歴およびユーザからの合図を基に適切な情報を提供できる。また、無電源のRFタグをCoBITに設置することで、ユーザの特性に応じた情報支援も可能である。図-4のように、環境システムは各種センサ情報を用いて、CoBITだけでなく環境状況をも推定し、これに基づいてユーザに適した情報をWEBや特定のデータベースなどのコンテンツから収集し、ユーザの位置と向きに応じた情報を提示する。

■知的都市基盤研究の呼びかけ

この連載では、我々の研究を中心としながらも、関連する技術や同じ方向性を持ったプロジェクトのサーベイを行った。人間中心の情報処理の観点はある程度浮き彫りにできたと考えている。一方、「知的都市基盤」の名を冠したにもかかわらず、話題の大部分が室内レベルにとどまり、都市基盤の設計への言及が少なかったことを反省している。これはとりもなおさず都市基盤規模での情報処理の研究がまだ少ないことの反映でもある。

人間中心の情報処理という概念は情報処理インフラ（通信インフラだけではない！）を視野に入れることで初めて完結する。しかしながら、この課題は「言うは易く、行うは難し」の典型であると考えている。

今後、情報処理技術研究者のみならず、建築・土木・機械など物理的実体を主に対象とする研究分野や、さらには社会・心理など都市における市民生活を対象と考える研究分野との連携を通じて、設計を行う必要がある。その意味で、今回の連載はこれらの研究方法に関する呼びかけでもある。

参考文献

- 1) http://www.xbow.com/Products/Wireless_Sensor_Networks.htm
- 2) <http://www.millennial.net/>
- 3) <http://www.hpj.co.jp/jpn/topics/linertop.htm>
- 4) <http://www.jvc-victor.co.jp/pro/lan/>
- 5) 長谷良裕: 成層圏プラットフォームを用いた無線通信システム, 信学技報, RCS98-182 (Jan. 1999).
- 6) 伊藤日出男, 中村嘉志, 西村拓一, 山本吉伸, 中島秀之: 非対称通信速度の省電力情報端末のための並列データ通信方式, 情報処理学会知的都市基盤研究会資料, Vol.ICII-3, pp.93-99 (2002).
- 7) 西村拓一, 伊藤日出男, 山本吉伸, 中島秀之: 無電源小型通信端末を用いた位置に基づく状況支援システム, 情報処理学会知的都市基盤研究会資料, Vol.ICII-2, pp.1-6 (2002).

(平成14年6月19日受付)