

1. はじめに

機械部品の CAD・CAMシステム、特に形状モデルにCSG 記述を用いたシステムにおいて、扱う形状の複雑化、要求される精度の向上、設計から製造までの期間の短縮に代表されるように、その処理対象の要求する計算量は近年ますます多くなりつつある。すなわちCAM・CAE・マンマシンインターフェイスに代表される、形状モデルを扱う形状処理のアプリケーションの高速化が要求されている。

加えてCAD・CAM システムの対話的利用が求められていることは、これらのアプリケーションの高速化を利用者の端末におけるハードウェア環境で実現する事を要求している。

ここでは、CSGモデルを利用し、かつ光線探索法を応用して実現できるアプリケーションに限定して、以上の問題の解決手段として、CAD・CAMシステムのアプリケーションを、複数の小規模な専用ハードウェアの分散処理により実現する方法を提案する。

次章で、提案するシステムの構成について述べ、続く章で、アプリケーションをそのシステムで実行させるための方法について形式的手法を展開する。

2. 分散処理CADシステムのハードウェア構成

提案するシステムは、次に示す一般的な(端末のハードウェア環境に実現可能な大きさの)ハードウェア要素から構成される:

① プロセッサ要素RCproc

CSG 光線探索アプリケーションは、複数の探査直線に対して順に同一の処理を行なうことを前提とする点で、パイプライン処理方式が適している。従って分散ハードウェアを構成する要素であるプロセッサは、①無限ストリームを入出力とする、②他のプロセッサとの通信のために一組の通信チャンネルをもつ、③特定の(CSG 形状処理向き)処理に専用化しているプロセッサ要素群(RCproc)とする。

ここで、CSG アプリケーションはその処理内容に5種類のデータの型(ソート)、すなわち①3次元ソリッド形状SOLID、②ブール関数全体の集合SETP、③画面(すなわち探査直線を指定する位置、方向ベクトルの集合)SCRN、④結果の情報であるRSLT、⑤アプリケーション固有の環境情報であるENVI、を含む事に注目すると、専用プロセッサはこれらのソートを独立に扱う単位で構成されることが望ましい。そこで各ソートのデータ型を扱うのに適した専用プロセッサを次のように用意する¹⁾。

②形状集合演算プロセッサSP: (SETP, SOLID)

一次元集合上の区間に対する集合演算を行なう。

③プリミティブ交点計算プロセッサIP: (SCRN, SOLID)

SCRNで指定される直線とSOLIDとの相貫の区間の計算を行なう数値計算プロセッサ。

④結果出力プロセッサDP: (RSLT)

⑤アプリケーション環境プロセッサEP: (ENVI)

アプリケーションの実行に固有な環境情報を導入する。例えば濃淡画像生成であれば、光源・反射モデルなど。

② 結合プロセッサ群 CPproc

無限ストリームを対象とし、複数の入出力をもち、それらの割り当て(データの並び替え操作等)がプログラム可能な、データ流の操作専用プロセッサを用意する。種類とその機能は設計に関する章(3章)に述べられる。同一の種類のプロセッサ要素を複数接続する用途に用いる。

③ スイッチング・ネットワーク²⁾

マルチプロセッサシステムに通常用いられる、相互接続ネットワークを用意する。

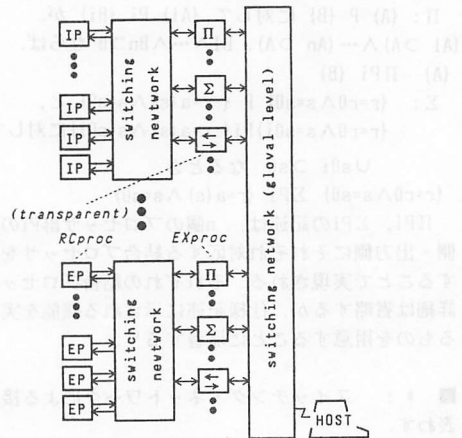


図1. 分散処理CADシステムのハードウェア

以上の要素を図1に示す構成にシステム化する。すなわち②~④のそれぞれの種類の複数のプロセッサ要素をスイッチング・ネットワークを介して複数の種類の結合プロセッサと接続し、それらをさらにスイッチング・ネットワークにより相互に接続する構成を持つ、分散処理システムを構成する。

与えられたアプリケーションをこの構成により実行する方法、すなわちスイッチング・ネットワークの接続の決定、結合プロセッサの動作内容の決定、各プロセッサの処理内容の決定は、次章に述べる形式的方法によりおこなう。

3. アプリケーションに対する分散処理システムの導出

以上の構成をもつシステムの一般論を論じるために、対象とするシステム、問題を、形式的なモデルで扱うアプローチをとることが望ましい。そのため次に示す項目を、集合・述語論理の枠組で定式化する事を以下行なって行く。その後目的とするシステムをこの枠組で明らかにする。

① システムを記述する記号のセマンティクス⁹⁾

扱う記号を次のように定義し、その意味をHoar式の記述方法⁹⁾で定義する。さらに記法のハードウェアによる解釈を同時に示す。以下簡略化のため初期状態の変数を記号 σ で代表させ、変化した変数のみを明示するものとする。また基本関数の意味は省略する。

■ IP, SP, DP, EP : それぞれプロセッサ要素を示す。

- IP: $s_1, \dots, s_n \in \text{INTV}, f \in \text{SETP}, o \in \text{INTV}$ として、
 $\{\sigma\} \text{ SP } \{\sigma \wedge o = f(s_1, \dots, s_n)\}$
- SP: $s \in \text{SOLID}, r \in \text{SCRN}, o \in \text{INTV}$ として、
 $\{\sigma\} \text{ IP } \{\sigma \wedge o = \text{ip}(s, r)\}$
- DP: $o \in \text{RSLT}, s \in \text{DIN}$ として、
 $\{\sigma\} \text{ DP } \{o = \text{dp}(s)\}$
- EP: $i \in \text{EIN}, o \in \text{EOUT}, e \in \text{ENVI}$ として、
 $\{\sigma\} \text{ EP } \{\sigma \wedge o = \text{ep}(e, i)\}$

■ Π, Σ : 2種類の結合プロセッサを表わす。

Π : $\{A\} P \{B\}$ に対して、 $\{A_i\} P_i \{B_i\}$ が、
 $(A_1 \supset A) \wedge \dots \wedge (A_n \supset A), B_1 \wedge \dots \wedge B_n \supset B$ ならば、
 $\{A\} \Pi P_i \{B\}$

Σ : $\{r=r_0 \wedge s=s_0\} P \{r=a(s) \wedge s=s_0\}$ と、
 $\{r=r_0 \wedge s=s_0\} P_i \{r=a(s) \wedge s=s_0\}$ に対して

$\cup s_0 i \supset s_0$ なるとき、
 $\{r=r_0 \wedge s=s_0\} \Sigma P_i \{r=a(s) \wedge s=s_0\}$
 $\Pi P_i, \Sigma P_i$ の記述は、 n 個のプロセッサ群 P_i の入力側・出力側にそれぞれ対応する結合プロセッサを接続することで実現される。それぞれの結合プロセッサの詳細は省略するが、仕様記述に示される機能を実現するものを用意することに帰着する¹⁾。

■ * : スイッチング・ネットワークによる接続を表わす。

$\{A\} P \{B\}, \{C\} Q \{D\}, B \supset C$ ならば、 $\{A\} P * Q \{D\}$

$P * Q$ の記述は、単に Q の出力を P へルーティングすることで実現される。 P, Q が結合プロセッサの入/出力であれば、図1の大域的なネットワークをそのままスイッチすればよいが、プロセッサ要素である場合には結合プロセッサは単なるデータの通過に設定されなければならない。

② システムを記述するシンタックス¹⁾

以上の記号の意味付から、2章に示したシステム構成を記述するシンタックスを次のBNF記法で与える。

$\text{SYSTEM} ::= \langle \text{Term} \rangle | \{ * \langle \text{Term} \rangle \}$;

$\text{Term} ::= \langle \text{RP} \rangle | \langle \text{結合子} \rangle \langle \text{RP} \rangle$;

$\text{RP} ::= \text{IP}, \text{SP}, \text{DP}, \text{EP}; \quad \text{結合子} ::= \Pi, \Sigma$;

③ アプリケーションの記述

①のセマンティクス記述に用いたHoar式の記述方法及び基本関数を用いて、アプリケーションの仕様を形式的に記述する。

$s, s_1, \dots, s_n \in \text{SOLID}, f \in \text{SETP}, v \in \text{SCRN}, e \in \text{ENVI}, r \in \text{RSLT}$ として、

$\{s_1 = s_0 \wedge \dots \wedge s_n = s_0 \wedge f = f_0 \wedge v = v_0 \wedge e = e_0 \wedge r = r_0 \wedge s = f(s_1, \dots, s_n)\} \text{APPLY } \{r = \text{apply}(s, v, e)\}$,

ここで $\text{apply}(s, v, e)$ はアプリケーションを行なう関数であり、①の基本関数を利用して具体的に記述される。

④ システムの構成方式の決定

この記述に対して、シンタックスに従って、結合子の公理を適用して RPproc を用いて書き換える事で、目的の分散処理システムによるアプリケーションのプロセッサ構成が得られる。

得られた記述を①、②に示したハードウェアへの実現方法によって接続を決定することで、目的のアプリケーションを実行するシステムの設定が行なわれる。

【例】例えば記述 $\Sigma \text{SP}_i * \Sigma \Pi \text{IP}_i$ は、図2に示す接続により実現される。

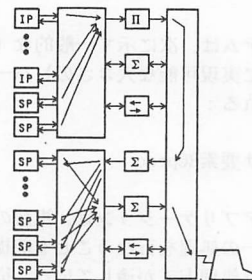


図2. ネットワークの導出例

4. 結論

1. CSGモデルに対する光線探索法を用いるCAD/CAE/CAEシステムのアプリケーションを実行する、分散処理システムを提案した。

2. 提案した分散処理システムによるアプリケーションの実現の方法論を、Hoar式の形式的方法論によって定式化した。

【参考文献】

- 1) 三上, 嘉数: CSGエンジンの構築に関する研究, 精密工学会1989年度春季大会講演論文集, pp. 827-828.
- 2) K. Hwang, F. Briggs: Computer Architecture and Parallel Processing, McGraw-Hill (1985).
- 3) D. Mandrioli, C. Ghezzi: Theoretical Foundations of Computer Science, John Wiley and Sons (1987).