

分散処理におけるセンサベース概念

高橋慎治 沢野明郎 阪田史郎 服部光宏
(日本電気(株) C&C システム研究所)

1. まえがき

センサから収集したデータを、コンピュータを用いて処理することは、プロセス制御・フロント制御・自動計測、自動分析/検査等の幅広い分野において、利用されてきた⁽¹⁾。とくにマイクロプロセッサの発展に伴い、計測機器のほとんどは、インテリジェンスを有するものとなってきた。しかし、これらの大部分は、アプリケーション個々の特性や、要求された性能/コストに応じた専用のシステムであり、各種センサやアプリケーションに対して標準的なインタフェースやアプローチ手法を提供する試みは、少数に限られていた⁽²⁾。

センサインタフェースの標準化としては、IEEE 488-IB⁽³⁾、CAMAC⁽⁴⁾等があり、リアルタイム処理を指向した計測制御用のプログラム言語としては、PEARL、CORAL66、リアルタイム BASIC 等の開発や、標準化の検討が行われてきた。これらの試みは、センサベースシステムのそれぞれの側面に着目した汎用化ということかでき、今後、国際的な標準化・統合化が進められることが予想される。

本文では、システムの個々の側面に対応した標準化ではなく、センサベースシステム全般を対象とした、システム管理に関する統合された概念を提案し⁽⁵⁾⁽⁶⁾、実際のアプリケーションへの適用例をまじえて、この概念が、分散処理環境下でも有効であることを議論する。

2. センサベースシステムの特徴

センサベースシステムでは、センサからデータを収集することはもとより、各種のコンピュータ処理をも行なう。このためシステムに対して、以下に示すような様々な要請がなされる。

リアルタイム処理：高速現象の解明やリアルタイム制御などのセンサへの高応答性。

ダイナミックなセンサ制御：センサ・システム間での多様な割込み機能、event-driven制御、フィードバック制御。

データ収集/格納：比較的大量の計測データの収集およびファイルへの格納。

センサインタフェースの多様性：センサのI/Oインタフェースが多様であり、各種センサの接続が可能な汎用インタフェース。

アプリケーション作成支援：センサベースシステムの利用者(非EDP専門員が多い)のための、容易にアプリケーション作成が可能な記述言語。

高信頼性：無人運転、長時間の連続運転、再試行のきかなる計測制御システムに対する信頼性・保全性の保証。

分散管理：センサ、データ、プログラムのシステム上での分散管理。

一方、センサベースアプリケーションは、アプリケーション全体が機能的に明確に区分されたプロセス群から構成される。これらの機能は、センサとコンピュータとの間のデータの入出力と、コンピュータでの処理を中心に4つのSB機能に分類できる。表-1に各機能とその内容を示す。

センサベースアプリケーションでは、これらのSB機能が、相互に関連をもって実行され、一部のものは、並行に実行されることが多い。また、SB機能は分散環境下で、様々な形で分散して実行される。

表1 SB機能

機能	内容
データ収集	センサ群から計測データの収集
センサ制御	センサデータの入出力制御 センサの起動・停止
データ解析	収集データの演算・解析・処理
データ管理	センサデータ・解析データの格納・検索、ファイル管理 出力フォーマット等

3. センサベース管理システム

センサベース管理システム (Sensor Base Management System) は、センサベース概念に基づき、センサベースアプリケーションを統轄する管理システムである。センサベースプロフィールは、センサベース概念を具現化したもので、センサプロフィールとアプリケーションプロフィールとに分けられ、各々独立に記述される。センサとデータの入出力制御部と、データ処理部 (アプリケーションプログラム) との明確な分離により、その間の煩雑なインタフェースにとらわれることなく、容易なアプリケーションの開発やシステムの拡張・変更が可能になる。

3.1 センサプロフィール

センサプロフィールは、特定のセンサを制御するために必要なパラメータ (入出力インタフェース) を記述した物理センサプロフィール (PSP) とアプリケーションプログラムで取扱うデータのセットを記述する論理センサプロフィール (LSP) とから構成される。

PSP は、各センサに対して1つずつ定義されるもので、同一のアプリケーションで、測定器が変わった場合には、対応するPSPが新たに定義されて用いられる。PSPはチャンネルデータ記述部 (CD) と物理センサデータ記述部 (PSD) とから構成される。PSDはセンサにとっての意味のあるデータの記述部であり、CDは、センサと実際にやりとりする生データの特性を記述したものである。センサ

表-2 センサプロフィールの記述項目

		PSP		LSP
		CD parameter	PSD parameter	LSD parameter
Identification		—	PSD name	LSD name
Relation		Relation between CD and PSD • CD access number		Relation between PSD and LSD • Related PSD name • Base PSD name • PSD access number
Data attribute	Type	Analog, Digital	Binary, Decimal, Octal, Hexadecimal, Character, Bit image	Binary, Decimal, Octal, Hexadecimal, Character, Bit image
	Input/Output	Input, Output, Bidirectional	Input, Output, Bidirectional	Input, Output
	Format	Bit length, Parity	Data item bit length	Data item bit length
	Structure	—	Single, Vector, Matrix	Single, Vector, Matrix
	Range	—	Upper limit, Lower limit	Upper limit, Lower limit
Control characteristics	Transfer timing	Sensor interruption, Sampling timer, Software demand	Sensor interruption, Sampling timer, Software demand	PSP interruption, Application program demand
	Signal waveform	Continuous waveform, Quantized waveform	—	—

コンピュータ間での通信路 (Channel) に制約がなければ、両者の間の本質的な差異はない。通信路上に制約がある場合には、CD から PSD を組立てる必要があり、この場合の整列化 (Sequencing) は、SBMS 中の PSP制御モジュールの空間的・時間的な同期制御により、実現される。

アプリケーションプログラムがアクセスする、意味のあるデータの基本的なセットを、論理センサデータ (LSD) と名付ける。LSD と PSD の関係や、LSD の属性を記述したものが LSP である。センサプロフィールの記述については、表-2 に必要な項目を示した。

センサ側から、通信路を通して得られたデータが、アプリケーションプログラムに取入れられ、処理の結果を再びセンサ側へ出力するまでの経過を空間的に示したものが図-1 である。

通信路を通して得られたデータ (CD) は、PSP に記述された関係をもとに、PSD に組立てられる。PSD は、LSP に記述された関係をもとに、LSD に組立てられる。図-1 にあいて、LSD X_i は 2 種類の PSD (a, b) から構成されている。この LSD がアプリケーションプログラムからアクセスするデータの単位である。

例えば、トランジスタの特性を測定する場合には、電圧計と電流計を用いて、ベース電流をパラメータとした、コレクタ電圧、電流を測定する。アプリケーションプログラムで取扱う単位は、この一つの電圧値と、二つの電流値とを組にしたものとなる。

3.2 アプリケーション プロフィール

センサベースシステムのアプリケーションは、前述の 4 つの SB 機能の個々独立な処理と、各 SB 機能相互の同期によって遂行される。アプリケーションプロフィールは、それぞれに対応する機能コマンドテーブル (FCT) と機能インタフェーステーブル (FIT) の二つのテーブルから構成される。

機能コマンドは、SB 機能を呼び出すために、対応する LSP を呼び出す INVOKE コマンドと、各 SB 機能に対応する 5 種類のコマ

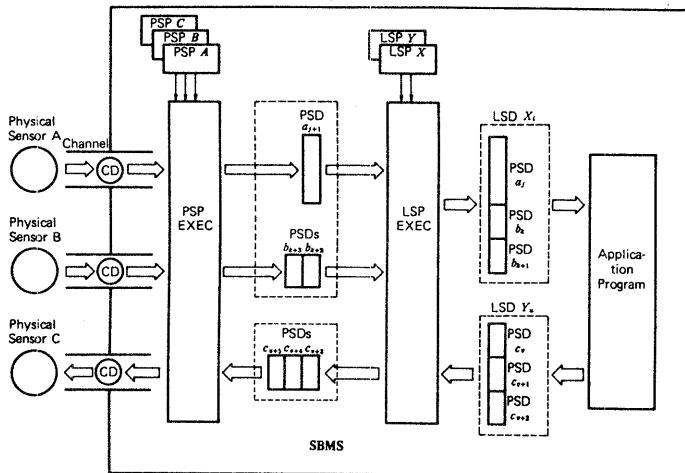


図-1 CD, PSD, LSD とセンサプロフィール

表-3 機能コマンドテーブル

Command	Parameter
INVOKE	LSP name
COLLECT	Activation type external event-driven from LSP time completion interruption program call from other SB function LSD name Amount of data accessed at one time Accessing frequency
CONTROL	Activation type LSD name Accessing frequency
ANALYZE COMPUTE SOLVE	Activation type LSD name Procedure name Time-responsiveness time-critical real time low-demand real-time non real-time processing
STORE	Activation type LSD name Function type (store/retrieve) File name Data storage amount
DISPLAY	Activation type LSD name Display device Display format

ンド（データ管理機能を STORE と DISPLAY に分割した）から成り立っている。これらコマンドとそのパラメータを表-3に示す。FCT においては、パラメータを指定した SB機能コマンドの実行順序が記述される。

各SB機能間の関係や、SB機能とLSP間の関係（メッセージインタフェース）を記述したものが、FITであり、表-4に示す。この表中で、各機能間相互の関係の有無・逐次処理/並列処理、サブルーチン/ルーチン・コールなどが指定される。

表-4 機能インタフェーステーブル

DA	SC	DP	DM	
FDX/HDX Transmission window size Definite/No response	Demand-driven feedback/ Timeout-driven feedback Immediate/Delayed control Expedited response	Immediate processing/ Delayed processing	Interfaced/Non-interfaced	LSP
	Interfaced/Non-interfaced Serial processing/Parallel processing Subroutine call/Coroutine call	Interfaced/Non-interfaced Serial processing/Parallel processing Subroutine call/Coroutine call	Interfaced/Non-interfaced Serial processing/Parallel processing Subroutine call/Coroutine call	DA
		Interfaced/Non-interfaced Serial processing/Parallel processing Subroutine call/Coroutine call	Interfaced/Non-interfaced Serial processing/Parallel processing Subroutine call/Coroutine call	SC
			Interfaced/Non-interfaced Serial processing/Parallel processing Subroutine call/Coroutine call	DP

SB functions
 DA: Data Acquisition
 SC: Sensor Control
 DP: Data Processing
 DM: Data Management
 LSP: Logical Sensor Profile
 FDX: Full Duplex
 HDX: Half Duplex

3.3 システム管理

センサベース管理システムは、PSP, LSP, FCT, FIT 等をもとに、システムの管理・制御を行なう。センサを制御しながら、高速でデータを収集し、さらに収集データの数値解析・演算、大容量ファイルへの格納等を含んだ、個々独立な、トータルなセンサベースアプリケーション群を、並列に実行させるためには、システム管理上必要なデータを予め知っておかなければならない。アプリケーションの規模や利用する資源の詳細は、FCT 中の ANALYZE コマンドの Procedure 名と STORE コマンドの File 名、格納データ量とから知ることができる。処理の早さに対する要求は、COLLECT, CONTROL コマンドの Access 周期, ANALYZE コマンドの処理時間に対する要求から判断する。

4. 分散環境下のセンサベースシステム

センサベースシステムの基本的な構成要素は、センサとコンピュータである。センサコンピュータともそれぞれ分散させることができるが、センサの分散については、（センサが集中して配置されたものと）管理システム上の本質的な差異は見られない。

コンピュータ部分の分散では、相互に同一の機能をもったものの結合（水平分散）と、階層構造を有するもの（垂直分散）とに分けることができる。垂直分散では、センサベース機能の分担やコントロールとデータの同期制御などが問題となってくる。一般には、アプリケーションごとに最適な階層構成、機能分担が決まる。本文で提案する SBMS では、様々なセンサベースアプリケーションに対応できるシステム構成をヒリ、機能分担の一部は、それぞれのアプリケーションに

応じて、ダイナミックに行なう。

センサベースネットワークの構成要素（ネットワーク・ノード）としては、大型コンピュータ（HOST）、ミニコンピュータ（SATELLITE）、マイクロプロセッサ（Sensor Interface Processor）の3種類があり、通常、図-2のような構成が考えられる⁽⁷⁾。以下では、このようなネットワーク構成において、SB機能と、具体的にどう分担するかと述べる。

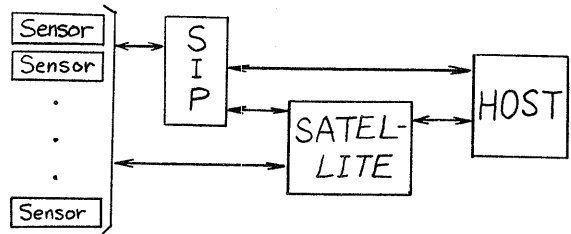


図-2 SBMS ネットワーク構成

センサプロフィール：センサプロフィールの開発・登録には、強力なファイルの利用が必要であり、アプリケーションプロフィールの開発・登録と合わせて、HOSTで行なわれるのが妥当である。アプリケーションが起動されると、アプリケーションプロフィールに指定されたセンサプロフィールが HOST から SATELLITE にロードされる。センサからのデータ収集速度や、アプリケーションプログラムの論理等を考慮して、ネットワークにおけるコンピュータ間通信のオーバーヘッドを低減させるように、実行時のプロフィールが分散される。実行時のセンサ制御にかかわるセンサプロフィールの統括実行は、SIP でなされるが、SIP のバッファ容量や、処理速度を越えることが予想される場合には、センサプロフィールの実行管理が、直接 SATELLITE で行なわれることもある。

アプリケーションプロフィール：FCT と FIT とで記述されるアプリケーションプロフィールや、アプリケーションで使用するプログラムは、HOST のファイルに格納される。センサベースシステムの実行管理 EXEC（SB Management EXEC）は、コスト/パフォーマンス から見て、SATELLITE 上に駐在させるのが最適と考えられる。アプリケーションの実行開始とともに、アプリケーションプロフィールは、HOST のファイルから SATELLITE にロードされ、FCT と FIT のパラメータが分析される。SB Management EXEC は、この分析に従って、各 SB 機能を SIP、SATELLITE、HOST のうちの適当なものに分担させるとともに、実際の実行を管理する。ネット

ワークノード上の SB 機能間の関係を図-3 に示す。

データの分散管理：

センサベースシステムにおいて取扱うデータのなかには、センサの直傍で保存されることが望まれるものもある。

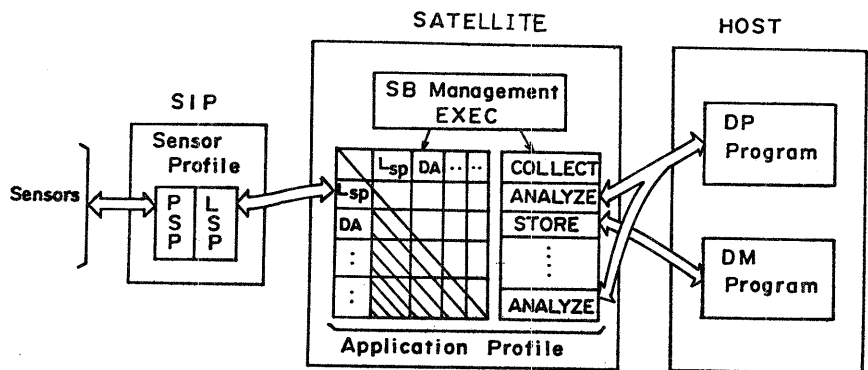


図-3 SB機能とインターフェース

一般のユーザに、異なるネットワークノード上の複数のファイルを意識させることは望ましくはない。SBMS においては、直接ユーザには見えない形でファイルを転送する機能(仮想ファイル転送機能)を提供し、データファイルやプログラムの格納場所を、ユーザに意識させずに使用できるようにしている。

プログラム間通信: SB機能を実現するアプリケーションが、異なるノードで分担されて実行される時、それぞれのノード上での処理は、要求に応じてシリアルまたはパラレルに実行される。SBMS では、POST, WAIT, RESUME, CHECK 等のコマンドを、アプリケーションプログラムから利用できるようにし、ノード間の処理の同期がとれるようにしている。ユーザはアプリケーションプログラムの記述において、相互のSB機能間で、同期のパラメータによって、並列走行、逐次走行の指定ならびに、他の機能をサブルーチンとして用いるか、コールアウトとして用いるかの指定ができる。

5. 日本電気研究所の LA システム^{(2),(9)}

本システムは、センサベース概念を、ラボラトリオートメーションに対して、一部実現したもので、図-4 に示すように、3種類のコンピュータによる階層型分散ネットワークシステムである。SIP (Sensor Interface Processor) は、本システム用に開発された専用端末⁽¹⁰⁾で、マイクロプロセッサを内蔵し、同時に4つのセンサを制御することができる。2台の SATELLITE は、それぞれ、センサベースシステム全体の管理と、図形入出力の制御機能を分担している。HOST では、主に、データの解析・管理とプログラムの開発とを行なう。各ノード間は、通信回線またはデータハイウェイを介して結ばれている。SATELLITE と HOST は TSS モードで動作し、同時に12のアプリケーションが、独立に、並列に走行する。

本システムでは、各ノード間で、汎用ネットワークアーキテクチャ DINA (Distributed Information-processing Network Architecture) に準拠した通信プロトコルの階層化が実現されている⁽¹¹⁾。SIP と N3200/70 の間では、センサゲートの開閉や、データの入出力、センサや端末からの割込み、状態通知等通常のホスト-端末間通信に、実験計測特有の制御機能を付加した形で、種々のプロトコルが規定されている。N3200/70 と ACOS 700 との間では、機能制御レベルの各種高位プロトコルが規定され、対応するコマンドが提供されている。表-5 に、本システムの代表的なコマンドを掲げる。

LAネットワークの活性化/非活性化: N3200/70 から ACOS 700 に対して送信される ACT NW コマンドにより、ACOS 700 側では、各種資源やジャーナルファイルの確保、課金/統計情報収集プログラムの初期化を行なう。

ネットワーク上のアプリケーションの制御:

SATELLITE と HOST 上にまたがって実行されるアプリケーション(ネットワークジョブ)では、各アプリケーションごとに、対応

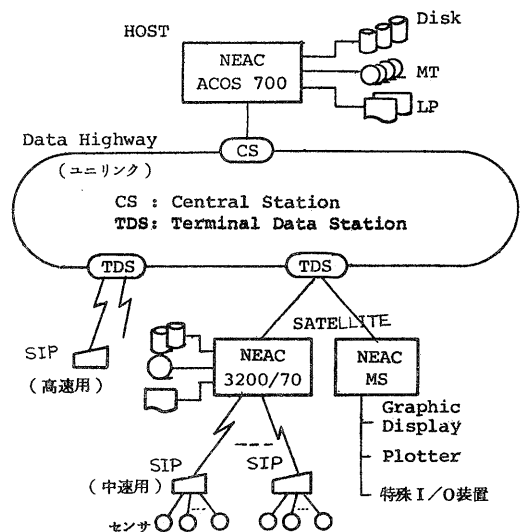


図-4 日本電気研究所の LA システム構成

表-5 LAネットワーク 高住プロトコル

	機 能	コマン
ユーザ利用	ネットワークジョブの起動/停止	START JOB / END JOB
	プログラム間通信 ・データ転送 ・ファイル転送	TRANSFER DATA TRANSFER FILE
ネットワーク管理	ネットワークの活性化/非活性化	ACT NW / DACT NW
	ネットワークジョブ制御	TRANSFER PROGRAM
	障害管理, 運用管理 ・ネットワーク縮退指示 ・リカバリ要求/完了通知 ・ノードの状態通知 ・課金統計情報転送	ISOLATE RECOVER / RECOVERED NODESTAT, REPORT ACCOUNT, STATISTICS

するプログラム間での論理リンクを設定し、必要な情報の送受を行なう。SATELLITE上で動作するユーザプログラムは、HOST上のクロスソフトを用いて作成や修正が行なわれる。出来あがったプログラムは、HOST上のSATELLITE用プログラムファイルに登録され、ユーザのアプリケーションが実行されるのと独立に、システム制御用の論理リンクを通して、SATELLITE上のユーザプログラムファイルに転送される(タウンラインロード)。

障害管理・運用管理: ネットワークの縮退指示は、HOST上のシステム管理プロセスがLAネットワークノードとしての異常を検出した時にSATELLITEに送出される。SATELLITEは、自身でHOSTの異常を確認したときや、縮退指示があった場合に、HOSTを切離し、SATELLITEとSIPとでのローカルな処理を続行する。SATELLITEからは、必要に応じて、ネットワーク管理者の操作等により、リカバリ要求が出され、ノードの状態通知、リカバリ完了通知等のコマンドによりHOSTの状態がSATELLITEに通知される。

本システムは、研究所内のユーザに様々な形で使われ、日常の研究開発活動に有効に利用されている。LAシステムを利用して行なわれている実験(センサベースアプリケーション)の例を表-6に掲げる。このうちの、フィルタの特性測定実験におけるセンサプロフィールの記述例を表-7に掲げる。

6. あわりに

センサベースシステムの概念を、分散処理環境下での展開を中心に紹介するとともに、この概念をLAシステムに適用した例について示した。センサベースプロフィールの導入は、走行効率に関する幾分の性能低下は免れないが、センサ自身やセンサインタフェースの多様性を吸収するとともに、アプリケーションの開発を容易にし、総合的には、充分効果を発揮している。今後は、アプリケーションの形態に応じた最適な機能分散、とくにSIPとSATELLITEにもたせるべき機能、転送オーバーヘッドを考慮した、センサベースプロフィールの分散等に関する検討を深めるとともに、あわせて評価を行なうべく予定である。最後に、本文の作成にあたって御協力、御助言を頂いた、日本電気研究所LAプロジェクトの関係各位に感謝致します。

表-6 NECのLA利用アプリケーション例

磁気バブル素子 膜厚測定
フィルタ特性測定
トルクメータ(磁気異方性測定)
半導体キャリア濃度分布測定
多数白電気炉制御(データ処理)
GaAs 結晶成長
磁気ディスク 表面粗さ検査
レーザー分光評価測定
トランジスタ 特性評価測定

表-7 センサプロフィール記述例

PSP	LSP
<p>Upper-limit PSP. 01 Upper-limit PHYSICAL SENSOR DATA ; Decimal 4 digits ; Output ; Elementary ; 100-2000. TRANSFERRED DATA ; Binary ; 0 ; 16 bit ; Software interruption</p>	<p>Frequency-range LSP. 01 Frequency-range, 02 Upper-limit STANDARD. 02 Lower-limit. 02 Sampling-interval.</p>
	<p>Instrument-data LSP. 01 Instrument-data 02 Gain STANDARD. 02 Phase. 02 Frequency.</p>
	<p>Plotter LSP. 01 Plotter. 02 Vertical STANDARD. 02 Horizontal.</p>

参照文献

- (1) J. D. Schoeffler, "Tutorial on Minicomputer Realtime Executive", *COMPCON 74*, 1974.
- (2) 釜三夫, 「ラボラトリオートメーションの現状と趨勢」, *情報処理*, Vol.19, No. 2 pp.165-172 (1978).
- (3) IEEE Standard Digital Interface for Programmable Instrumentation, *IEEE Std. 488-1975* SHO4887.
- (4) CAMAC Instrumentation and Interface Standards, *IEEE Standards in Hardcover Edition* SHO 6347.
- (5) A. Sawano, S. Sakata, H. Yoshimoto, S. Takahashi and M. Hattori, "Sensor Base Management Systems in Distributed Processing Environment," *Proc. 3rd USA-Japan Computer Conference*, pp.22-27, (1978).
- (6) 阪田史郎, 沢野明郎, 高橋慎治, 服部光宏, 「センサベース管理システム(SBMS)のラボラトリオートメーションへの応用」, *シミュレーション技術研究会論文集* Vol.Ⅶ, No.3, pp.29-34, (1978)
- (7) H. Cole, "System/7 in a Hierarchical Laboratory Automation System", *IBM System J.*, Vol. 13, No. 4, pp. 307-324 (1974)
- (8) 阪田, 沢野, 吉本, 高橋, 服部, "LAシステムにおけるセンサ制御方式", *信学全大*, 1339 (1978)
- (9) 沢野, 阪田, 吉本, 高橋, 服部, "LAシステムにおけるセンサベース管理システム SBMS", *信学全大*, 1340 (1978)
- (10) 荒川, 阪田, 沢野, 菊地, "LAシステム用センサ制御端末", *信学全大*, 2049 (1978)
- (11) 阪田, 沢野, 高橋, "LAシステムにおけるネットワーク制御プロトコル", *情報全大*, pp.677-678, (1980)