

## VLIW プロセッサの電力制約を考慮した 分割型の命令スケジューリング

和泉 直孝<sup>†</sup> 松本 倫子<sup>†</sup> 吉田 紀彦<sup>†</sup>

<sup>†</sup>埼玉大学大学院理工学研究科

### 1. はじめに

近年、組込みシステムにおける消費電力削減と処理の効率化の重要性が高まっており、VLIWプロセッサの活用に注目が集まっている。VLIWプロセッサとは、並列実行可能な複数命令を含んだ長い命令語を受け取り、対応する各命令実行ユニットに割当て実行できるプロセッサである。命令の割当てをコンパイル時に行うことで低電力化、高速化が見込める。しかしVLIWは同時に実行する演算の組合せによって消費電力が大きく異なるため、ピーク電力が非常に高くなる場合があり、この肥大化をいかに防ぐかが課題となっている。これに対しては後述する命令スケジューリングと呼ばれる手法による解決が考えられており、先行研究として最適解、準最適解アルゴリズムを用いて解決を試みる研究がある[1]。この研究は最適解が現実的的时间内に求められない問題に対して、より高速な準最適解アルゴリズムを利用することで現実的的时间内に求められない問題に対しては言及していない。そこで本研究では解決に膨大な時間を要する問題にも対応できるよう、分割スケジューリング[2]を適用することを提案する。これにより計算量に応じたアルゴリズムの使い分けが可能となり、計算量の大きく異なる様々なスケジューリング問題に対して高速かつ効率的な解決が期待できる。

### 2. 消費電力最適化手法

命令ごとに消費する電力は異なるため、ピーク電力を超えないように命令実行ユニットに割当てる必要がある。さらにその中で命令実行処理時間が最短で終わるように割当てることを命令スケジューリングと呼ぶ。この命令スケジューリングを解決するアルゴリズムを本節で示す。

Partitioned Instruction Scheduling for VLIW Processors Considering the Power Constraints  
Naotaka Izumi<sup>†</sup>, Noriko Matsumoto<sup>†</sup>, and  
Norihiko Yoshida<sup>†</sup>

<sup>†</sup>Graduate School of Science and Engineering,  
Saitama University

### 2. 1 最適解アルゴリズム

[1]で提案されている最適解アルゴリズムは、電力制約を満たし、かつ並列実行可能な命令の全組合せを列挙して最もサイクル数が少ない組合せを求めるアルゴリズムである。しかしこのままでは1万程度の命令群に対してすら膨大な時間を要してしまう。そこで図1に示す一連の動作において、Nの選択を網羅的ではなく確率的に行い簡略化したものを本研究では最適解アルゴリズムとする。

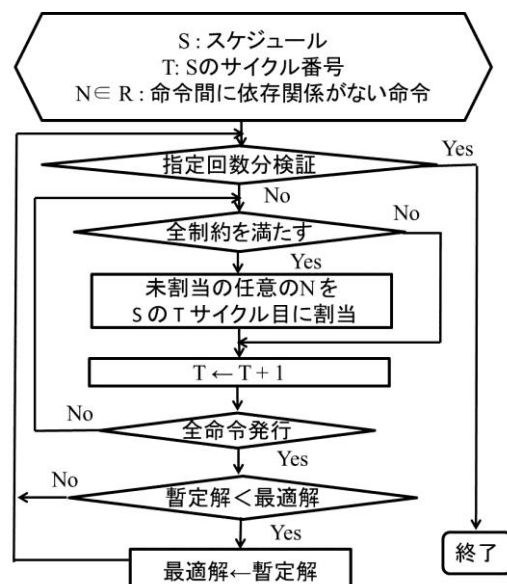


図1. 最適解アルゴリズム

### 2. 2 準最適解アルゴリズム

[1]で提案されている準最適解アルゴリズムは、優先度パラメータが既に付与されている命令に対してスケジューリングを行うアルゴリズムである。命令群を優先度順に並び替え、最も優先度の高いものを現在サイクルに割り当てている。以上の動作を図2に示す。[1]ではこのアルゴリズムを利用しても現実的時間で求められない問題に対して計算時間の評価は行っておらず、膨大な計算量となる問題には利用できない。

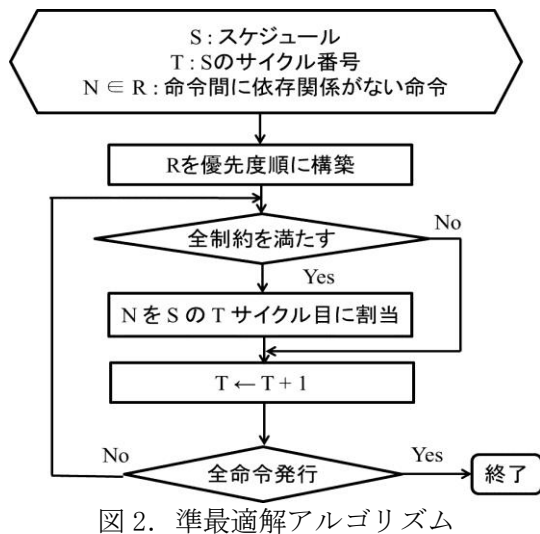


図2. 準最適解アルゴリズム

### 2.3 分割スケジューリング

現実的時間内で求められない問題に対しては、分割スケジューリング [2] を利用した計算時間の評価が有効である。分割スケジューリングとはスケジューリング対象の命令群を指定命令数ごとに分割し、分割された各命令群に最適解アルゴリズムでスケジューリングを行う手法である。この動作を図3に示す。[2] では規模が大きくなり過ぎたスケジューリング問題を現実的時間内に計算を終了させるため、分割スケジューリングを利用していた。本研究では、命令スケジューリングによる低電力かつ高速な問題解決を目指して、VLIWプロセッサにおいて分割スケジューリング手法を適用する。そのために電力制約を考慮した分割スケジューリングアルゴリズムを提案する。

### 3. 提案手法の有効性

提案手法の精度を求めるため、準最適解と提案手法で求めた実行サイクル数の解に対して、現実的時間で求められる範囲内での最適解との誤差を求めた。その結果、どちらの誤差にも命令数と実行サイクル数においてほぼ比例の関係があった。最適解と準最適解との誤差率（誤差/命令数）は3.0%であったのに対し、提案手法との誤差率は1.5%であったため、準最適解アルゴリズムに比べて提案手法の精度は良いと言える。また、命令数に対してスケジューリングに要した時間をアルゴリズムごとに比較したものを図4に示す。命令数の増加に従い最適解、準最適解は大きく時間を要しているのに対し、提案手法はこれらのアルゴリズムよりも短い時間で実行を終了しており、準最適解では24時間以上の時間を要する問題に対しても15分程度で計算を終

了している。

以上より、提案手法が準最適解よりも高い性能を有すると確認できる。

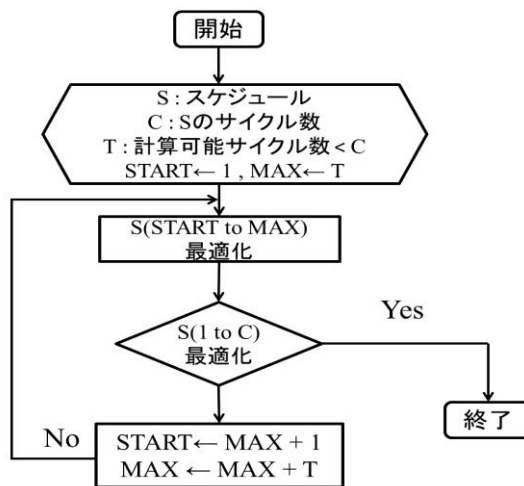


図3. 分割スケジューリング

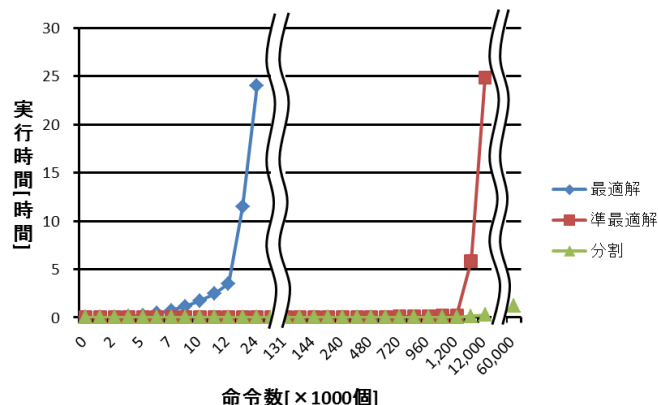


図4. 各アルゴリズムの比較

### 4. まとめ

本研究では組込みシステムにおける消費電力削減と処理の効率化を目指して、VLIWプロセッサにおける命令スケジューリング手法を提案した。提案手法と先行研究におけるアルゴリズムを比較したところ、計算時間と精度の面で提案手法の有効性が確認できた。

#### 文献

- [1]. 藤井 他, VLIWプロセッサのための電力制約を考慮した命令スケジューリング手法, 情報処理学会論文誌, 54:7, 1883-1891(July 2013)
- [2]. 益井 他, 分割スケジューリングによるクラスタ型VLIW DSPのコード生成, 情報処理学会関西支部大会(2007)