

ユーザセントリックなフレキシブルワイヤレスシステム技術

NTT未来ねっと研究所ではさまざまな無線利用が進むホームネットワークにおいて、ユーザがワイヤレスシステムを意識せずに利用可能で、ネットワーク事業者にとっても保守・運用しやすいワイヤレスホームネットワークの実現を目指した研究開発に取り組んでいます。本稿では、フレキシブルに対応するワイヤレスシステム技術の概要と利用イメージ、およびシステムを実現するためのキー技術について紹介します。

よしの しゅういち か ほ たかな
 吉野 修一 /加保 貴奈
 しば ひろゆき としなが ひでき
 芝 宏礼 /俊長 秀紀
 やまだ たかゆき こばやし まもる
 山田 貴之 /小林 守
 しらと ゆうし
 白戸 裕史

NTT未来ねっと研究所

将来ホームネットワーク像

最近、2.4 GHzや5 GHz帯を利用した無線LANの高速化、M2M (Machine to Machine) 通信への適用を考慮した920 MHz帯の周波数利用の見直し、300 MHz帯や400 MHz帯を利用したホームセキュリティやホームオートメーションの広がりなど、それぞれの周波数帯の特徴を活かした多様なワイヤレスシステムが普及してきています。これらをホームネットワークで利用するためには、ユーザ自身が、ネットワークや無線通信に関するスキルを習得し、以下の作業を行う必要があります。

- ① 利用用途に応じた無線方式を選定
- ② 無線方式をサポートしたアクセスポイントの用意と各種設定を行い、ネットワークを構築
- ③ 利用時の近隣との電波干渉など、目に見えない電波利用の不具合に対応

将来のホームネットワークでは、ICTを利用してスマートハウス、スマートコミュニティを実現し、家庭や社会活動を効率化することが期待されています。その際、誰もが簡単に、当たり前のこととしてネットワークを使える必要

があります。そこで私たちは、①～③の作業が不要になるように、支援可能なホームネットワーク実現に向け、フレキシブルワイヤレスシステム技術の研究開発に取り組んでいます。

実現を目指す将来のワイヤレスホームネットワーク像を図1に示します。低速なユビキタスデータから高速な無線LANまであらゆる無線方式を1つのアクセスポイントで収容し、ユーザの無線方式選定と方式ごとのホームでのワイヤレスネットワーク構築を不要と

します。さらに、遠隔で電波利用分析を行い、無線利用に必要な作業を遠隔から支援することにより、無線利用を意識することなく、端末やアプリケーションを利用できるユーザセントリック・ワイヤレスホームネットワークを実現します。

フレキシブルワイヤレスシステム技術の概要

ワイヤレスホームネットワークにおいて、ユーザが無線方式を意識すること

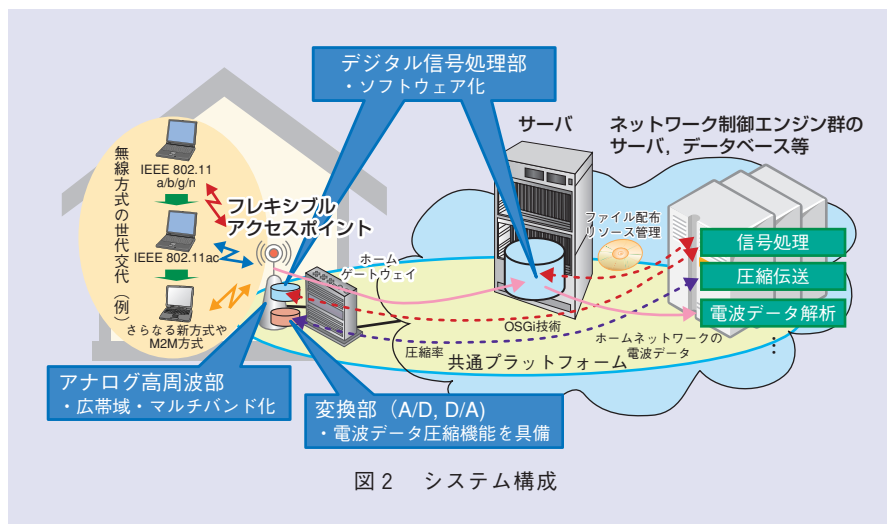


なく接続し、サービスを利用するためには、多種多様な無線方式を収容する共通のプラットフォームの構築が必要となります。

フレキシブルワイヤレスシステム技術を用いたシステム構成を図2に示します。システムは、ホームネットワークに設置されるフレキシブルアクセスポイントと、ネットワークを介してアクセスポイントと接続し、無線信号を処理するサーバとこれらを制御するエンジン群で構成されます。従来の無線機は、アナログ高周波部、変換部（A/D、D/A）、ハードウェア処理によるデジタル信号処理部を単一装置として構成しますが、フレキシブルワイヤレスシステムは、フレキシブルアクセスポイントにアナログ高周波部と変換部を配備し、デジタル信号処理部はフレキシブルアクセスポイントとネットワーク上のサーバにそれぞれ配備され、連携して信号処理を行います（表）。アナログ高周波部を広帯域化・マルチバンド化することで、複数周波数帯の同時利用を実現し、利用する周波数帯にかかわらず、単一のアクセスポイントで無線端末を収容可能とします。

また、無線方式ごとに異なる処理が必要なデジタル信号処理部は、アクセスポイントとサーバが連携したソフトウェアで処理し、ソフトウェアの入れ替えのみで多様な無線方式への対応や無線方式のバージョンアップへの追従を可能にします。このソフトウェアの入れ替えは、OSGi技術^{*1}を活用することで、ホームゲートウェイの機能やサービスとの連携を図ることができます。

さらに、アクセスポイントの電波データをサーバへ伝送することで、方式の世代交代や複数方式利用により信号



処理負荷が高まった場合の信号処理リソースの負荷分散と、遠隔での電波環境の解析を可能とします。ただし、電波データのデータ量は膨大となるため、変換部に電波データの圧縮機能を具備し、光回線を利用したサーバへの電波データの伝送を実現します。電波データを集約することで、同一システム間や異システム間の干渉などの目に見えない電波利用の問題を、近隣の電波データを含めて、より詳細に分析します。このように分散配備した各機能部をネットワーク制御エンジン群が制御し、ユーザーセントリックなワイヤレスホームネットワークを実現します。

実現に向けたキー技術

フレキシブルワイヤレスシステムを実現するキー技術として、アクセスポイントで、6 GHzまでの非常に広い範囲で利用されている周波数帯を自由に利用するために必要な広帯域・マルチバンド無線回路技術と、ネットワークで信号処理を実現するために必要な電波データ圧縮伝送技術について紹介します。

表 アナログ高周波部性能目標

項目	目標値
対応周波数範囲	0.3～6 GHz
受信電力範囲	-120～10 dBm
送信電力範囲	-41～13 dBm
受信帯域別利得可変範囲	90 dB
送信高調波抑圧	-80 dBc

■広帯域・マルチバンド無線回路技術

無線LANの2バンド（2.4 GHzと5 GHz）対応や携帯電話の3バンド対応などはすでに端末でも利用されていますが、6 GHzまでの広い範囲で利用されている周波数帯を1つの装置で送受信するためには、アナログ高周波部のさらなる広帯域化・マルチバンド化が必要であり、要素技術である可変バンドパスフィルタ^{*2}やマルチバンド増幅器^{*3}などの研究開発が行われて

*1 OSGi技術：Javaベースのモジュール化を実現するためのフレームワークの規格。バンドルと呼ばれるソフトウェア部品を配備し、組み合わせ実行させることができます。OSGiアライアンスによって標準化。

*2 可変バンドパスフィルタ：無線信号の通過帯域（中心周波数、帯域幅）が変更可能なバンドパスフィルタ。

います^{(1)~(3)}。

広帯域化やマルチバンド化の代表的なアナログ高周波部の構成として次の2つが考えられます。①各周波数帯に対応した回路を並べる構成⁽⁴⁾と、②広帯域なアンテナや無線回路を用い無線信号をそのままデジタル化する方法です。①の場合、回路の部品数の増加、無線周波数変更に対する汎用性が少ないこと、また、②の場合、高性能なA/D、D/A変換器^{*4}やデジタル信号処理装置が必要になり装置の低廉化が難しいといった課題があります。

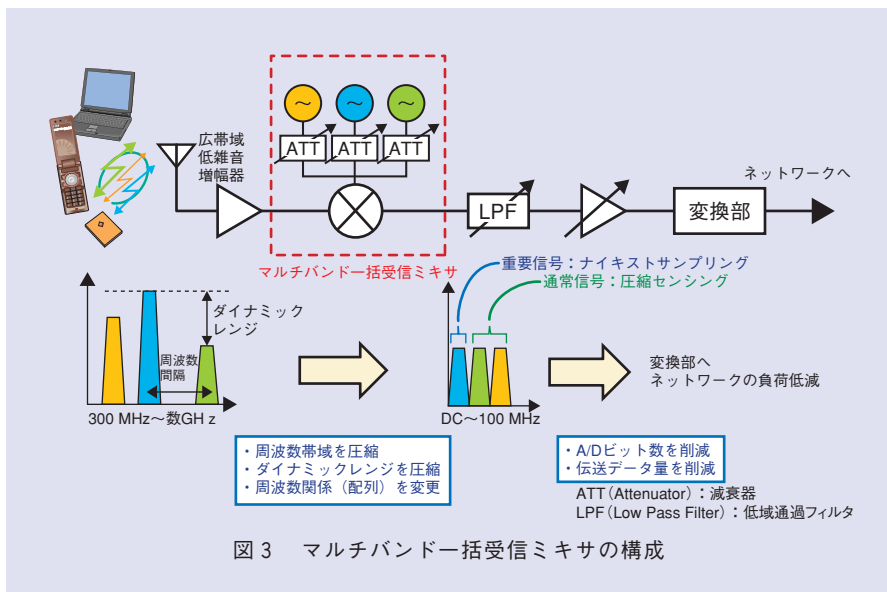
NTT未来ねっと研究所では、上記2つの課題を解決し、広帯域・マルチバンドなアクセスポイントを実現するために、広帯域低雑音増幅器や、1信号の周波数変換ごとに1つ必要であった従来のミキサ^{*5}を、局部発振器(LO: Local Oscillator)^{*6}の信号を複数組み合わせ、同時入力することにより、複数信号の同時周波数変換を可能とするマルチバンド一括受信ミキサの研究開発に取り組んでいます⁽⁵⁾。マルチバンド一括受信ミキサの

構成を図3に示します。

複数の無線方式を同時受信する無線回路には、無線方式や端末の場所の違いにより、100 dB程度となる受信レベル差に対応可能な広いダイナミックレンジが必要です。本ミキサでは、複数信号の組み合わせにより生成したLO信号ごとに可変アッテネータ^{*7}を備え、各周波数帯の変換利得を独立に制御し、変換利得の高い線形性を実現します。本ミキサで、広いダイナミックレンジを確保するとともに、周波数帯ごとのレベル差を小さくし、後段のデジタル信号処理に必要なダイナミックレンジを軽減することが可能です。さらに、無線方式の重要度に基づいて各LO信号の周波数を設定することで、次節で述べる電波データ圧縮の適用を考慮した周波数関係を周波数変換により柔軟に変更することができます。本構成により無線回路の部品点数を削減するとともに、任意の無線方式のデジタル信号処理を一括で実施可能な無線回路の実現を目指しています。

■電波データ圧縮伝送技術

アクセスポイントの電波データをネットワークに伝送する場合、広帯域な電波データをデジタル化するとそのデータ量は膨大となり、ネットワークに多大な負荷をかけるといった課題があります。例えば無線LANやBluetoothで利用している2.4 GHzのISM (Industry Science Medical) 帯^{*8}の電波全部(100 MHz幅)を量子化ビット数^{*9}10でナイキストサンプリング^{*10}した場合、2 Gbit/sの伝送速度がネットワークに要求されます(100 MHz×2×10=2 Gbit/s)。そのため、広帯域な電波データを既存の光アクセス回線で伝送するためには圧縮率100分の1~1000分の1といった高圧縮な電波データ圧縮伝送技術が必要となります。NTT未来ねっと研究所では、電波データ内に含まれる無線信号のスパース(疎)性に着目し、圧縮センシング^{*11}技術を用いた電波データ圧縮伝送技術の研究開発に取り組んでいます⁽⁶⁾。圧縮センシング技術の概要を



- *3 マルチバンド増幅器：複数の周波数帯のアナログ信号の増幅を行います。
- *4 A/D、D/A変換器：アナログ（デジタル）信号をデジタル（アナログ）信号に変換する装置。
- *5 ミキサ：周波数を掛け合わせることで、周波数の変換を行います。
- *6 局部発振器：信号変換のための発振器。
- *7 可変アッテネータ：減衰量が変更可能な減衰器。
- *8 ISM帯：産業科学医療用バンド。2.4 GHzのISM帯は2 400 MHzから2 500 MHzまでの100 MHz幅があります。
- *9 量子化ビット数：A/D変換する際に、アナログ信号を何段階かを示す数値。
- *10 ナイキストサンプリング：アナログ信号の情報を失うことなく、デジタル信号に変換するための所望の周波数帯域幅の2倍の周波数で行うサンプリング。
- *11 圧縮センシング：スパース性を持つ信号にランダムサンプリングを用いることで、ナイキストサンプリングより少ないサンプル数で元の信号への復元が可能。

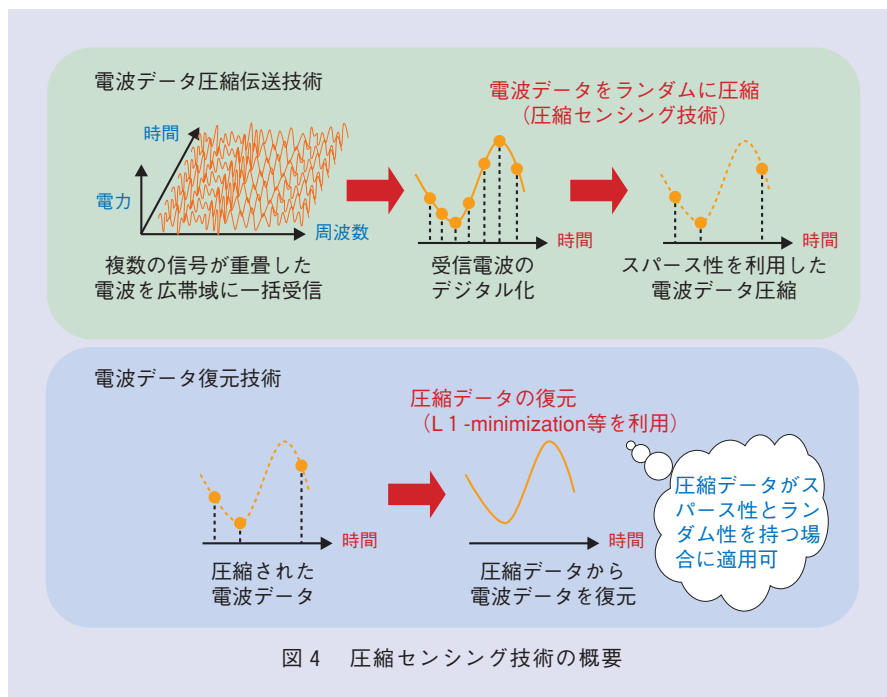


図4に示します。

圧縮センシング技術では、スパースな原情報を拘束条件付のL1-minimization問題を解くことで復元することができます⁽⁷⁾。この技術を電波データの圧縮に応用することで、ナイキストサンプリングより少ないデータ量で信号を復元することを可能としています。さらに、電波データの周波数領域と時間領域のスパース性、量子化ビット数の1ビット化などを組み合わせることで、電波データの圧縮率400分の1における無線信号検出を実現しています。今後は、空間領域におけるスパース性の利用や無線信号の有無に関する既知情報を利用した重みづけ等を組み合わせることで、圧縮率1000分の1の実現に向けた、さらなる圧縮率の向上と信号の復調への適用検討を進めています^{(8)~(10)}。

今後の取り組み

今後もICT利用は進むと予想され、

方式の世代交代や新しい規格の策定・利用周波数帯の見直しを行いながら無線利用も進んでいくと考えられます。このような無線利用の変化に対し、私たちはユーザーが無線システムを意識せずに利用可能で、ネットワーク事業者にとっても保守・運用しやすいワイヤレスホームネットワークの実現を目指し、研究開発を進めていきます。

参考文献

- (1) from NTTドコモ：“携帯端末用無線回路のマルチバンド化,” NTT技術ジャーナル, Vol.24, No.7, pp.48-51, 2012.
- (2) 福田・吉田・岡崎・楢橋：“700MHzから2.5GHzまでの9つの周波数帯に対応する携帯電話用増幅器の開発,” NTT DOCOMOテクニカル・ジャーナル, Vol.18, No.2, pp.80-85, 2010.
- (3) M. Kitsunozuka, K. Kunihiro, and M. Fukaiishi：“Efficient Use of the Spectrum,” IEEE Microwave Mag., Vol.13, No.1, pp.55-63, Jan./Feb. 2012.
- (4) 新製品：“UMTS/HSPA/GSM/GPRS/EDGEマルチモード・マルチバンド対応RFトランシーバLSI,” FIND, Vol.28, No.1, pp.8-9, 2010.
- (5) T. Kaho, Y. Yamaguchi, H. Shiba, K. Akabane, K. Uehara, and K. Araki：“A Simultaneous Receiving Multi-band Mixer with Independent Gain Control,” in Proc. APMC2011, pp.383-380, Dec. 2011.
- (6) D. Lee, T. Yamada, H. Shiba, Y. Yamaguchi,

- and K. Uehara：“Combined Nyquist and Compressed Sampling Method for Radio Wave Data Compression of a Heterogeneous Network System,” IEICE Trans. Commun., Vol.E93-B, No.12, pp.3238-3247, Dec. 2010.
- (7) 田中：“圧縮センシングの数理,” IEICE Fundamentals Review, Vol.4, No.1, pp.39-47, 2010.
 - (8) 山田・李・芝・山口・赤羽・上原：“圧縮センシングを用いたFSK信号の復元及び復調に関する実験結果,” 信学ソ大, B-17-5, 2011.
 - (9) D. Lee, T. Sasaki, T. Yamada, K. Akabane, Y. Yamaguchi, and K. Uehara：“Spectrum Sensing for Networked System Using 1-bit Compressed Sensing with Partial Random Circulant Measurement Matrices,” in Proc. IEEE VTC2012-Spring, pp.1-5, May 2012.
 - (10) T. Yamada, D. Lee, H. Toshinaga, K. Akabane, Y. Yamaguchi, and K. Uehara：“1-bit Compressed Sensing with Edge Detection for Compressed Radio Wave Data Transfer,” in Proc. APCC2012, pp.407-411, Oct. 2012.



(上段左から) 芝 宏礼/ 俊長 秀紀/
山田 貴之
(下段左から) 小林 守/ 吉野 修一/
白戸 裕史/ 加保 貴奈

誰もが簡単に利用できるユーザーセントリック・ワイヤレスホームネットワークの実現に向け、引き続きフレキシブルワイヤレスシステムの研究開発に推進し、ICTを利用したスマートな社会の発展に貢献します。

◆問い合わせ先

NTT未来ねっと研究所
ワイヤレスシステムイノベーション研究部
TEL 046-859-3261
FAX 046-859-3351
E-mail ws-hosa-mirai@lab.ntt.co.jp