

Bluetooth™ ベースバンド LSI TC35651

Bluetooth™ Baseband LSI Model TC35651

相川 健
AIKAWA Takeshi

高柳 俊成
TAKAYANAGI Toshinari

鈴木 國明
SUZUKI Kuniaki

Bluetooth™ LSIは、携帯機器間をワイヤレスで接続する仕組みとして、期待されている。当社は、優れた接続性、低消費電力、低価格、様々なシステムへの適用を目指し、ベースバンド LSI TC35651を開発した。通信方式は、Bluetooth Specification version 1.1⁽¹⁾⁽²⁾、BlueRFに準拠、USB(Universal Serial Bus)、UART(Universal Asynchronous Receiver Transmitter)、などのホストインタフェース及びPCM音声インタフェースを具備、機能の柔軟性と低消費電力の双方を満足するアーキテクチャであることが特長である。

There are high expectations on Bluetooth™ technology for the wireless connection of mobile devices. We have developed a Bluetooth™ baseband LSI, model TC35651, which is targeted at high connectivity, low power dissipation, low cost, and flexible application to various systems. The TC35651 has a BlueRF-compliant RF interface, PCM interface, and host interface for universal serial bus (USB), and universal asynchronous receiver transmitter (UART), etc. It also features architecture that realizes high functional flexibility and low power dissipation.

1 まえがき

Bluetooth™は、電子機器間をワイヤレスで接続するための仕組みである。

近年、携帯電話の普及には目覚ましいものがある。また、インターネット機能、スケジューラ、メール機能、メモ機能などを持つPDA(Personal Digital Assistants)、シリコンオーディオ機器、ノートパソコン(PC)など、モバイル環境で使用する電子機器が急速に使われ始めている。これらのモバイル機器は、携帯電話でインターネットに接続し、PDAで情報検索をするなど、有機的に接続されてはじめて本来の便利さを享受できるものではあるが、モバイル環境で、ケーブルで機器を接続することはなかなか骨が折れる。携帯オーディオ機器とイヤホンケーブルで接続することも、不要になればより快適であることは間違いない。

ワイヤレスで接続できるということは、電子機器間の接続を簡単につないだり、きったりできることを意味する。店に入ったら、自分のPDAが店のサーバに接続され、商品の情報を自動的にダウンロードする、というようなことも可能になる。

振り返って家庭を見てみると、テレビ、ステレオ、DVD、ラジカセ、電話機、ファクシミリ(FAX)、PC、モデム、電子カメラ、ビデオ、ビデオカメラなど、多くの電子機器がケーブルで半固定的に、あるいは必要に応じて接続がなされている。更に、今後は、冷蔵庫、照明などの機器も、ネットワーク接続される可能性もある。これらの家庭内の電子機器間も、ワイヤレスで接続できれば極めて便利である。

このような応用を考えると、相互接続される機器の多くは、携帯機器、あるいは家電製品であり、ワイヤレス接続の仕組みは、低価格で低消費電力であることが強く要求される。つまり、これらの接続をつかさどる仕組み、すなわちBluetooth™の普及のためにはLSI化が必須であるわけである。

ここでは、Bluetooth™を利用するためのLSIの中で中心的な役割を果たすベースバンド処理用LSIの仕様、構成について述べ、更にその将来構想についても触れる。

2 Bluetooth™ベースバンドLSIの位置づけ

Bluetooth™応用システムにおけるベースバンドLSI TC35651のハードウェア、及びソフトウェアの位置づけを図1に示す。

TC35651を用いたシステムは、RF(Radio Frequency)IC、ホストシステムから構成される。RF ICは、2.4GHz帯の周波数帯域で、周波数ホッピング型のスペクトラム拡散方式で電波の送受信を行うICで、パケットデータをベースバンドLSIとの間でやり取りする。ベースバンドLSIは、ホストシステムから受け渡されるデータを送受信するための通信リンクを提供する。また、UART、USBなどのホストインタフェースの制御や、RF ICの周波数ホッピングの管理、パケット再送、誤り訂正などの機能も提供する。ホストシステムは、PDA、PC、携帯電話機などで、Bluetooth™を使ってデータのやり取りを行う様々な応用プログラムを動作させる。図1において、あみ掛けした部分がTC35651で提供している機能である。

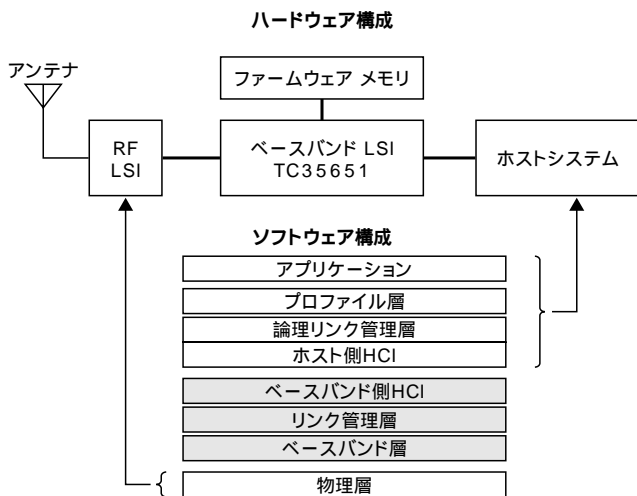


図1. TC35651の応用システム TC35651は、RF IC、ファームウェアメモリ、ホストシステムと組み合わせて、応用システムを構成する。
TC35651 application system

インタフェースについては、4章で述べる。

3 ベースバンドLSIへの要求仕様

応用機器側からのBluetooth™ LSIに対する要求は以下の4点と考える。

- (1) 接続性の確保
- (2) 様々なホストインタフェースの提供
- (3) 低消費電力
- (4) 低価格

Bluetooth™は、様々な電子機器間のワイヤレス接続を提供する。その技術仕様は、Bluetooth SIG(Special Interest Group)で策定されている。接続性の確保については、SIGの発行する技術規格書に準拠すること、Bluetooth™ロゴの取得が必要となる。TC35651はBluetooth Specification version 1.1に準拠している。

応用機器は、PC、携帯電話機、PDA、シリコンオーディオ、ヘッドセットなど、モバイル機器、各種AV機器、各種家電機器など多岐にわたるが、Bluetooth™の機能を提供するLSIに対しては、いずれも低価格で、低消費電力であることが極めて重要である。また、ベースバンドLSIとホストシステムのインタフェースは機器に応じて、様々なものが要求される。

4 TC35651の仕様

TC35651の仕様を表1に示す。通信方式は、最新のBluetooth Specification version 1.1に準拠している。RF ICとのインタフェースは、BlueRF準拠でデジタル信号で接続される。ホストシステムとの物理的接続手段はUSB、UARTなどと複数の手段を持っている。これがTC35651の大きな特

表1. TC35651の仕様
Specifications of TC35651

項目	仕様
RF ICインタフェース	BlueRF準拠
ファームウェア用メモリポート	16ビット/Word × 128k word
物理ホストインタフェース	USB1.1準拠 UART : 最大920kbps PCMLinear PCM μ law , Alaw
論理ホストインタフェース	HCIトランスポート
電源	1.5V(コア用), 3V又は1.8V(I/O用)
パッケージ	100ピンフリップチップ, FBGA113
消費電力	60mW
スタンバイ機能	内蔵
内蔵CPUコア	ARM7TDMI
基本クロック周波数	13MHz

FBGA : Fine pitch Ball Grid Array I/O : Input/Output

長の一つである。また、音声データ転送用のPCM(Pulse Code Modulation)インタフェースも内蔵している。

USBは、USB1.1に準拠した仕様をサポートする。UARTは、921.6 kbpsまでのデータ転送が可能、音声通話用PCMポートは、LinearPCM、 μ law、Alaw^(注1)の設定が可能である。PCM、UARTなど各ポートは、12本のGPP(General Purpose Ports)にマルチプレックスされている。USBは専用ポートである。

ホストシステムとの論理的インタフェースはHCI(Host Controller Interface)トランスポートであるが、将来上位レイヤーソフトウェアを実装可能とするよう内部メモリに余裕を持たせている。ファームウェアメモリとしては16ビット/word 128k wordのFlash ROMを接続可能である。動作周波数は13MHzである。

電源電圧はコアロジック用1.5V、I/O用3V又は1.8Vの2系統で、動作時の消費電力は60mWである。パッケージはフリップチップの対応も行い、Bluetooth™モジュールを小さく薄く組み立てるよう考慮している。

5 TC35651のアーキテクチャ

5.1 TC35651のシステムアーキテクチャ

3章で述べた接続性の確保のためには、Bluetooth Specification version 1.1の仕様に準拠することが必要であるが、実際のBluetooth™システムが今後多数登場し、実際に使われるようになるに従い、仕様の改良/改訂も予測される。

(注1) 音声のインタフェースの規格。Linear PCMは16ビットの規格で、入力電圧に対してリニアにデジタル変換を行う。それに対し、Alaw、 μ lawは8ビット規格で、小電圧のところは小さなステップでデジタルに変換を行い、高電圧の領域は大きなステップで変換を行う規格。こちらのほうが、少ないビット数で、良い音質が得られる。Alawはアメリカで普及している規格、 μ lawはヨーロッパで普及している規格で、双方でデジタル表現の1と0が反転している。

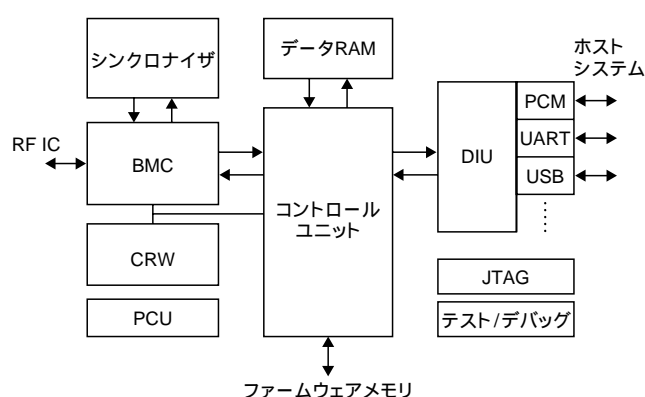
現段階では、これに追従できるように、柔軟なアーキテクチャが必要である。

現在の1 Mbpsのデータ転送レートでは、ベースバンド処理に必要な機能の多くは、組み込み用コアプロセッサのファームウェアでも、あるいは専用のハードウェアでも実装が可能である。プロトコル処理のように、単位時間の処理量が一定である場合には、柔軟性の高いアーキテクチャ実現のためには、ファームウェアで機能を実装することが有利となる。一方、低消費電力化の実現のためには、ハードウェアで機能を実現することが有利となる。

この、柔軟性と消費電力のトレードオフで、様々なアーキテクチャが存在しているが、TC35651ではフレームデータの生成分析、エラー処理をハードウェアで、リンク制御を含む上位層の処理をファームウェアで処理することにより、低消費電力と柔軟性を実現している。

5.2 TC35651のハードウェア構成

ハードウェア構成を図2に示す。



JTAG : Joint Test Action Group

図2 . TC35651のハードウェア構成 CPUコアから成るコントロールユニットを中心に、ホストインタフェースとRF ICインタフェースから構成されている。

Hardware configuration

RF ICからデータを受け取り、処理を行うハードウェアブロックがシンクロナイザである。フレームタイミングとシンボルタイミングの生成を行う。

バーストモードコントローラ(BMC)は、パケットデータの生成、分析を行うハードウェアブロックである。受信時には、エラーチェック、デスクランプリング、暗号の復号処理を行い、ヘッダとペイロードをコントロールユニットにデータRAM経由で渡す。送信時には、データRAM経由でコントロールユニットからヘッダとペイロードを受け取り、エラーチェックビットの付加、暗号化を行いRF ICに渡す。

PCU(Power Control Unit)はパワーコントロールをつかさどるハードウェアブロックで、スリープモード時には

32.768 kHzのクロックを発生することにより、LSIの低消費電力化を実現している。

CRW(Clock Reset Watchdog)はクロック リセット ロジックで、クロック生成、リセット制御、ウォッチドックタイマの機能をつかさどる。

コントロールユニットは、CPUコア、DMA(Direct Memory Access)、割込み制御ロジック、バスインタフェースから構成され、図3に示すファームウェアを実行する。CPUコアとしては、ARM7TDMI(ARM社の製品型番)を用い13 MHzで動作させている。データRAMは、ハードウェアとのデータ受け渡しのバッファ、ファームウェアのワーク領域として使用するSRAM(Static RAM)である。

DIU(Data Interface Unit)は、ホストシステムとのインタフェース、PCM、UART、USBなどの各ブロックの制御を行う。

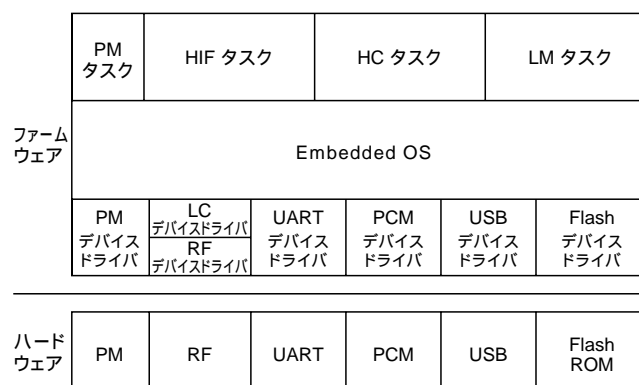


図3 . TC35651のファームウェア構成 デバイスドライバ、Embedded OS、タスク群の3階層で構成されている。

Firmware configuration

5.3 TC35651のファームウェア構成

ファームウェア構成を図3に示す。デバイスドライバ、Embedded OS(基本ソフトウェア)、制御タスクの3階層で構成されている。デバイスドライバ群は、おおむね各ハードウェアブロックに対応して実装されている。LQ(Link Control)は、Bluetoothプロトコルの仕様であるリンクコントロール層を制御する中核のドライバである。

その上位層として、リアルタイム組み込みOSが実装されており、更にその上位層には以下のようなタスクが実装されている。

PM(Power Management)タスクは、パワーマネジメントをつかさどるタスクであり、LSI全体の消費電力を制御するために、各ハードウェアやCPUのクロックを制御する。

HIF(Host InterFace)タスクは、このLSIのホストシステムインタフェースUART/USBなどとのデータ送受信をつかさ

どるタスクである。

HC(Host Controller)タスクは、Bluetoothプロトコルの仕様に規定されているHCI層を制御するタスクである。

LM(Link Manager)タスクは、リンクマネージャ周りのタスクであり、Bluetoothプロトコルの仕様であるLM層を制御するタスクである。

5.4 LSIとしての実現

チップ内は、消費電力を抑えるために約40のクロックドメインに分割され、必要なブロックしか活性化しない。USB用には48 MHzのクロックが必要だが、それはPLL(Phase Locked Loop)を使っての13 MHzベースバンドクロックから内蔵PLLを使用して発生し、外付け部品数の低減化を図っている。

TC35651は、当社の0.18 μm CMOS(相補型金属酸化膜半導体)プロセスを使用した。ゲート長は0.14 μm 、4層配線を使用し、高いしきい値電圧(V_{th})のトランジスタを使用することで、待機時のリーク電流を抑えた。ピン数は100ピンで、動作時の消費電流は約30mAである。図4にTC35651のレイアウトプロットを示す。

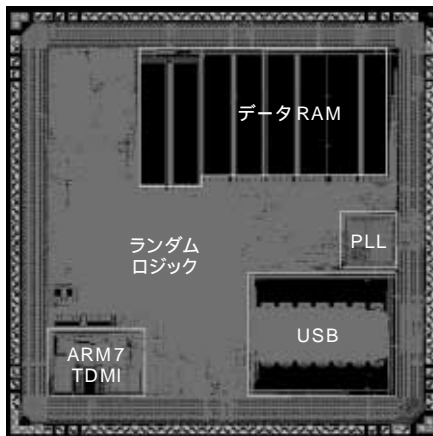


図4 . TC35651のレイアウト 0.18 μm プロセスで実現した。
TC35651 Bluetooth™ baseband LSI

6 将来構想

Bluetooth™ LSI開発についての今後の展開としては、より

多くの機能の集積化を計画している。ソフトウェア的には、現在はHCI以下のファームウェアサポートをHCI以上のより上位レイヤまで広げ、アプリケーション開発側がより使いやすいようにする。ハードウェア的には、RF部もベースバンド部も含めた集積化を図り、アーキテクチャ的にも最適化する。このワンチップBluetooth™ LSIはCMOSプロセスで実現を図り、いっそうの低コスト化を実現する。

更に、当社は、Bluetooth SIGで今後策定される仕様をいち早くLSIとして実現していく。まず、Bluetooth version 2.0のLSI化を図っていきたい。

7 あとがき

Bluetooth Specification version1.1に準拠し、柔軟性と低消費電力を兼ね備え、かつ、多くのシステムに適用可能なホストインタフェースを備えたLSI TC35651を開発した。また、多くのシステムに適用可能な価格を実現するシリコン面積で実現できた。

なお、このLSIは、Nokia Corporationと当社のライセンスアグリーメントに基づき開発したものである。

文献

- (1) Bluetooth SIG, Bluetooth Specification ver1.1, March, 2001.
- (2) Bluetooth SIG, Bluetooth Specification-ver1.0B



相川 健 AIKAWA Takeshi

セミコンダクター社 システムLSI事業部 システムLSI開発センターグループ長。モバイルネットワークLSIの開発に従事。電子情報通信学会会員。

System LSI Div.



高柳 俊成 TAKAYANAGI Toshinori

セミコンダクター社 システムLSI事業部 システムLSI開発センター主務。モバイルネットワークLSIの開発に従事。

System LSI Div.



鈴木 國明 SUZUKI Kuniaki

デジタルメディアネットワーク社 パーソナル&マルチメディア開発センターグループ長。Bluetooth™要素技術関連の開発に従事。画像電子学会会員。