

次世代近距離無線ネットワークを実現する ZigBee™ LSI

市川 武志 谷本 晃一

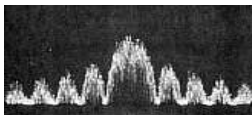
単三アルカリ電池2本で2年以上の寿命を有するセンサーネットワークを構築する。このコンセプトによる規格化推進で脚光をあびつつあるのが『ZigBee™』*1)である。ZigBeeは、WL-PAN (Wireless Personal Area Network) の国際標準規格であるIEEE802.15.4で規定されたPHY層 (Physical Layer) およびMAC層 (Media Access Control) を用い、その上位のネットワーク層、アプリケーション層を規格化したものである。ZigBeeは、IEEE802.15.4の特徴である超低消費電力、小型、低コストを活かし、センサーネットワークのみならずホーム&オフィスネットワーク、機

器計測・制御方式の標準化を進めておりユビキタスネットワーク社会を実現する技術のひとつとして注目されている。当社は、今春IEEE802.15.4準拠LSIのRF (Radio Frequency)-PHY-MACを1チップに納めたLSI (ML7065) を世界で初めて開発した。本LSIは、アナログ回路の2.4GHz無線部とデジタル回路のPHY部、MAC部を1チップ化することで、外部ホストCPUとのデータ通信を簡素化し、ホストCPUの負荷が軽減でき、システム全体の簡素化、低価格化を可能にすることができる。現在さらにセキュリティ機能を搭載したLSIを開発中である。本稿では、ZigBeeの特徴および当社が開発したLSI (ML7065) について説明する。

ZigBeeの特徴

ZigBeeとは、ZigBeeアライアンスという業界団体が規格化を進めている近距離無線通信規格の一つであり、省電力、低コストの特徴を持つ。ZigBeeの特徴を同じく低消費電力無線規格であるBluetooth™*2)と比較して表1に示す。Bluetoothがネットワーク機器間のデータ転送を想定しているのに対し、ZigBeeは長時間使用される環境で

表1 ZigBeeとBluetoothとの比較

	ZigBee	Bluetooth
コンセプト	電池駆動でそれほど頻繁に交換を求められないもの→使用頻度の少ないものやデータ量の少ないもの、非常に多くの接続を必要とするもの	ケーブルで接続されていたもの、つまり電話機、ラップトップコンピューター、ヘッドセット等に向けた代替品として登場→ネットワーク機器同士の接続、ファイル、動画、静止画の転送
無線仕様	直接拡散のO-QPSK変調 (2Mchips/sec) 最大データ転送レート=250kbit/s 伝達範囲=10m-50m 	周波数ホッピング拡散のFSK変調 (1Mchips/sec) 最大データ転送レート=720kbit/s 伝達範囲=10m 
電池寿命	乾電池での使用を想定	充電電池での使用を想定
起動時間	電源投入から30msec スリープから15msec アクティブな子機へのアクセス5msec	電源投入から3sec以上 スリープから3sec アクティブな子機へのアクセス2msec
エラー訂正	エラー検出と通信開始はハンドシェイク手順による	フォワード・エラー訂正を提供
プロトコルスタック	単純	複雑
ホストコントローラ	4ビットもしくは8ビットマイコン	32ビットマイコン
コスト	・ 2004年度 \$3.5~5 ・ 2005年度 \$2~3	・ 2004年度 \$5~8 ・ 2005年度 \$3.5

かつ1度の転送データ長が短いものを想定されている。無線を使用するコントローラを例に挙げて両者の違いを説明する。

通常エアコンやテレビなどで使用される無線コントローラはボタンを押してから約100-200msec以内に何らかの反応を要求される。また、これら無線コントローラは数年単位で乾電池の入れ替え無しで使用される。

ZigBeeは電源投入から約30msecで初期動作が完了する。対してBluetoothは立上げに数秒を要する。無線コントローラを使用する商品をユーザが購入し使用開始したとき、ユーザは初期動作に100msecあるいは数秒を要しても特段ストレスは感じない。しかし日常頻繁に起こる通常動作 (ボタン押しによるデータ送信) 時は“数秒の待ち”は受け入れられない。このような用途にBluetoothを用いると常にスリープモードや電力OFFにはできず低消費電力化が不可能となる。一方ZigBeeでは初期動作が30msecと小さく、またスリープからの復帰動作が15msecであるためユーザがボタンを押してからスリープもしくは電源投入しデータを転送してもユーザにストレスが溜まらない遅延時間でデータを送信すること

*1) ZigBeeは、Koninklijke Philips Electronics N.V.の登録商標です。 *2) Bluetoothは、The Bluetooth SIG Inc.の登録商標です。
その他本文に記載されている会社名、製品名は一般に各社の商標または登録商標です。

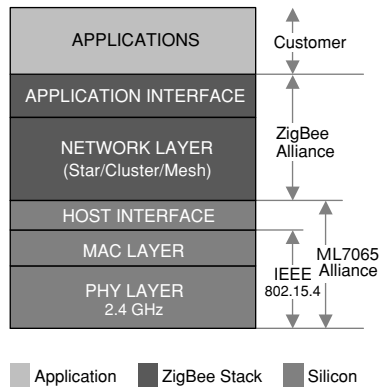


図1 IEEE802.15.4とZigBeeの関係

が可能となる。

このように無線コントローラ等はBluetoothを使用するよりZigBeeを使用した方が有利であり、同様に冷蔵庫の温度管理のように一日に数回程度データを送信するようなシステムにおいてはZigBeeの方が有利である。

ただし、ZigBeeは一度に送信できるデータ量が127バイトと短く転送スピードも250kbpsと遅いためBluetoothのように動画や静止画を送るには不向きである。

このようにZigBeeとBluetoothでは得意とする用途が異なるため棲み分けがなされている。

ZigBeeプロトコルの構成

ZigBeeは、WL-PAN（Wireless Personal Area Network）の国際標準規格であるIEEE802.15.4のPHY層およびMAC層を用い、その上位にネットワーク層、アプリケーション層を規格化している。図1にIEEE802.15.4とZigBeeの関係を表すプロトコルスタックを示す。IEEE802.15.4は前述の通り、PHY層とMAC層から成る。この上位のホストインタフェースを搭載したものが今回当社が開発したML7065（詳細は後述）である。ML7065はホストインタフェースにSCI（Synchronous Communication Interface）を搭載しホストマイコンと同期式シリアル転送でデータの送受信を行う。ZigBeeはIEEE802.15.4で規定されたNetwork-Coordinator、FFD（Full-Function-Device）、RFD（Reduced-Function-Device）を使用してネットワーク層の運用と上位アプリケーション層へのインタフェースを規定する。ZigBeeはアプリケーション層の規格化も進めており2004年末を目処に最初の標準化仕様をリリース予定となっている。

IEEE802.15.4の特徴

IEEE802.15.4では868MHz帯域／910MHz帯域／

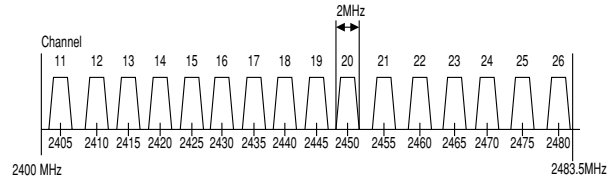


図2 チャンネルと周波数の関係

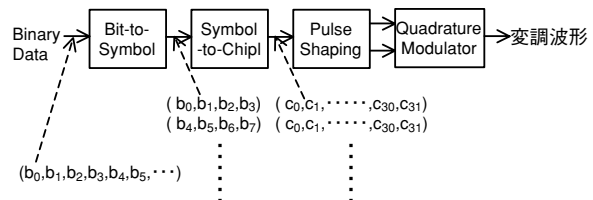


図3 ビット、シンボル、チップの関係

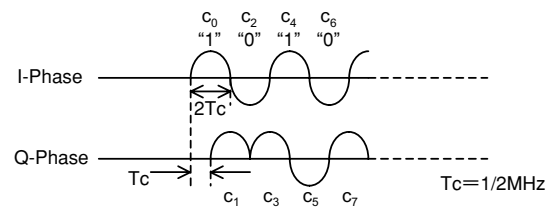


図4 パルス波形

2.4GHz帯域の3種の無線帯域をそれぞれ規格化している。日本では全世界共通で使用可能な2.4GHz帯域のみ使用が認められているため、ここでは2.4GHz帯域を使用する規格について特徴を以下に示す。IEEE802.15.4ではPHY層（含むRF）とMAC層がそれぞれ規定されている¹⁾。

IEEE802.15.4PHY層は下記の特徴を有する。

- 2.4GHz ISM帯（Industry Science Medical band）に、図2に示すように、5MHz間隔でチャンネル11からチャンネル26の計16チャンネルが配置されている。
- 転送速度は250kit/s（4bits/symbol, 32chip/1symbol, 62.5baud）である。図3に示すように、モデムに入力される送信バイナリデータは入力される順に4bitごとにsymbolとして“0”～“F”の16種のシンボルにマッピングされ、さらに各シンボルは対応する32個のチップデータ（Chip Data）にマッピングされる。
- 変調方式はOffset-QPSK（Quadrature Phase Shift Keying）を、拡散方式はDSSS（Direct Sequence Spectrum Spread）を採用している。図4に示すように、I、Qデータが直交変調器にて変調される。
- 送信電力は1mW以上
- 送信周波数許容誤差±40ppm
- 受信感度 -86.5dBm（パケットエラーレート1%以下）

IEEE802.15.4MAC層の特徴は下記のとおりである。

- 64ビットのMACアドレスの他、PAN（Personal Area Network）に対して16ビットのPAN-IDを設定し同PAN-ID内のデバイスに対して16ビットのショートアドレスの付加（アドレス管理を簡素化）が可能である。
- 3種類のデバイスタイプ、ネットワークを制御するNC（Network-Coordinator）、NCと同等の機能を有し複数のデバイスと通信を可能とするFFD（Full-Function-Device）、ネットワーク制御の機能を持たずFFDとの1対1の通信のみ行うRFD（Reduced-Function-Device）を用いることで、図5に示すように、スター型、ツリー型、メッシュ型といった多彩なネットワーク形態が選択可能である²⁾。
- CSMA-CA（Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance）によるチャネルアクセスを用いる。
- 単純かつ短いフレーム構成である。
- アソシエーション／ディスアソシエーション動作により容易にPANへの加入／脱退ができる。
- セキュリティ機能としてAES（Advanced Encryption Standard）128を採用している。（オプション機能）
- 図6に示すように、ビーコンを使用したスーパーフレーム構造を用いている。スーパーフレーム構造はビーコン間隔を全てのデバイスがアクセス可能なCAP（Contention Access Period）、特定のデバイスが専

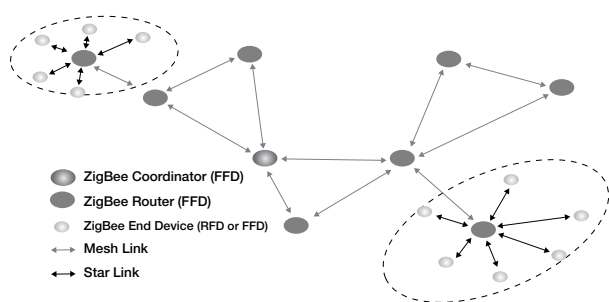


図5 ネットワーク構造

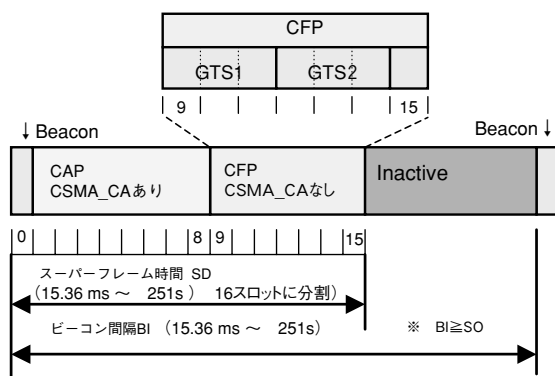


図6 スーパーフレーム構成

有してアクセス可能なCFP（Contention Free Period）、全てのデバイスがアクセス禁止となるInactive期間に分割される。またCFPはGTS（Guaranty Time Slot）メカニズムにより7等分され、通信を優先的にやりたいデバイスへ割り当てることが可能である。図6はGSTメカニズムにより7等分された時間区分をGTS1、GTS2にそれぞれ3区分ずつ割り当てた時の配分を示している。この期間を割り当てられたデバイスは優先的にデータ送受信を行うことができる。

- 送受信信頼性向上のためハンドシェイクプロトコルを採用している。

当社が開発したIEEE802.15.4準拠LSI ML7065の概要

当社が開発したML7065はIEEE802.15.4に完全準拠のLSIでPHY層（含むRF）、MAC層およびオプション設定であるセキュリティ機能を1チップに搭載している。ML7065のブロック構成を図7に示し、主なブロックの特徴を以下に説明する。

(1) PHY部（IEEE802.15.4PHY）

IEEE802.15.4PHY層に準拠したブロックで送受信データ格納用に128バイトRAMを2面有している。このブロックより送信時は変調データを変調（MOD）部へIQデータとして出力し、受信時は復調データを復調（DeMOD）部より取り込む。

(2) DeMOD部

IF（Intermediate Frequency）インタフェースにてRF部より受信データを取り込みデータの復調を行う。本回路は沖の得意とするデジタル復調技術により低消費電力化、小規模化を実現した。この技術は本LSIの中核技術の1つである。

(3) MAC部（IEEE802.15.4MAC）

IEEE802.15.4の全てのMACコマンドをハンドリングする。なおMACコマンドは一部PHYコマンドへと変換されPHYへ通知され適用チャネルの変更や送信電力の制御

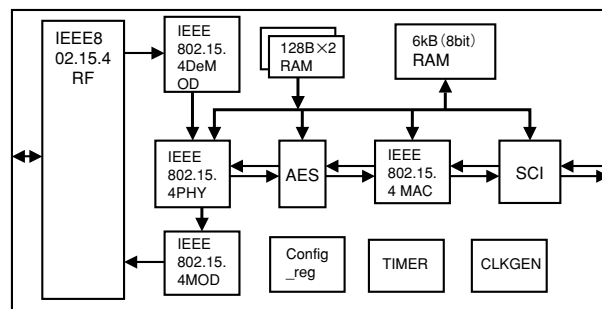


図7 ML7065ブロック構成

およびRFのON/OFF送受切り替えが行われる。MACの周辺回路としてタイマ部（TIMER）、割り込みコントロール部がある。MACコマンドの処理完了とともにクロック制御部（CLKGEN）へMACコマンド完了の通知を発行することでクロック周波数を低減（約1/8）し低消費電力化を実現している。

(4) セキュリティ部（AES）

ML7065では下記に示すIEEE802.15.4で規定されるAESを用いるセキュリティ機能全7種類をすべて搭載している。なお、ブロックデータは128ビット、鍵長は128ビット固定が適用される³⁾。

- AES_CTR（秘匿機能）
- AES_CBC_MAC_128/64/32（認証機能）
- AES_CCM_128/63/32（秘匿機能+認証機能）

(5) RF部

沖の得意とするデジタル・アナログ混在技術により開発された2.4GHzトランシーバーである。アナログ部とデジタル部をLSI内部で接続を可能としたためLSI内部の信号線を大幅に削減することができ、全体として低消費電力化を実現している。

(6) その他

タイマ、リセット機能、クロック制御機能、受信波強度測定機能、変調機能、復調機能およびRFの特性を容易に確認するためのテスト回路等、IEEE802.15.4準拠LSIとして必要な機能を搭載した。

ML7065のLSI諸元を表2に示す。本LSIは、アナログ回路の2.4GHz

表2 ML7065 LSI諸元

動作周波数	10MHz(外部入力クロック周波数)
内蔵メモリ	データメモリ:6kByte
割り込みコントローラ	内部:3要因 外部:なし
システムタイマ	32ビットシステムカウンタ×1 32ビット比較レジスタ×16
シリアルポート	同期式1ch
動作温度	-25℃～70℃
動作電圧	IO部 :3.0V～3.3V Core部:2.25V～2.75V (アルカリ電池2本使用時)
	IO部/Core部共通:2.0V～2.7V (ニッケル水素電池2本使用時)
消費電流	全停止時:1μA(Typ.)
	送信時 :55mA(Typ.)
	受信時 :57mA(Typ.)
パッケージ	48ピンVQFN 7mm×7mm

今後の取り組み

これまでZigBeeおよび当社が開発したIEEE802.15.4、に準拠したLSI ML7065について説明してきた。ML7065はRF-PHY-MACを取り込んだオールインワンのLSIであ

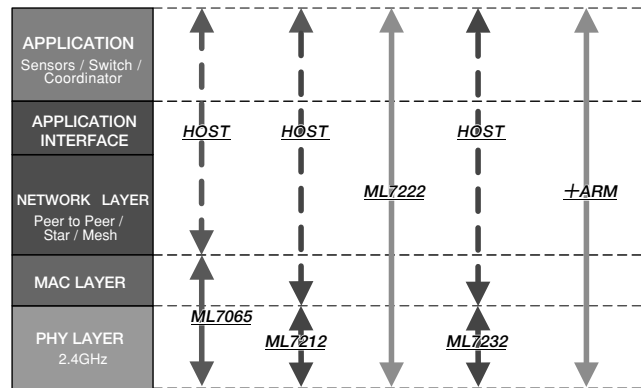


図8 ML7065派生品レイア対応

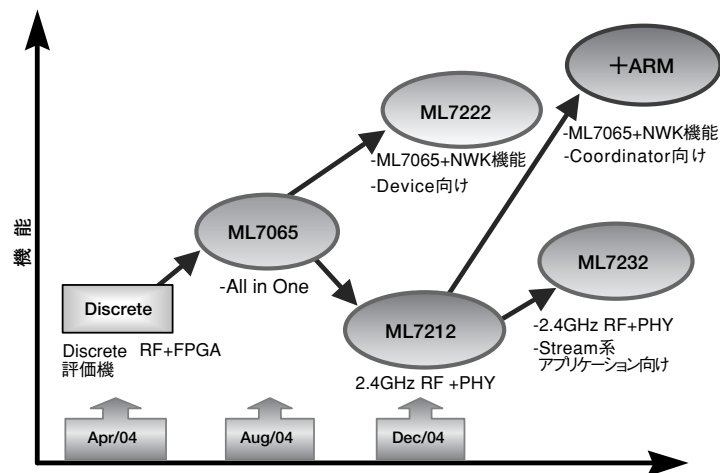


図9 沖ZigBeeロードマップ

るが、市場の要求としては既に独自MACを開発しているためRF-PHYのみを求める声やネットワーク層、アプリケーション層を取り込んだLSIを求める声が高まってきている。そこで今後はより顧客の要求に対応できるよう、図8、図9に示すロードマップでの開発を計画中である。◆◆

参考文献

- 1) IEEE std 802.15.4TM-2003
- 2) 02130r5ZB_NWK-Network-Specification 7 Revision 5 8 Draft Version 0.80
- 3) Security Services Specification Release 0.75

● 筆者紹介

市川武志：Takeshi Ichikawa. シリコンソリューションカンパニー デザイン本部 通信LSI商品開発部

谷本晃一：Kouichi Tanimoto. シリコンソリューションカンパニー ビジネス本部 システムLSIマーケティング部 通信ビジネスユニット