

3J-04

2相式非同期回路における 2相制御モジュールの削減法

籠谷裕人* 岡本卓爾* 南谷 崇†

* 岡山大学工学部 † 東京大学先端科学技術研究センター

1 まえがき

近年、超高速プロセッサを実現するための方式として非同期式回路が注目され、非同期式制御回路の合成法の1つとして、依存性グラフからのマッピングを用いた方法 [1] が提案されている。この方法では、プロセッサの処理単位である基本操作（レジスタ間の演算を伴うデータ転送）の全てに Q モジュールと呼ばれる 2 相制御モジュールを使用することで安全な制御を保証している。しかし、基本操作の一部には、Q モジュールを使用することなく安全に制御できるものが存在するが、どの基本操作で Q モジュールが不要であるかを判定するための組織的な方法が確立されていない。本稿では、非同期式制御回路の回路量と速度を向上させるため、Q モジュールの不要な基本操作を検出する方法を提案する。

2 従来の回路合成法の問題点

依存性グラフは、システムで実行される基本操作間の実行順序を表す有向グラフである。ノードには図 1 左のように、基本操作を表す基本操作ノード、並列動作を表すフォークノードとジョインノード、条件分岐を表すセレクトノードとマージノードがあり、有向辺が実行順序を表す。また、辺に沿って移動するトークンが処理の流れを表す。依存性グラフの各ノードをそれぞれ同図右のように Q モジュール、配線分岐、C 素子、デコーダ、EXOR ゲートに、トークンの初期位置をインバータに、各辺を配線に置換することで、回路を合成することができる。

Q モジュールは前段からの指示によってデータパス部の稼働相と休止相を順に実行した後、次段に実行の指示を与える。上述の回路合成法では、全ての基本操作ノードが Q モジュールに置換されるため、稼働相と休止相が完全に終了してから次段に制御が移ることになり、確実に動作する安全な回路を容易に得ることができる。

しかし、基本操作の中には、Q モジュールを使用する必要のないものが存在する。図 2 の依存性グラフをもとに制御回路を合成する場合、従来の方法では (a) の回路が得られ、その動作タイミングはその右に付したものとなる。これに対して、基本操作 B において Q モジュール

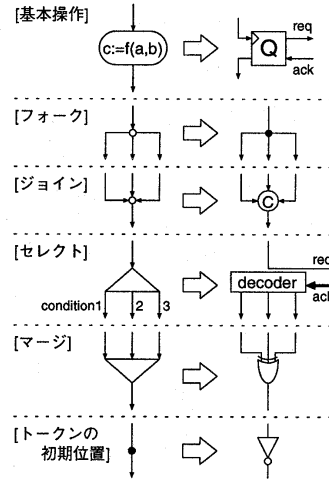


図 1: ノードと回路の対応

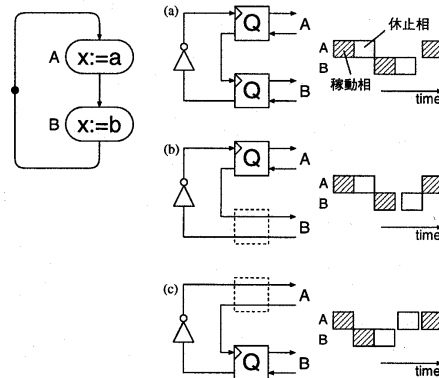


図 2: Q モジュールの冗長性

を使用しない (b) の回路も、B の休止相の開始タイミングが若干変化するものの、全体として (a) の場合と同じ順序で動作するため、問題が生じない。(b) の方が回路量が少ないだけでなく、信号が Q モジュールを通過する時間がなくなるため、速度の向上も期待できる。従って、B の Q モジュールは不要であり、除去すべきである。

3 冗長な Q モジュールの生起要因

一般には、Q モジュールを除去するとその基本操作の休止相よりも下流の基本操作における稼働相の方が早く実行されるため、休止相の完了していないレジスタがア

Reduction of Two-Phase Control Modules in Two-Phase Asynchronous Circuits
Hiroto Kagotani*, Takuji Okamoto*, Takashi Nanya†
*Okayama University, †University of Tokyo
*3-1-1 Tsushima-Naka, Okayama, 700-8530, Japan

クセスされ、誤動作の生じる可能性がある。図2の例で、基本操作AのQモジュールを除去した(c)の回路では、動作タイミングに示すようにAにおけるレジスタxへの書き込みの休止相が完了しないうちに、Bの稼動相によってxへの書き込みを行ってしまうため、データの衝突が起こり、誤動作が生じる。ある基本操作の休止相よりも早く稼動相を実行すると誤動作が生じるのは、次の二つの場合である。

- (a) その基本操作で書き込みを行ったレジスタに下流の基本操作でも書き込む。
- (b) その基本操作で読み出しを行ったレジスタに下流の基本操作で書き込む。

一般のデータ依存には、これらのほかに、書き込みを行ったレジスタから下流の基本操作で読み出すという場合があるが、この場合は、上流側の休止相が開始していても下流ではレジスタの内容を参照するだけなので問題が生じることはない。ここでは、(a)と(b)の関係をまとめてWAA (Write-after-Access) 関係と呼ぶ。Qモジュールを除去することによって、稼動相の実行が早まるのは、ループの最後の基本操作までなので、ループの終点を越えて存在する基本操作は下流とはいわない。

以上の議論から、ある基本操作において、Qモジュールが不要である条件は次のようになる。

Qモジュールが不要である条件

下流の基本操作ノード全てとWAA関係を持たない基本操作ノードでは、Qモジュールは不要である。

上の条件に従って、WAA関係を全て抽出することができれば、Qモジュールの不要な基本操作は容易に検出することができる。

4 WAA関係の抽出法

依存性グラフからWAA関係を抽出するためのアルゴリズムの概略を以下に示す。

1. 無反転パスを全て抽出する。無反転パスとは、トークンが通過するノードを順に連ねたもので、依存性グラフの始点から始まり、依存性グラフの終点や、一度通過したノードに到達したところで終わる。トークンの初期位置は、依存性グラフの始点であり終点でもある。
2. 各無反転パス上のそれぞれの基本操作ノード毎に、3の処理を行う。
3. 現在の基本操作ノードを起点とし、現在の無反転パスで起点より下流にある基本操作ノードの中から、起点とWAA関係にある最初的基本操作ノードを探す。存在すれば、その基本操作ノード対を抽出する。

5 適用例

図3に示す依存性グラフに上述のアルゴリズムを適用することにより、WAA関係をすべて抽出した結果、下流のどの基本操作ともWAA関係のない基本操作は、I, J, K, Lであることが検出される。従って、これらの基本操作ではQモジュールが不要となる。

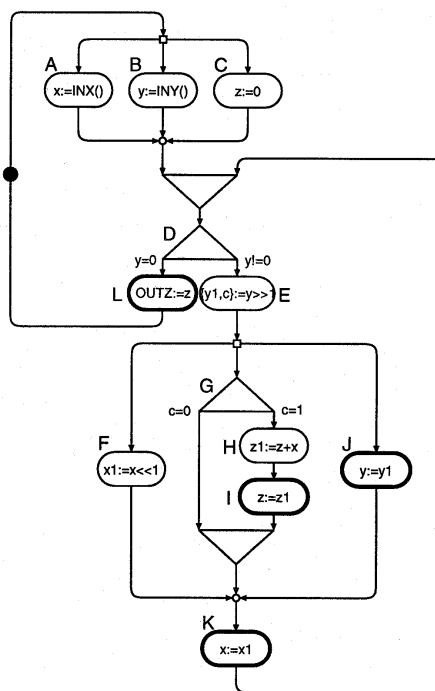


図3: Qモジュールの不要な基本操作の検出例

6 あとがき

本稿では、Qモジュールの不要な基本操作を検出する方法を提案し、依存性グラフから合成される回路においてQモジュールを軽減できることを示した。今後の課題は、より高速な動作を行うための自掃モジュール [2] を用いる場合へのアルゴリズムの拡張である。

本研究の一部は文部省科学研究費補助金 11780225 による。

参考文献

- [1] 籠谷裕人, 南谷崇. 依存性グラフを用いた2相式非同期回路の合成. 信学論 (D-I), Vol. J77-D-I, No. 8, pp. 548-556, August 1994.
- [2] 籠谷裕人, 南谷崇. 2相式非同期回路の高速化. 信学論 (D-I), Vol. J78-D-I, No. 4, pp. 416-423, April 1995.