

シリアルバスを用いたロボットボディプロセッサネットワーク

- リモートブレインロボット 春プロジェクト'96:その5 -

東京大学機械情報工学科

水内 郁夫 小屋迫 光太郎 稲葉 雅幸 井上 博允

Onboard Processor Network on Robot Body Using Serial Bus

- Remote-Brained Robot Spring Project '96 : No.5 -

University of Tokyo

Ikuo MIZUUCHI

Kotaro KOYASAKO

Masayuki INABA

Hirochika INOUE

Abstract : This paper describes an onboard processor network based on Inter IC (I²C) protocol for the new human-form robot developed at the short-term project in the remote-brained robot group. I²C-bus is a serial bus designed by Philips for general purpose in onboard IC communication with 400kbps at the maximum, and has the arbitration mechanism to allow multiple masters. Introduction of I²C-bus and evaluation of the implemented onboard network for our robots are presented.

Keywords : I²C-bus interface, serial bus, multi master, onboard processor, remote-brained robot

1 はじめに

生物の体に大量のセンサ、アクチュエータへの神経配線があるように、実体を持つ知能的な機械であるロボットにとって、多自由度、多センサを実現するには、ボディ上の情報経路をどう実現するかというのは重要な課題である。

ボディの各センサ、アクチュエータの信号線を全てパラレルに一箇所に集めるという方法では、センサ・アクチュエータの量が増えると配線は現実問題として難しくなる。そこで、ボディの領域ごとにワンチッププロセッサによって信号線を集約し、プロセッサ間の通信で必要な情報経路を実現する方法が考えられる。

Philips 社の提唱している仕様である I²C(Inter IC) バスインターフェース¹⁾は、3ラインからなるシリアルバスである。I²C バスには以下のような特長がある。

- 多数のプロセッサを接続できる。
- 任意の1対1での通信ができる。
- マルチマスタである。
- シリアルなので配線が少なくすむ。
- シリアルにしては比較的高速である。

この I²C バスを用いて、ロボットボディ上のプロセッサネットワークを開発した。

2 I²C バスの概要

I²C バスは、拡張の容易な比較的高速なシリアルバスで、ロボットボディ上のプロセッサ間の通信などにしばしば利用される(例えば²⁾)。物理的な接続は SCL(serial clock line), SDA(serial data line), そして GND の3本である。バスの競合を防ぐプロトコルを持っている。また、同一のバスに多数のデバイスを接続できる。しかも、高速なデバイスと低速なデバイス、また、入力・出力・入出力を持つデバイスいずれも接続できる。さらに、マルチマスタという特徴を持っている。本章では、これらについて説明する。

2.1 マルチマスタ

I²C バスはマルチマスタバスで、バスを操作できるデバイスを複数接続できる。バスを介して通信をしているデバイスの間には、マスタとスレーブの関係と、送信者と受信者の関係がそれぞれ独立に存在する。マスタは通信の方向と通信の相手を指定しクロック信号を生成し、スレーブはそれに従って受信又は送信を行う。

それらの関係は固定的なものではなく、通信を行うたびに自由に設定できる。つまり、バスにクロック信号を送ることのできるデバイスはすべて、マスタになることができる。これにより、柔軟な通信形態と拡張性、汎用性が実現されている。

2.2 wired-AND connection

SCL, SDA はそれぞれプルアップされ、wired-AND connection を形成する。バスに接続された複数のデバイスが同時に信号をバスに出力した時、その内一つでも LOW を出力しているとバスの状態は LOW になる。これにより、以下のアービトレーションやクロックの調整の手続きが成り立っている。

2.3 アービトレーション

複数のデバイスが同時にバスを操作しようとした際(同時にマスタになろうとした際)、その内唯一だけがバスの占有を許可される手続きをアービトレーションと呼ぶ。マスタはバスのラインの状態を自分の出力と比較し、自分が HIGH を出力している時にバスのラインが LOW ならばマスタの権利を失う。この手続きにより、バスの競合が起きた時にマスタを唯一つに決定する。

2.4 クロックの調整

複数のデバイスが同時にクロックを出そうとした際、異なる速さのクロックが一本の SCL に送出され得る。この時クロックの調整は次のように行われる。クロックの LOW の期間は最も LOW の長い(最もクロックの遅い)デバイスが出すクロックにあわせられ、クロックの HIGH の期間は最も HIGH が短い(最もクロックの速い)デバイスが出すクロックにあわせられる。これは、やはり wired-AND connection によって実現される。

2.5 I²C バスデータフォーマット

通信の開始と終了は、マスタの生成する開始条件、終了条件によって規定される。

開始条件 SCL が HIGH の状態で SDA を HIGH から LOW にする。この変化を検出するとバスビジーとなる。

終了条件 SCL が HIGH の状態で SDA を LOW から HIGH にする。この変化を検出するとバスは解放される。

1 回のデータ転送は開始条件から終了条件までで規定され、8bit を単位に行われる (Fig.1)。マスタは、開始条件送出後最初の 8bit で、スレーブアドレスの指定とデータの転送方向の指定を行い、以後終了条件までは、8bit を単位に任意の量のデータが転送される。

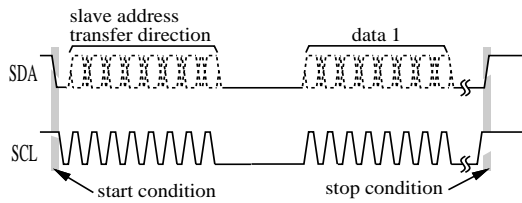


Fig. 1: data transfer on I²C-bus lines

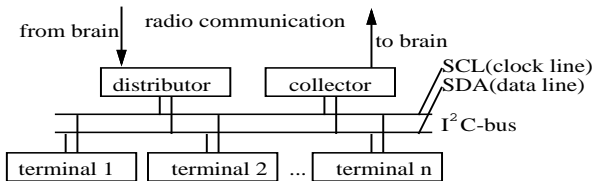


Fig. 2: robot body processor network by I²C-bus

3 実際のロボットへのインプリメント

3.1 ロボットボディ上でのシステム構成

ボディには日立のワンチッププロセッサ H8/3334Y を複数搭載し、それらを全て I²C バスで結ぶ。それぞれのプロセッサはそれぞれ独立した処理を行い、必要なデータの通信を I²C バスを介して行う (Fig.2)。

各プロセッサの役割は、分配役 (distributor)、端末役 (terminal)、収集役 (collector) からなり、それぞれボディの各部に設置する。

分配役 (distributor) 体の各部へアクチュエータ制御情報を送信

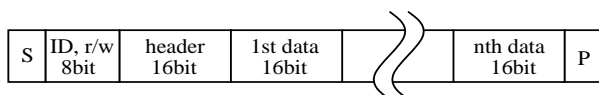
収集役 (collector) 体の各部からセンサ情報を受信

端末役 (terminal) 分配役からアクチュエータ制御情報を受信し、収集役にセンサ情報を送信

3.2 ロボットボディ上での通信データの構成

ボディ上の I²C バスを流れるデータには、分配役プロセッサから端末役プロセッサへのアクチュエータの制御情報、端末役プロセッサから収集役プロセッサへのセンサ情報、の 2 種類がある。バスのデータの単位は 8bit であることを考え (2.5 節)、これらのデータの packets を Fig.3 のように構成した。

ヘッダは packet の先頭がどこかわかるように、データの数値がとり得ないような 16bit の値を設定した。センサ情報の転送は、1 個の収集役が複数の端末役から非同期にデータを受けとるので、データの発信元がわかるように送信者の ID を含むようなヘッダを設定した。アクチュエータ制御情報の転送は、I²C の仕様で最初の 8bit に相手のアドレスを含み、受信者は自ずと指定されるので、ヘッダは単にデータがとり得ない値を設定した。



S: start condition
P: stop condition ID, r/w: slave address and transfer direction

Fig. 3: data packet structure

3.3 通信のプログラム

H8/3334Y は I²C バスインターフェースをハードウェアで持っており、ソフトウェアでラインを監視する必要がない。そこで、通信のプログラムは割り込みによるものと割り込みを利用しないものが考えられる。

今回開発したロボットはリモートブレインアプローチ³⁾に基づいており、分配役はブレインからのサーボ目標値の無線受信、端末役はサーボ制御と AD 変換、収集役はスーパーインポーズによるブレインへのフィードバックを同時に行っている⁴⁾。

分配役は無線の受信信号の読みとりに割り込みを用いており、I²C 通信の割り込みが同時に起こると、無線の信号の読みとりに不備が生じ得るため、I²C 通信は割り込みを使わずにビジーウェイトしながら行う。

収集役と端末役は、それぞれスーパーインポーズとサーボ制御のための処理を定期的に行っており、I²C 通信は割り込みによって行う。

3.4 転送能力

クロックはマスタが生成し、Philips の仕様では標準モードで 100kHz 高速モードで 400kHz までとなっている。現在の使い方では 8bit 毎に両者のパルファ操作があり、実際の転送能力は約 130 ~ 160kbps 程度になる。

n 個の端末役が分配役あるいは収集役との間で、m 個の 16bit の値を t[msec] 周期で転送する時、必要な転送レートは、

$$(16m + 3n) \cdot \frac{1000}{t} \quad [\text{bit/s}]$$

になる。

この式を用いて計算すると、22 個のサーボ目標値を 50msec 周期で分配役から端末役 5 個に送信する場合、バスの占有率は 4.6 ~ 5.6% になる。22 個の AD 変換した値を 33msec 周期で n 個の端末役から収集役に送信する場合、バスの占有率は 7.0 ~ 8.6% になる。

4 まとめ

本稿では、I²C バスを用いたロボットボディ上でのプロセッサネットワークの開発について述べた。

I²C バスの拡張性を利用して多種類の端末役を継ぎ足すことができる。将来ボディにセンサを多種多数搭載してゆく際に、AD 変換と I²C バスインターフェースを持つ IC を利用して、それらを全て非同期に収集役のプロセッサで受けとる構成にすることも可能である。

この方法で、例えば 128byte の制御信号を 8 プロセッサに 20msec 周期で送りつつ (約 48kbps)、256byte のセンサ情報を 16 プロセッサから 33msec 周期で集める (約 64kbps) ことも余裕を持ってできることになる。

参考文献

- 1) Philips. *The I²C-bus Specification*, 1989.
- 2) Maja J Mataric, Martin Nilsson, and Kristian T. Simarian. Cooperative Multi-Robot Box-Pushing. In *Proceedings of the 1995 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Vol. 3, pp. 556-561, 1995.
- 3) 稲葉雅幸. 脳を持ち歩かないロボットによる知能ロボットの研究. 日本ロボット学会第 10 回学術講演会予稿集, pp. 1145-1148, 1992.
- 4) 小室迫光太郎, 水内郁夫, 星野由紀子, 稲葉雅幸, 井上博允. ロボットボディの組み込みプロセッサモジュールの開発 - リモートブレインロボット 春プロジェクト 96 : その 4 -. 第 14 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp. 355-356, 1996.