

電力重畳通信機能を持つブロック型デバイスとその実装

矢敷貴之^{†1} 秋田純一^{†1}

コンピュータの小型化が進み、子供が遊ぶブロックのような非常に小さな筐体にコンピュータを埋め込み、それを組み立てることによって3次元形状モデリングなどを行う研究も多くなされるようになった。こういった接続の自由度が高く、小さな筐体にコンピュータを搭載する場合には、電源路とデータバスの確保は非常に重要な課題となる。そこで本研究では、電力重畳通信に着目し、電力重畳通信を用いたブロック型デバイスを提案する。電源を供給するバスとデータバスを共通化することにより、物理的な線の削減ができ、デバイスの小型が容易になる。電力重畳を実現する仕組みや回路を説明し、それを搭載したデバイスについて述べる。

Block Device with Power Line Communication and Its Implementation

TAKAYUKI YASHIKI^{†1} JUNICHI AKITA^{†1}

The downsizing of the computer advanced, there were small device like block that a child played and there were many studies to perform three dimensions shape modeling by assembling it and came to be done. When flexibility of the connection is high and putting a computer on a small housing, To secure a power supply bus and some data bus is a very important problem. Therefore, in this study, We suggest a block type device using the electricity excellence communication. We can reduce a physical line by standardize a power supply bus and a data bus, and the downsizing of the device becomes easy. We explain realizing electricity excellence and a device equipped with it.

1. はじめに

近年のコンピュータ技術の発展により、家電や自動車といった身近にある様々な機器に高性能なコンピュータが搭載されるようになった。特にコンピュータの小型化の成長は著しく、スマートフォンやタブレットといったパソコンとほぼ性能が変わらないデバイスのポータブル性は非常に高くなった。このようにコンピュータの小型化が進む中で、子供が遊ぶブロックのような非常に小さな筐体にコンピュータを埋め込み、接続したブロック間でデータ通信を行う、インテリジェントなブロック型デバイスに関する研究も幅広く行われている。

そのようなデバイスを実装する場合、コンピュータと入出力装置との接続方法や配置は重要な問題となる。特に、電源及びデータバスの確保は、デバイスがどのようなシステムでも必ず付きまとう課題で、機能や風貌を損なわない解決方法が求められる。著者らは、これまで導電性の布素材を用いた衣服につけるウェアラブルデバイスの電源供給の問題を解決できるシステム TextileNet[1]を実装してきた。本稿では、この電力重畳通信に着目し、ブロック型デバイス向けの電力重畳通信方式の実装について述べる。

2. 関連研究

ユーザがブロック型デバイスを用いて、その構成を任意に変更できるインタフェースに関する研究は多数ある。

physical Blocks[1]は、建築構造のモデルを構成することを目的としたタンジブルユーザインタフェース(TUI: Tangible User Interface)である。TUIとは実際の物体に触れることで直感的な操作を可能とするインタフェースである[2]。物理的なブロックを組み合わせ仮想空間にその構造を表示する。コンピュータの3Dモデリングには専門的な知識が必要となるため、初心者や子供には非常に敷居の高い。しかしこの研究では、実物のブロックを構築してモデリングを行うことは容易である点に着目し、実空間のモデリングと仮想空間のモデリングを対応付けた。概形はLEGO Blockのような形をしており、凸上のコネクタに電源を供給するためのバスが2本、通信用のバスが1本備わっている。各ブロックにはマイクロコントローラ(PIC)が埋め込まれており、接続情報をそれぞれのブロック間で相互通信する。最終的にホストPCへ各ブロックの接続情報を集約し、形状認識を行う。ブロック間の接続はシリアル通信であるため、ブロックの接続情報はホストPCへ伝達するまでに複数のブロック(PIC)を通過する可能性があり、その場合、通信のオーバーヘッドが大きくなって遅延が生じる。さらに、ブロックとホストPCまでの伝送路でパケットロスが生じると再送する必要があるため、さらなる遅延が生じてしまう。加えて、ブロックからホストPCまでに経路が複数存在すると、全ての経路にデータが送信され、ネットワークリソースを大幅に消費し、これもまた遅延の原因となる。そのため、リアルタイムに形状を認識することは不可能であり、実際このデバイスでは形状認識を行う

^{†1} 金沢大学
Kanazawa University

タイミングは組み立て後の電源投入時となっている。また、ブロック自体にセンサやアクチュエータを搭載していないため、ユーザの操作意志を組み立てた物体に入力したり、逆にコンピュータから計算結果を出力したりできない。

Active Cube[3]は、直感的な 3 次元のモデリングとインタラク션을可能にしたユーザインタフェースである、ブロック状のデバイスを組み立てることで 3 次元形状モデリングを行うことができ、また、ブロックにセンサやアクチュエータ等を搭載することで、ユーザの操作意図やコンピュータの計算結果をデバイスに表示できる。ブロックは 1 辺が 5cm の立方体で面に配置されているホックを用い、接続している。ブロックには Neuron Chip と呼ばれる 8bit の CPU を 3 個搭載したチップを埋めこまれており、素子の電源は各面の頂点近くに配置されている接続ホックを用いて給電している。こちらは各ブロックとホスト PC が平行に接続されているため、接続情報の通信を他のブロックを介して行うことがないため、通信遅延が生じず、リアルタイムな形状認識を実現した。また、ブロックに搭載されたセンサのデータは直接ホスト PC へ送信され、計算結果もブロックのアクチュエータに送信されるので、即時応答性のある直接操作インタフェースを構築することができる。そのため、モデリングだけでなく様々なアプリケーションに応用できる。

また、LEGO Block を用い、リモコンを自分自身で組み立てられるようなデバイスの研究も行われている[4]。ベースのボードにボタン機能を持つブロックを好きな場所、好きな個数載せることで、使うユーザに最適化されたリモコンを組み立てることができる。

これらのどの研究におけるインタフェースでも、デバイス同士の接続は自由に変えられるが、物理的な電源路や(単数あるいは複数の) データバスが独立に用意されており、それによって物理的構造に制約ができるという問題点がある。

3. 電力重畳通信機能を持つブロック型デバイスの設計と実装

3.1 システムの概要

本研究では、信号と電源を重畳させることで、ブロック間をつなぐバスの最適化を試みた。ブロックのモデルとして LEGO Block を用い、その筐体にマイコン(Cypress 社 CY8C29466)を埋め込み、ブロック間でデータを相互通信する。各ブロックは 4 つの双方向通信チャンネルをもつ。各ブロックは送信部、受信部、電源部で構成されている。全体の構成を図 1 に示す。

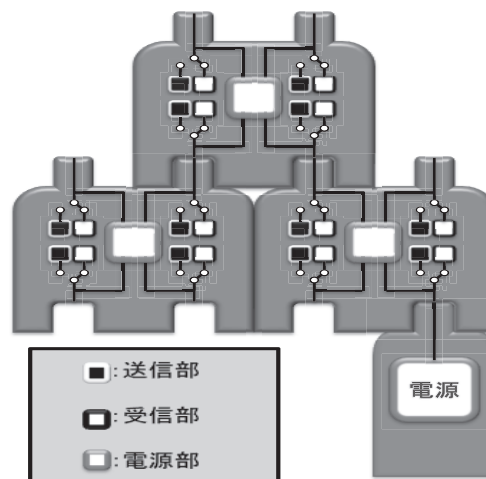


図 1: ブロック型デバイス向け電力重畳通信システムの構成

Fig.1: System configuration of power line communication system for block device

3.2 電力重畳通信の方式と回路構成

電力重畳通信では、1 本の信号線に信号及び電力を重畳させ、周波数の違いから信号と電源を分離させる方式が一般的である。つまり、電源(直流電圧)が必要なところにはインダクタによるローパスフィルタを、通信信号(交流信号)が必要なところにはキャパシタによるハイパスフィ

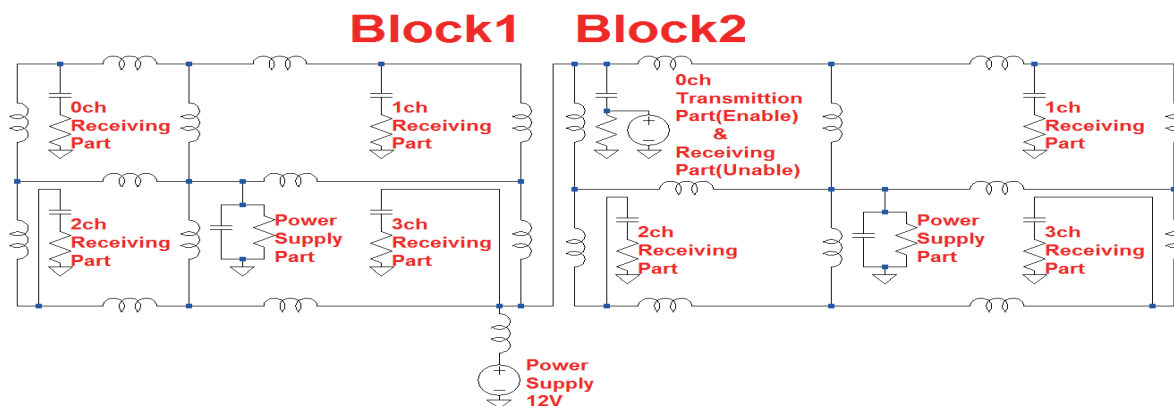


図 2 ブロック型デバイス向け電力重畳通信回路の全体

Fig.2: Power line communication circuit for block device

ルタを用いることにより信号を分離する[5]。設計したブロック型デバイス向けの電力重畳通信回路の構成を図2に示す。以下で、その動作原理について述べる。

なおこの回路では、通信信号であるパルスは、通過するハイパスフィルタの特性によって図3のように送信側と受信側で波形が変化する。

そこで送信データをパルス変調し、1ビットごとに値の“0”・“1”をパルスのあり・なしに対応させて送信し、受信側ではこのパルスから1ビット分の“0”を生成することで復号する。これらの送信時の変調と受信時の復調は、マイコン(PSoC)のユーザモジュールにより実装した。

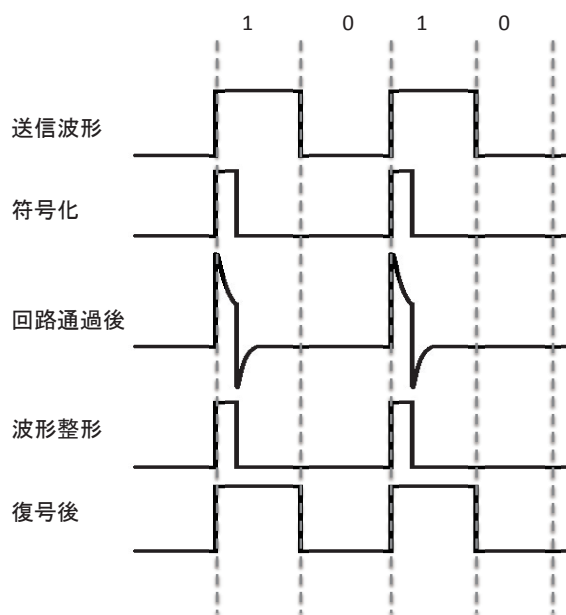


図3 送信データの変調と復調

Fig 3: Modulation and demodulation of transmitted data

なおこのような通信を、接続された全ブロックに対してブロードキャストするのではなく、隣接するブロック間のみで行うように限定することで、ブロック間の接続情報を取得するなど、システムの機能を拡張しやすくなる。ただし各ブロックへの電力供給の観点からは、全ブロックのチャンネルは直流的にはすべて接続されている必要がある。そこで隣接するチャンネル間だけに通信信号が送信され、それ以外のチャンネルには通信信号が送信されないようにするために、図4のようにインダクタとキャパシタからなる回路構成とした。このインダクタによって直接接続された送受信チャンネル間以外では交流信号である通信信号はインダクタのインピーダンスによって十分減衰する。その一方で直流である電力は各チャンネルに等しく供給される。ただしインダクタの直列抵抗によって供給電力の電圧が低下するため、なるべく直列抵抗の小さいインダクタを用いる必要がある。

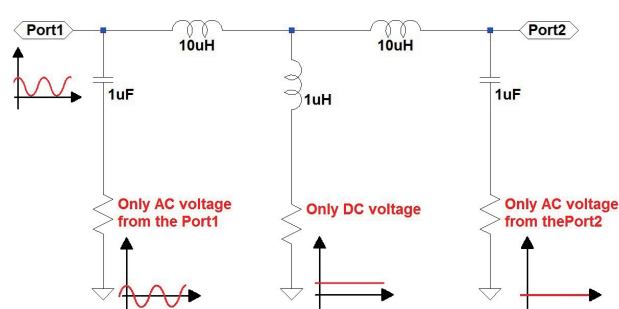


図4 電力重畳通信の原理図

Fig4: Figure of principle of the electricity excellence communication

一方、送信回路と受信回路と各チャンネルの間にはキャパシタを置く。これによって交流信号である通信信号はここを通過し、直流である電力はカットされる。

隣接するチャンネル間で通信信号を十分に減衰させるためには、交流成分に対するインダクタのインピーダンスをできるだけ大きくする必要がある。それにはインダクタ値を大きくするか、信号の周波数を大きくする必要があるが、前者は素子の大きさや値の現実的な大きさから制限が加わるため、本研究では信号の周波数を高くする方策をとった。今回、マイコン(PSoC)が生成可能なパルス周波数とインダクタのサイズや直列抵抗から、通信速度を1[Mbps]、チャンネル間のインダクタを10[uH]とした。なお供給される電力の直流電圧は12[V]とし、これを内部で用いる3.3[V]に降圧する電源回路と各チャンネルの間には1[uH]のインダクタを置く。

設計したブロック型デバイス向け電力重畳通信回路である図2の回路に対して、回路シミュレータLTspiceによる周波数特性の解析を行い、ブロック間の通信信号の減衰特性の評価を行った結果を図5に示す。この結果から、ブロック間の共振周波数は約100[kHz]であり、1[Mbps]での通信信号は十分に減衰することが確認された。なお接続するブロック数をこれより増やすと、さらに共振周波数が低下し、より通信信号が大きく減衰されることも確認された。

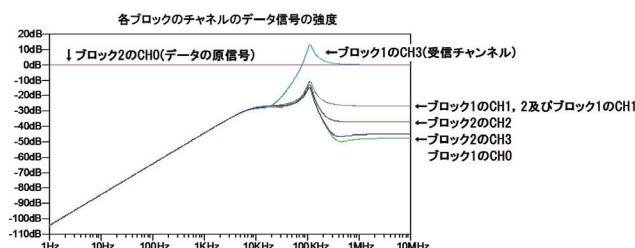


図5 ブロック間の通信信号の減衰の周波数特性

Fig 5: Frequency properties of the decrement of the communication signal between blocks

3.3 デバイスの概形

3.2 節で設計したブロック 1 個あたりの電力重畳通信回路をプリント基板上に実装し、また 3D プリンタで成形した筐体、およびブロック間の電氣的接触端子を組み合わせて試作したブロック型デバイスを図 5 に示す。なおブロックの寸法と外形は図 6 のように LEGO ブロックにあわせ、 $32[\text{mm}] \times 32[\text{mm}] \times 9.6[\text{mm}]$ とした。ブロック間の電氣的接触は、図 7 のような構造によって実現した。ブロック上面の凸部分にはネジを埋め込んで表面部分を露出させ、下面にはバネが設置されている。ブロックの凹凸をはめこむことで、凸の表面部分とバネが接触し、電氣的接続を行う。また電位の基準となる GND 端子は全ブロック・全チャンネルで共通となるため、ブロックの上面と下面の周囲に導線を埋め込んで成形する。

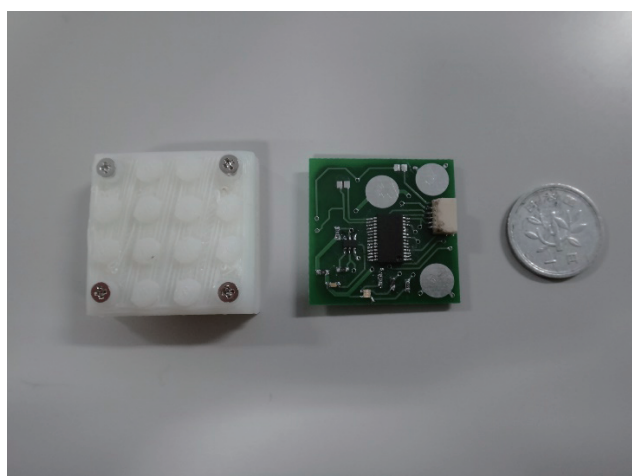


図 6 試作した筐体と本体基板

Fig.6: Developed body and main board

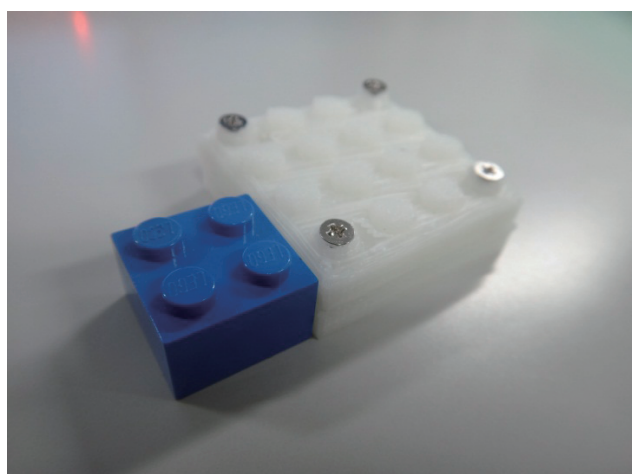


図 7 試作したブロック型デバイスの外形

Fig.7: Developed block device

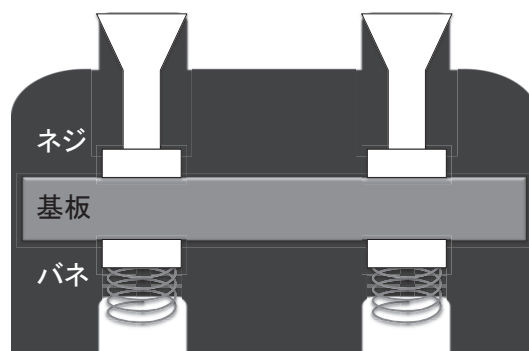


図 8 デバイスの物理構造

Fig8: Device of architecture

4. アプリケーション

本研究で試作した電力重畳通信機能を持つブロック型デバイスは、様々なアプリケーションが考えられる。例えば Physical Blocks や Active Cube のように、ブロックによって組み立てた構造を、ブロック間の接続情報とブロックの形状の情報から取得できるため、3D モデリングや教材、エンタテインメント方面の応用が考えられる。またブロックにセンサやアクチュエータを搭載することで、汎用的なブロック型システムのインフラとなりうる。

5. まとめ

本稿では、ブロック型デバイス向けの電力重畳通信方式と、その回路構成、およびそれを備えるブロック型デバイスの試作について述べた。今後はブロック型デバイスの完成度を高め、また形状認識などのアプリケーションの実装を行う。

謝辞

本研究の着想にあたり、公立はこだて未来大学の松村耕平氏には、有意義な助言をいただいた。ここに謝意を示す。

参考文献

- [1] D.Anderson, J.Frankel, J.Marks, A.Agarwala, P.Beardsley, J.Hodgins, D.Leigh, K.Ryall, E.Sullivan, J.Yedidia. Tangible interaction + graphical interpretation: a new approach to 3D modeling, in Proc. of SIGGRAPH2000, pp. 393-402, 2000.
- [2] 石井裕: タンジブル・ビット -情報と物理社会を融合する, 新しいユーザ・インタフェース・デザイン-, 情報処理学会論文誌, Vol.42, No.6, pp. 1338-1347 (June 2001).
- [3] 伊藤雄一, 北村喜文, 河合道広, 岸野文郎: リアルタイム 3 次元形状モデリングとインタラクションのための双方向ユーザインタフェース ActiveCube, 情報処理学会論文誌, Vol. 42, No. 6, pp. 1338-1347 (June 2001).
- [4] Kohei Matshumura, Yasuyuki Sumi, Blockon: a block based buildable remote controller, MUM '12 Proceedings of the 11th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia Article No.46 (2012)
- [5] 飴山剛史・秋田純一・北川章夫・中村裕一・近藤一晃・戸田真志・櫻沢繁, 導電性衣服上の小信号振幅電力重畳通信トランシーバの基礎研究, LSI とシステムのワークショップ 2010 予稿集, pp.288-290, (2010).