解説

ロボットコントローラの上位通信インターフェースと内部通信インターフェース

Two Classes of Robot Controller Communication Interface: External and Internal

高 梨 伸 彰* 青 木 一 彦* *日本電気(株) 機能エレクトロニクス研究所
Nobuaki Takanashi* and Kazuhiko Aoki* *Functional Devices Research Laboratories, NEC Corporation

1. はじめに

産業応用においてロボットは、部品を供給するローダや搬送コンベヤ、他の複数のロボット等と組み合わせて使われる場合が多い。近年のインターネット普及に伴いロボットや工作機械をネットワークに直接接続する例も現れ、ロボットコントローラの通信機能の重要性が高まっている。一方、産業機器のオープン化及び低価格化要求に合わせ、関節単位での組み替えを可能とするモジュラ型ロボットや、モータ制御用サーボドライバの構成変更を容易とするパソコン NC 等の発表が増加している。

本稿では、ロボットコントローラを上位制御系と接続するための上位通信方式の例を紹介する。また、ロボットコントローラのオープン化に重要となるロボットコントローラの内部通信方式の例を紹介する。

2. 上位通信インターフェース

2.1 産業応用での通信ネットワーク

大規模生産ラインでは工場全体の生産管理システムとの情報交換や障害の診断など、コントローラと離れた場所にあるホスト計算機との情報交換機能が有用となる。工場内のネットワークの標準化を目的として MAP が制定された。その簡略版であるミニ MAP の位置づけを図 1 に示す[1]。

2.2 インターネットを通したロボットの操作

インターネットの爆発的な普及に伴い、ロボットや加工機器・検査機器等のネットワークとの結合が重要視されている[2]。インターネットのホームページにロボットの操作画面が割り付けられ、アメリカのロボットを日本から簡単に操作できる例も増加している[3][4]。

U. C. Berkeley のシステム[3]ではシリアル通信ポート

図1 ミニ MAP の位置付け

図2 U. C. Berkeley のロボットシステム

によりロボットをワークステーションに接続し、ネットワークから直接ロボットに動作指令を出す(図2)。ユーザがWWW (World Wide Web[5]) のブラウザ上に表示された操作ボタンを押すと、インターネットを通してHTTPサーバがロボットコマンドを送出する。ロボット先端のカメラから移動後の画像がブラウザに送られ、ユーザは遠く離れた場所からロボットを駆動して周囲を見ることが出来る。

原稿受付 1996年8月5日

キーワード: Robot Controller, Communication, Servo Driver, Robot System

*〒216 川崎市宮前区宮崎 4-1-1

*Miyamae-ku, Kawasaki-shi, Kanagawa

RS232C ベース通信コマンドフォーマット

(送信: ホスト計算機 → ロボットコントローラ)

	STX	コマンド	パラメータ(任意)	チェックサム	cr
ASCII 文字数	1	1	n	2	1

(返信: ロボットコントローラ → ホスト計算機)

	STX	ステータス	パラメータ(任意)	チェックサム	cr
ASCII 文字数	1	2	n	2	1

Ethernet TCP/IP 通信コマンドフォーマット

(送信: ホスト計算機 → ロボットコントローラ)

	id	コマンド	パラメータ(任意)
バイト数	1	1	n

(返信: ロボットコントローラ → ホスト計算機)

	id	ステータス	パラメータ(任意)
バイト数	1	2	n

図3 宇宙ロボット遠隔操作システムの通信フォーマット

2.3 上位通信フォーマットの例

上記のような実時間にて上位系から直接操作するロボットは研究用実験システムとして開発例がある[6]。特に遠隔操作ロボットでは通信コマンドによる直接のロボット操作は必須である。一例として宇宙ロボット作業実験システム[7]に適用した通信フォーマットを図3に示す。

ここでは、汎用性を重視した RS 232 C 通信コマンドと高速性を重視した Ethernet TCP/IP 通信コマンドを定義した。RS 232 C 通信コマンドは 7 bit ASCII 文字列からなり、開始文字 (STX: 02 h) に続いてコマンド文字、(必要なら) パラメータ、チェックサム、終了文字 (CR: 0 Dh) からなる。Ethernet 通信コマンドはソケット通信によりデータを直接送受信するため、開始文字 (id)、コマンド文字とバイナリデータ形式のパラメータのみを送受する。両者でコマンド文字とコマンド毎のパラメータ数及び解釈を共通化した。

通信コマンドは、動作コマンドと制御コマンドの2種に分けた。動作コマンドはロボット動作に関連し、動作が完了するまで次のコマンドの実行を猶予する。制御コマンドは上位からの通信を受け付け次第直ちに処理を実行する。RS 232 C 通信コマンドと Ethernet 通信コマンドの定義はほぼ共通である。表1に代表的コマンドをまとめる。

以上の上位通信コマンドを、作業アーム、バイラテラル操作用マスタアーム、ロボットシミュレータ[8]に共通に適用した。図4に应用システムを示す。遠隔操作計算機は上位通信コマンドによりマスタアームから指令値を読みだし、シミュレータに送る。作業アームへのコマンドも共通であり、シミュレータとアームを同時に駆動できる。

宇宙ロボットを遠隔操作する場合、通信遅れにより操作からロボットの動作確認まで数秒かかり作業効率が悪い。シミュレータによれば実時間にて動作を確認できる。さらに本システムではロボットの周囲との干渉反力をシミュレータで検出し、通信コマンドにて実時間でマスタアームに

表1 上位通信コマンド体系

[動作コマンド]

移動コマンド	点間移動	直線移動	相対移動	速度指定
直交座標系	MOV	LMOV	IMOV	VMOV
関節座標系	JMOV	JLMOV	JIMOV	JVMOV
移動関連	位置読出し	速度設定	原点サーチ	
直交座標系	STATE	SVMAX	—	
関節座標系	JSTATE	SJVMAX	HOME	
その他 I/O	ポート出力	条件待ち	ティーチング	
	OUT	WAIT	TEACH	

[制御コマンド]

実行制御	一時停止	復 帰	動作中止	バッファクリア
	HOLD	RESTART	SKIP	CANSEL
直交座標読出	関節座標読出	ティーチング完了	通信終了	
ISTATE	IJSTATE	TEXTIT	EXIT

図4 宇宙ロボット実験システム

返す。いわゆるバイラテラル制御を時間遅れのある系においても実現し、作業効率を向上させている[9]。共通化した上位通信コマンドにて機器間を接続しているため、作業アームが変わるなどシステムの変更にも対応が容易である[10]。

3. 内部通信インターフェース

ロボットコントローラは言語処理や軌道生成を実行する演算部と、モータを駆動するサーボドライバからなる。演算部とサーボドライバ間は従来アナログインターフェースでつながれていた。ここをデジタル化し、オープン化する内部通信インターフェースの例をまとめる。

3.1 シリアルバスによる内部制御コマンド通信

現在、CPU 間でのデータ通信を簡易化するシリアルバスを搭載するワンチップマイクロコンピュータが市販され

図5 シリアルバスインターフェースのシステム構成例

図6 モジュラ型関節と12自由度蛇型ロボット

ている[12]。シリアルバスはクロック線とデータ線の2本を複数CPU間で共通に接続し、最高1[Mbps]でデータを交換する。図5にシリアルバスのシステム構成例を示す。

シリアルバス上でCPUはマスタとスレーブに分かれる。マスタがバスのモードとスレーブCPUアドレスを指定することで、2本のシリアル線のみにて複数CPU間の個別交信を実現する。バスは以下の3種のモードで使用する。

- 1) アドレスモード：マスタが交信相手を指定
 - 2) コマンドモード：マスタがスレーブにコマンドを送信
 - 3) データモード：マスタ、スレーブ間でデータを交換
- シリアルバスを適用し、モジュール間の電気接続本数を大幅に削減した超多自由度ロボット用完全モジュラ型関節の例を図6に示す[11]。制御用CPU、モータドライバを関節に内蔵し、各関節間は、2本のシリアルバスとリセット・割り込み線、電源線及びビデオ用同軸線など、先端から末端まで共通に10本の線で接続されている。前述の上位通信コマンドをインターフェースモジュールによりシリアルバスフォーマットに変換し、ホスト計算機による各関節モジュール個別の制御を実現している。

3.2 SERCOS インターフェース

SERCOS (Serial Realtime Communication System) は光ファイバネットワークによるコントローラ・ドライバ間のシリアルかつ実時間の通信規格である[13]。1つのマ

図7 SERCOS の構成例

図8 SERCOS の通信方式

スタ当たり最大254台のスレーブを光ファイバでリング状に接続する。コントローラはマスタを介して複数リングを制御する。スレーブにサーボドライバを接続する（図7）。

通信方式を図8に示す。1サイクル3フェーズにて通信する。フェーズ(a)ではスレーブとの同期のためマスタから短い同期信号を全スレーブに同報する。フェーズ(b-c)では各サーボドライバからマスタにデータを転送する。マスタは初期化の際に各スレーブにタイムスロットを割り付け、データ転送の衝突を避ける。フェーズ(d)ではマスタから全スレーブへデータが同報される。1サイクルの速度はサーボドライバ数と通信速度に応じて、0.062[ms], 0.125[ms], 0.25[ms], 0.5[ms], 1[ms]またはその整数倍から選択する。通信速度は最高4[Mbps]である。設定パラメータや診断情報、テキスト等の非周期的データも8[Kbps]で交換する。

SERCOSでは指令として位置、速度、トルクの3種類を用意しており、これらを選択して与えることができる。指令の切り口を統一したことで、ハードウェアに依存することなく、ドライバを自由に選択できる。

SERCOSは最初欧州を中心に広まったが、最近では米国の大手メーカでも採用するところが増えており、サーボ

ネットワークの標準に最も近い位置にあるといえよう。

4. お わ り に

ロボットコントローラの上位通信インターフェースと、コントローラ内部の通信インターフェースの例をまとめた。今後両者のインターフェースの標準化が進み、ロボットに関する研究成果の実験・実証が簡単になることを期待するものである。

参 考 文 献

- [1] “ミニ MAP—その応用と導入の手引き—”, (財)国際ロボット・FA 技術センター.
- [2] 浅田, 梁: “米国における次世代産業用ロボットの研究開発”, 日本ロボット学会誌, vol. 12, no. 8, pp. 1083-1087, 1994.
- [3] E. Paulos and J. Canny: “Delivering Real Reality to the World Wide Web via Telerobotics,” Proc. of 1996 IEEE R & A, pp. 1694-1699, 1996.
- [4] K. Goldverg, et. al.: “Desktop Teleoperation via the World Wide Web,” proc. of 1995 IEEE R & A, pp. 654-659, 1996.
- [5] T. Berners-Lee, et. al.: “World-wide web: The information universe,” Electronic Networking: Research, Applications and Policy, 1 (2), Westport CT, Spring 1992.
- [6] 北垣, “ロボットマニピュレータの研究開発プラットフォーム”, 日本ロボット学会誌, vol. 14, no. 1, pp. 26-29, 1996.
- [7] H. Morikawa and N. Takanashi: “Ground Experiment System for Space Robots Based on Predictive Bilateral Control,” Proc. of 1996 IEEE R & A, pp. 64-69, 1996.
- [8] 森川, 高梨: “複数アーム並列動作シミュレーションのためのモジュール構造化ロボットシミュレータ”, 第 13 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp. 769-770, 1995.
- [9] 森川, 高梨, “仮想/予測反力帰還と視覚センシングを用いたアドバンストバイラテラル制御システム”, 第 12 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp. 1059-1060, 1994.
- [10] 木村, 土屋, 高橋, 森川ほか: “ETS-VII 宇宙アンテナ結合基礎実験システムの開発 (その 2)”, 39 回宇科技連, 1995.
- [11] 高梨, 谷嶋, 青木: “完全モジュラー型関節の開発と超多自由度ロボット「おろち」への適用”, 第 13 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp. 499-450, 1995.
- [12] “μPD 78356 ユーザーズマニュアル”, NEC, 1995.
- [13] L. A. Berardinis: “欧州から米国へ進出する SERCOS デジタルアンプの国際標準を目指す”, 日経メカニカル, 1994.11.28, pp. 44-51, 1994.

高梨伸彰 (Nobuaki Takanashi)

1958 年 6 月 8 日生。1983 年東京工業大学大学院精密機械システム専攻修士課程修了。同年日本電気(株)入社。機能エレクトロニクス研究所にて知能ロボット、超多自由度ロボットの制御とメカニズムの研究に従事。現在同研究所メカトロニクス研究部研究専門課長。

1992-1993 年カリフォルニア工科大学客員研究員。計測自動制御学会会員。(日本ロボット学会正会員)

青木一彦 (Kazuhiko Aoki)

1966 年 7 月 19 日生。1991 年慶應義塾大学大学院理工学研究科電気工学専攻修士課程修了。同年日本電気(株)入社。機能エレクトロニクス研究所に勤務。以来、超多自由度ロボット、NC 工作機械などメカトロニクス機器を対象としたデジタル制御系の研究・開発に従事。計測自動制御学会会員。(日本ロボット学会正会員)