

パストレースアルゴリズムの拡張

5V-2

三木良雄

小川 泰

株式会社 日立製作所

1. はじめに

LSIのDA技術においては、LSIの回路結線関係を効率良くトレースする方法が必要である。

本稿では、重み付き有向グラフ上での最短(最長)経路問題を解く際に用いられるクリティカルパストレース法[1]について、複数の始点からトレースする場合の機能拡張方法について述べる。

2. パストレースアルゴリズム

2.1 アルゴリズムの計算量と機能

LSIのDA用パストレースアルゴリズムについては種々の発表がなされており[1-2]、図1に示した代表的な2手法が知られている。クリティカルパス法は図2のように論理ゲートを節点に、それらの接続関係を枝で表したグラフ上で、各節点までの最短(最長)経路情報のみを後段へ伝える方法である。従って、トレースが終点まで到達した時点では、始点から各終点までの最短(最長)経路のみが求まる。このアルゴリズムでは各々の枝をそこまでの最短(最長)経路情報のみが伝播するため、計算量はグラフの枝数に比例する。

深さ優先探索(Depth First Search)はパストレースアルゴリズムとして広く一般に知られているものであり、全ての経路を始点から終点までトレースするものである。最短(最長)経路は、全ての経路をトレースした後に全経路の重みを比較することによって求められる。計算量は経路数に比例するため、電子回路を表現するグラフの分岐、合流の影響を強く受け、処理時間は膨大なものになる。

以上のことから、高速なパストレースアルゴリズムとしてクリティカルパストレース法を用いるのが一般的である。

2.2 複数の始点のクリティカルパストレース

次にクリティカルパストレースと始点数の関係について考える。LSIのDAにおいては図2(b)に示すように、複数の始点からのパストレースが必要になる場合が多い。そこで、高速でかつ複数の始点からのパストレースを行なう場合には、前節で述べたクリティカルパストレース法を複数始点から行なうように拡張する必要がある。拡張方法については次の2つが考えられる。

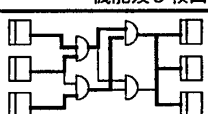
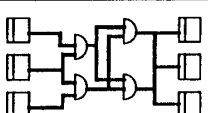
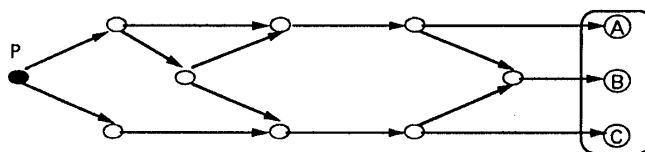
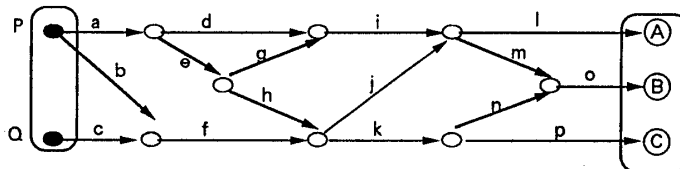
アルゴリズム	機能及び検出可能パス	計算量
クリティカルパストレース(CPT)	 最短(最長)経路のみが求まる	実効的な枝数に比例 (少)
深さ優先探索(DFS)	 全経路情報が求められる	経路数に比例 (多)

図1 パストレースアルゴリズムの比較



(a) 始点が一つの場合



(b) 始点が複数の場合

図2 クリティカルパストレース法

表1 機能比較

No.	アルゴリズム	検出経路
1	セクタ抽出法	$\min(P,A)$ $\min(P,B)$ $\min(P,C)$ $\min(Q,A)$ $\min(Q,B)$ $\min(Q,C)$
2	ブロックオリエンティドトレース	$\min\{\min(P,A), \min(Q,A)\}$ $\min\{\min(P,B), \min(Q,B)\}$ $\min\{\min(P,C), \min(Q,C)\}$

(1) ブロックオリエンティドトレース [3]

この方法は、始点がひとつの場合と全く同様に、複数始点からトレースを開始する方法である。各節点では、どの始点からの最短(最長)経路情報であるかを区別せずに、次の節点へ最短(最長)経路情報を伝播させるため、トレースが終点まで到達したとき、各終点について一つずつの最短(最長)経路しか求めることができない。ただし、計算量は始点が一つの場合と同様にグラフの枝数に比例する。

(2) セクタ抽出法

このアルゴリズムは本稿で新たに述べるものであり、「セクタ抽出」と「一始点からのクリティカルパストレーズ」との2段階で処理を行なう。

[アルゴリズム]

①以下の手順を始点数だけ繰り返す。

②「セクタ抽出」

複数始点の一つに着目し、そこから信号が到達可能な部分回路(セクタ)を切り出す。

③「一始点からのクリティカルパストレーズ」

2.1節で述べたのと同様に一始点からのクリティカルパストレーズを行なう。

以上、二つの手法の機能比較を表1に示す。図2(b)の例において、ブロックオリエンティドトレースでは、終点A, B, Cに対して始点P, Qのうちいずれか一方のみの最短(最長)経路が求まる。セクタ抽出法では(P, A), (P, B), (P, C), (Q, A), (Q, B), (Q, C)の始点終点の組に対応した最短(最長)経路が求められる。

3. 計算量の評価

セクタ抽出法の処理速度を支配するパラメータを定義し、本アルゴリズムの計算量を評価する。図2(b)においてクリティカルパストレーズを行う部分回路は $S1=\{a,$

$b, d, e, f, g, h, i, j, k, l, m, n, o, p\}$, $S2=\{c, f, j, k, l, m, n, o, p\}$ の二つであり、このとき全枝集合 $S=\{a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l, m, n, o, p\}$ との要素数の比 $\epsilon = \sum \|S_i\| / \|S\|$ を重複率と定義する。上述の例では $24/16 \div 1.5$ が重複率となる。

計算量は実効的な枝数に比例するため、全枝数をNとした場合、 ϵ Nに比例する。従って、計算量はブロックオリエンティドトレースの ϵ 倍かかることになる。しかし、実際のDAシステムの中では、経路依存性のある計算項目と経路依存性のない計算項目とが存在し、後者は重複率の影響を受けないようにプログラム化することが可能である。

4. 結言

重み付き有向グラフ上での複数始点パストレーズアルゴリズムとしてセクタ抽出法を提案した。本アルゴリズムは全ての始点終点对の最短(最長)経路を求めることが可能であり、実用的にも十分に高速である。

[参考文献]

- 1) R. Kamikawai et al : A Critical Path Delay Check System, 18th DAC pp.118-123 (1982)
- 2) 松下浩明: タイミング検証, 情報処理 Vol.25 No.10 pp.1056-1061 (1984)
- 3) R.B. Hitchcock: Timing Verification and the Timing Analysis Program, 19th DAC pp.594-604 (1983)