

## 信号処理向きデータ駆動型プロセッサ用の

5 X-8

## ソフトウェア部品の一検討

西條 守<sup>†</sup> 唐澤 圭<sup>†</sup> 岩田 誠<sup>††</sup> 寺田 浩詔<sup>††</sup>  
<sup>†</sup>大阪大学大学院 工学研究科, <sup>††</sup>高知工科大学 情報システム工学科

## 1 はじめに

システム開発過程におけるソフトウェアの生産性向上は非常に深刻な課題となっており、統合的かつ体系的なシステム開発が求められている。このため、図的なシステム仕様記述から実行可能プログラムを直接的に生成する環境 AESOP を構築している [1]。本稿では、ハードウェアの制約を抽象した仕様記述の部品体系を提案し、これらを用いれば、信号処理に最適化された専用アーキテクチャを採用しているデータ駆動型マルチプロセッサ Qv-s を実行機械としても、高性能なプログラムを直接生成可能なことを示す。

## 2 ソフトウェア部品の要件

仕様記述水準の部品はその実現法からの制約を受けずに再利用可能であるべきである。このため、AESOP では仕様記述の各種の図的表現形式、および、実行機械に制限されない本質的な情報を表現する中間的なプログラム形式を導入し、この水準で部品の安全性・可搬性を保証する方法を採用している。

実行機械の制約は一般に次のように分類できる。  
 物理的制約：デジタル化による制約。たとえば、無限小数や無限大数は近似的に扱わざるをえない。（ゼロ除算、オーバ/アンダー・フロー時の処理など）  
 機能制約：プロセッサの命令セットやデータ形式に係わる制約。たとえば、中間形式水準で指定された機能が命令セット内に存在しない場合、部品ライブラリを構築する必要がある。（高級関数や多倍精度演算などのライブラリ）

資源制約：（マルチ）プロセッサの構成に係わる制約。各プロセッサの処理能力、各種記憶容量などを考慮した負荷・機能分散を施す必要がある。

これらの制約を抽象化可能なソフトウェア部品を中間形式水準に導入するために、まず要求される機能群に関する部品ライブラリを用意する。この際、処理資源の利用状況に応じた負荷・機能分散を可能にするために、機能と入出力インタフェースは同一であるが実現法が異なる複数の代替部品を作成する。言う

“A Study on Software Components for Signal Processing Oriented Data-Driven Processor,” Mamoru SAIJO<sup>†</sup>, Kei KARASAWA<sup>†</sup>, Makoto IWATA<sup>††</sup> and Hiroaki TERADA<sup>††</sup>.  
<sup>†</sup>OSAKA University, <sup>††</sup>Kochi University of Technology

までもなく、これらの代替部品は実行機械のアーキテクチャ向きに最適化されたものでなければならない。

## 3 Qv-s 用プログラム部品とその適用法

データ駆動型プロセッサ Qv-s [2] は、画像・音声信号処理を専用用途として、目的に応じて特化された4種のナノ PE (Nano Processing Element) が機能分散型マルチプロセッサとして1チップに集積された、一種のメディアプロセッサである。また、ストリーム型の高速度信号処理アルゴリズムの性質上、個々のナノ PE におけるプログラム記憶（以下 PM）と待ち合わせ記憶（以下 MM）は比較的小容量に抑えられている。したがって、これらの記憶領域の制約をできる限り隠蔽可能なソフトウェア部品を構成して、適切に適用する必要がある。

## 3.1 部品構成法

機能制約 中間形式の機能構造を維持したまま適用可能なソフトウェア部品を構成する。ストリームの分流 (decompose)・合流 (compose) 部品により、タグ操作を抽象化する。

資源制約 一つの機能に対して複数の代替部品を構成する。発火 (matching) 部品により MM の機能を他のナノ PE 内の MM により代替する。また、複製 (copy)・同期 (sync) の代替部品は各ナノ PE 内の PM の消費量を均衡化する。

各ナノ PE (INT, GNT, SYC, TBL, VMC, SUM) で利用可能な代替部品の例を表1に示す。

表1: Qv-s プログラム部品における代替部品

	INT	GNT	SYC	TBL	VMC	SUM
compose	×	○	×	×	×	×
decompose	×	○	×	×	○	×
matching	○	○	○	○	×	×
copy	○	○	○	○	○	○
sync	○	○	○	○	×	×
add	○	×	×	×	×	×
mul	×	×	×	×	×	○

データ駆動型マルチプロセッサでは、プロセッサ間通信に余分なコードを必要としないので、上記の部品構成だけでプログラムを分割配置できる。

## 3.2 部品適用法

AESOP では大規模なアルゴリズムの有効性を随時

確認可能な環境を提供するため、インクリメンタルに追加・修正される仕様記述に対して、実行形式プログラムを加法的に生成してプロトタイプ実行する。この際、利用可能な処理資源を最大限に活用して、スループットを極大化できる実行形式プログラムを生成しなければならない。しかしながら、加法的なプログラム生成では最適化不可能な場合があるので、仕様が確定した時点で、ユーザの要求スループットを達成するために、全体的な最適化を図る一括生成法も導入している。

(a) 追加的生成法

各ナノPEは個々に独立したPM、MMを持っているため、プログラムを効率よく各記憶機構に分散する戦略を採る。具体的には、部品を適用した後のナノPEごとのPM、MMの消費量を入力とする評価関数  $F_1, F_2$  を以下のように定義する。

$$F_1(X_i | \forall i \in I) = E(X) \times (\sigma(X) + \alpha), \alpha: \text{定数}$$

$$F_2(Y_i | \forall i \in I) = E(Y), \max(X_i) < a_i, \max(Y_i) < b_i | \forall i \in I$$

ただし、 $I = \{\text{INT, SYC, GNT, TBL, VMC, SUM}\}$ 、部品を適用した後のナノPE  $i (i \in I)$  のPM-MM消費量を  $X_i, Y_i$ 、 $X_i, Y_i$  の最大許容数を  $P_i, M_i$ 、PM-MM消費量の平均値を  $E(X), E(Y)$ 、PM消費量の分散を  $\sigma(X)$  とする。

この評価関数を用いて、まず部品毎に  $F_1$  を算出し、 $F_1$  が最小となる部品を適用する。 $F_1$  が等しくなる場合は  $F_2$  が最小となる部品を適用する。

(b) 一括生成法

確定したプログラムサイズのもとで、ナノPE間の通信時間を考慮する一括生成アルゴリズムを以下に示す。その際まず図1のように部品を以下の部品選択アルゴリズム select により選出する。

【部品選択アルゴリズム select】

- $\{c | \min(a(c)) \text{ where } \min(T(c, c')), c' \in \text{adj}(c)\}$
- $\{c | \forall i, X_i < P_i\}$

【一括生成アルゴリズム】

- STEP1  $\{c | \forall n \in N, \min(a(c))\}$  を適用する。
- STEP2  $\exists i; Y_i > M_i \Rightarrow$  パス長が最小の部分において、 $\max(T(c, c')), c' \in \text{adj}(c)$  となる二入力部品  $c$  に優先的に、matching 部品を select に従って適用する。
- STEP3  $\exists i; X_i > P_i \Rightarrow$  パス長が最小の部分において、 $\max(T(c, c')), c' \in \text{adj}(c)$  となる部品に他のナノPEの部品を select に従って適用する。

ただし機能集合を  $F$ 、中間形式のノード集合を  $N$ 、機能  $f \in F$  を実現する部品集合を  $C_f$ 、部品  $c \in C_f$  と隣接する部品集合を  $\text{adj}(c)$ 、部品  $c_1, c_2$  間の通信時

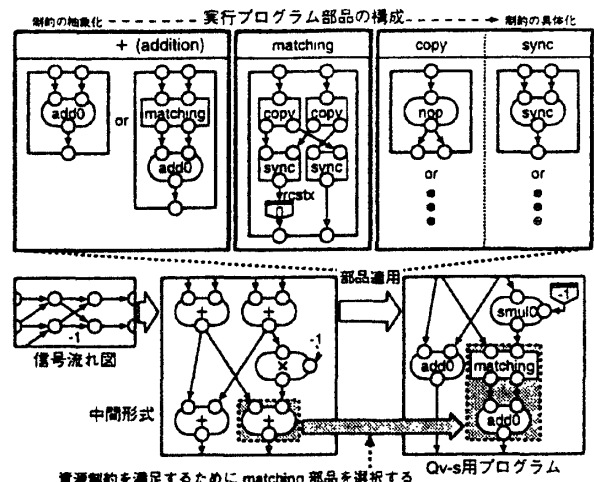


図1: Qv-s プログラム部品の構成とその適用法

間を  $T(c_1, c_2)$ 、部品のアーク数を  $a(c)$  とする。

4 成果と今後の課題

本手法を DCT と FIR フィルタの仕様記述に適用した結果、仕様を直接的に実行プログラムに変換できることを確認した。また、その性能を評価するため、提案した手法により生成したプログラムと人手で最適化を施したプログラムの i). 受理可能な入力レート、ii). 応答時間、iii). 全命令数を比較した (表 2)。DCT においては、本手法と人手で生成したプログラムは性能にほとんど差がないことを確認した。FIR フィルタにおいても、マクロな部品を構成して適用すれば、本手法で人手によるものと同じ性能が実現できる。

今後の課題として、より高性能なシステムを構築するために、構造分析を行い、構造変換を施すことによって、積和演算等の実行機械に固有の機能を活用した部品を適用する手法を検討する。

表 2: 提案方式と人手による最適化の性能比較表

機能	性能評価項目	追加的	一括的	人手
DCT	i). [packets/s]	5M	5M	5M
	ii). [s]	7.5μ	7.3μ	7.2μ
	iii). [命令]	157	157	130
FIR	i). [packets/s]	1.7M	2M	5M
	ii). [s]	4.5μ	4.5μ	2.4μ
	iii). [命令]	46	46	13

謝辞 御指導頂いた関係各位に深く感謝する。なお、本研究の一部は、文部省科研費 (一般 B-2 05452363, 重点知能の極限集積化) の援助によるものである。

参考文献

- [1]. 唐澤 他: “マルチメディア信号処理のプログラム生成手法の一検討,” 第 55 回情処全大, 5X-07 (1997).
- [2]. 芳田 他: “映像信号処理向きデータ駆動型プロセッサ,” 信学技報, Vol.DSP95-109, pp.39-46 (1995).