クリティカル・パス遅延検証における統計計算手法

2M－7

金子　信之　，　長谷川　拓己
（日本電気㈱）

１．はじめに

クリティカル・パス法[1)]をベースとした遅延検証において、統計計算を正確に行う手法を提案する。本手法は、クリティカル・パス法の高速性を維持したまま、パス毎に異なる統計量を考慮した遅延計算を行うものである。これにより、大規模論理回路においても、統計計算を用いて、高速かつ高精度な遅延検証を実現することができる。

本稿では、まず、従来のクリティカル・パス法における問題点を述べ、次に、本手法における統計計算の方法およびその実現方法を述べ、最後に本手法の性能を示す。

２．遅延検証におけるクリティカル・パス法の問題点

遅延検証におけるパス・トレース法として、クリティカル・パス法が知られている。このクリティカル・パス法は、高速に処理を行うという特長を有している反面、統計計算を用いた解析が行えないという欠点を有している。以下に、この問題点について、例を用いて説明する。

図１に示すネットワークにおいて、ファンアウト・トレースによるクリティカル・パス法により、ノードC-D間のクリティカル・パスを求めることを考える。ノードC-D間には、３通りの経路が存在し、それぞれ平均値μ_1, μ_2, μ_3、分散$\sigma_1^2, \sigma_2^2, \sigma_3^2$というコストを有しているとする。なお、以下では、パスのコストを

$$\Sigma\mu + \alpha\sqrt{\Sigma\sigma^2}$$

で求め、統計的に取り扱うことを前提とする。ただし、μはコストの平均値、σ^2はコストの分散、αは任意の定数である。

ここで、次の(1)式が成り立つならば、クリティカル・パス法では、ノードC-D間のクリティカル・パスとして、経路１が選択される。

$$\mu_1 + \alpha\sqrt{\sigma_1^2} > \mu_2 + \alpha\sqrt{\sigma_2^2} > \mu_3 + \alpha\sqrt{\sigma_3^2} \quad (1)$$

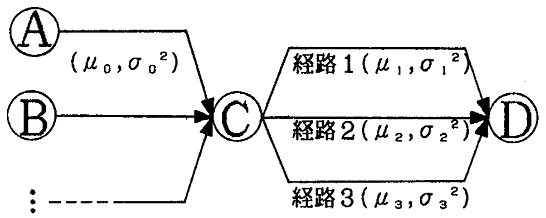

図１　ネットワーク例

したがって、ノードCを通るノードA-D間のクリティカル・パスもノードB-D間のクリティカル・パスも、共に、経路１を通るものが求められる。

しかし、ノードA-D間のコストについて考えた場合、ノードA-C間のコストの分散σ_0^2の値によっては、(2)式が成り立つこともある。

$$(\mu_2 + \mu_0) + \alpha\sqrt{\sigma_2^2 + \sigma_0^2} > (\mu_1 + \mu_0) + \alpha\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_0^2} > (\mu_3 + \mu_0) + \alpha\sqrt{\sigma_3^2 + \sigma_0^2} \quad (2)$$

（μ_0：ノードA-C間のコストの平均値）

したがって、ノードA-D間を考えた場合、経路２がクリティカル・パスとなる可能性がある。ノードB-D間についても同様であり、また、経路３もクリティカル・パスとなる可能性がある。

従来のクリティカル・パス法は、ノードC-D間のコストの最大値をノードCに持たせることにより、アークを重複してトレースすることなく、ファンアウト・トレースを行う方法である。したがって、クリティカル・パス法に統計計算手法[2)]を単に取り入れても、トレース済みの経路の情報のみでクリティカル・パスを決定することはできない。つまり、各ノードに達するパス全体のコストの分散を考慮しなければならない。例えば、ノードC-D間のクリティカル・パスを求める場合には、ノードA-C間、および、ノードB-C間のコストの分散も考慮しなければならない。

Statistical Techniques of Timing Verification for Critical Path Tracing.
Nobuyuki KANEKO , Takumi HASEGAWA
NEC Corporation

３．統計計算を用いたクリティカル・パス法

２．で述べたように、クリティカル・パス法に統計計算を用いる場合、各ノードに達するパスすべてのコストの分散を考慮しなければならない。この分散を考慮した上で、クリティカル・パスの経路を決定する手法を以下に示す。

図１に示すネットワークにおいて、ノードＣに達するパスのコストを平均値μ、分散σ^2とする。この時、ノードＤを終点とするパスのコストＴは図２で示される。

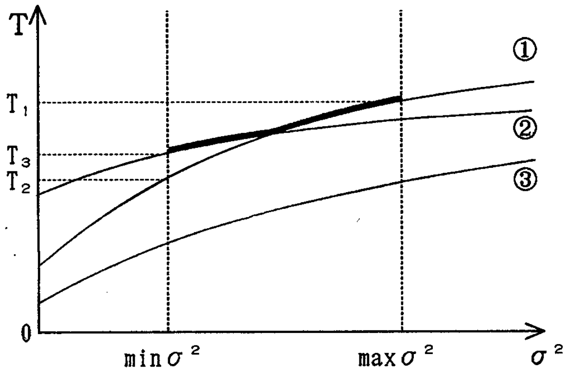

図２　各経路を通る場合のコスト関数

図２において、①は経路１を通る場合、②は経路２を通る場合、③は経路３を通る場合を示している。また、任意の始点からノードＣに達するパスの経路のコストの分散σ^2のとり得る最大値を$\max\sigma^2$、最小値を$\min\sigma^2$とする。ここで、クリティカル・パスを求める際に、ノードＣ-Ｄ間で考慮しなければならない経路C_M（図２中、太線で表示される経路）は、経路Ｃのコストを$T(C)$とし、ノードＣ-Ｄ間の全経路からなる集合をS_Cとすると次式で示される。

$$C_M = \{{}^{\forall}C' \mid T(C') \geqq T(C_0),\ C_0 \in S_C,\ \min\sigma^2 \leqq {}^{\exists}\sigma^2 \leqq \max\sigma^2\} \qquad (3)$$

$\min\sigma^2 \leqq \sigma^2 \leqq \max\sigma^2$の時、図２中の任意の２曲線は２点で交わらない。このため、C_Mは、以下の経路からなる。

i) σ^2が$\max\sigma^2$の時に最大コストとなる経路C_{M1}
（例では、コストT_1を持つ経路１）

ii) σ^2が$\min\sigma^2$の時にC_{M1}のコストより大きいコストとなる全経路
（例では、コストＴ2より大きいコストＴ3を持つ経路２）

このように、クリティカルのみでなく、②のようなii)で示される経路も保持しておくことにより、統計計算を用いたクリティカル・パス・トレース法が可能となる。

４．統計計算を用いたクリティカル・パス法の実現方法

統計計算を導入したクリティカル・パス法を実行するには、以下のように、パス・トレースを２回実行すれば良い。

①各ノードに達するパスすべての遅延時間の分散の最大値$\max\sigma^2$、および、最小値$\min\sigma^2$を、予め求めておく。これは、従来のクリティカル・パス法で遅延時間をσ^2として、ファンイン・トレースすれば良い。

②①の処理の終了後、全ノードについて、クリティカル・パス法でファンアウト・トレースする。この際、①で求めた$\max\sigma^2$、$\min\sigma^2$を用いて遅延時間を算出する。この遅延時間から、３．で述べた手法により１経路、または、複数経路を選択し、この経路の遅延時間を保持しながら、トレースを続ける。

５．評価

本手法は、クリティカル・パス法に統計計算の導入を可能にした。パス・トレースを２回実行する必要があるため、従来のクリティカル・パス法の約２倍の処理時間が必要となる。しかし、本手法と同様に、統計計算を用いたパス解析の可能なパス列挙法と比べた場合、本手法の方が高速である。この２手法を約30000パス存在する論理回路の遅延解析に適用し、ACOS 2000上で実行したところ、パス列挙法では、５７分必要であったが、本手法では、２分で処理することができた。

これらより、本手法は、パス列挙法より高速な、しかも、統計計算が行えるクリティカル・パス・トレース法であることが分かる。

６．おわりに

本稿では、クリティカル・パス法における統計計算手法について述べた。本手法は、ＥＷＳ 4800、スーパーコンピュータＳＸ－３等の遅延解析に用いられ、多大な効果をあげている。

参考文献

１）R.Kamikawai, M.Yamada and T.Chiba, “A Critical Path Delay Check System”, 18th DA Conf., pp.118-123, 1981.

２）James H.Shelly and David R.Tryon, “Statistical Techniques of Timing Ver-ification”, 20th DA Conf., pp.396-402, 1983.