2B-1　多重出力可能な MIN の性能解析 *

塙 敏博　　天野 英晴†

慶應義塾大学理工学部‡

1　はじめに

多重出力可能な MIN(Multistage Interconnection Network) は, 同一宛先に対して複数パケットの通過を可能にすることにより, 高いスループットを実現する多段結合網である. その高いスループットにより,SSS(Simple Serial Synchronized) 型 MIN として並列計算機に用いることができると共に, ATM 用パケット交換機にも利用することができる.

本論文では, 複数の Banyan 網にトラフィックを分散する MBSF, 入力数の整数倍のサイズの Banyan 網を用いる EBSF, Banyan 網を縦列接続する TBSF, 三次元的に接続する PBSF の 4 種類の多重出力可能な MIN についてその通過率, パケット再送に伴うレイテンシを, 確率モデルとシミュレーションによって解析を行う.

2　多重出力可能な結合網

以下, 本論文で検討する多重出力可能な結合網に関して順に解説する.

2.1　MBSF(Multi Banyan Switching Fabrics)

独立の Banyan 網を複数用意し, トラフィックを分散する方法は古くから検討されてきた. ここでは, この網を MBSF(Multi Banyan Switching Fabrics) と呼ぶ. パケットのトラフィックは単に各網に分散されるだけである.

2.2　EBSF(Expanded Banyan Switching Fabrics)

Banyan 網のサイズを整数倍に拡張すると, 通過率に関して MBSF と同等程度の能力を持つものと考えられる. Banyan 網の倍率は 他の網における Banyan 網数に対応する. この網を EBSF(Expanded Banyan Switching Fabrics) と呼ぶ.

2.3　TBSF(Tandem Banyan Switching Fabrics)

TBSF は, 本来 B-ISDN(Broadband-Integrated Services Digital Network) で用いられる ATM パケット交換用として, 国内では我々と沖電気の共同研究により 1988 年に, 海外では Tobagi らにより 1990 年に提案された. ATM 網用,SSS 型 MIN 用にそれぞれこの網専用の LSI の実装が行われている.

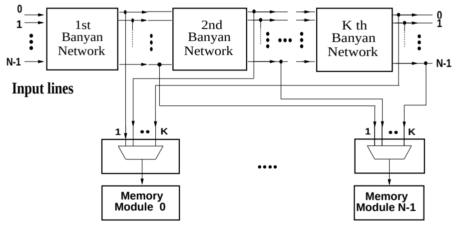

図 1: TBSF の構成

TBSF は, 図 1に示すように banyan 網を縦列に接続し, 各網の出口にバイパス路を設けた構造を持つ.banyan 網を通過して目的の宛先に到着したパケットはバイパス路によりメモリモジュールに送られ, 衝突により目的の宛先に到着できなかったパケットのみが次の段の banyan 網に入力される.

2.4　PBSF(Piled Banyan Switching Fabrics)

TBSF では, 接続された各網において, パケットが衝突するまでは正しくルーティングされるが, それまでのルーティングの結果は, 次の網に対して全く貢献しない. この点を改良するため, 我々は, 図 2に示すように banyan 網を三次元的に接続した構造にし,PBSF(Piled Banyan Switching Fabrics) と名付けた. 最上層と最下層を除く層のスイッチングエレメントは水平方向の入出力を 2 つずつ, 垂直方向を 2 つずつ, 計 4 入力 4 出力を持つ. パケットは水平方向に進み, 衝突が起こって進めなくなると下の層のネットワークに送られる.

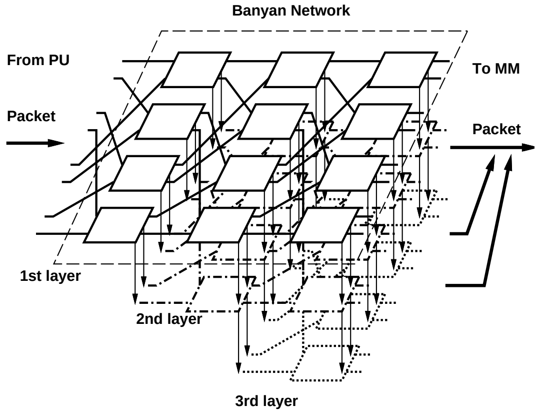

図 2: PBSF の構成

PBSF において, 下層の網は従来型の MIN がエレメント内に持つパケットバッファと同様の効果がある. このことにより, 通過率, 通過時間両方の改善が期待できる.

3　解析の方法

均一なトラフィックを仮定した場合の多重出力可能な MIN の通過率を解析するために確率モデルを提案する.

従来のバッファ付の MIN についての解析はすでに行われているが, その場合 queueing theory などを用いる必要があり, 解析の方法は大きく異なる. 他方では,Wu らによるサーキットスイッチングを行う MIN の解析手法に似ているが多重出力である点, パケットが同期入力される点が異 なる.

解析結果を検証するためにシミュレーションを行う.

解析, シミュレーション共に共通な仮定は以下の通りである.

- バッファは持たない
- 結合網に対する各入力へのパケットの入力確率は均一である
- パケットの行き先のアドレスは等確率に分散される
- 目的のアドレスに到着しなかったパケットは誤った出力へ送られる

---

*Performance analysis of MINs with multiple outlets

†Toshihiro Hanawa　Hideharu Amano

‡Keio University

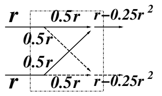

図 3: スイッチング素子のモデル

3.1　スイッチング素子のモデル

スイッチング素子のモデル化の方針について述べる.

メッセージの入力確率を r とすると $1/4r^2$ の確率で競合が生じる. 従ってスイッチ素子の通過率は $r-0.25r^2$ となる.

PBSF について考えると次のようになる.

垂直入力	水平入力		生起確率	水平出力	垂直出力
$1-d$	$1-r$	r	$(1-d)r(1-r)$	0.5	0
$1-d$	r	$1-r$	$(1-d)r(1-r)$	0.5	0
$1-d$	r	r	$(1-d)r^2$	0.75	0.25
d	$1-r$	$1-r$	$d(1-r)^2$	1.0	0
d	$1-r$	r	$dr(1-r)$	1.0	0.5
d	r	$1-r$	$dr(1-r)$	1.0	0.5
d	r	r	dr^2	1.0	0.75

4　解析による結果

4.1　通過率

均一なトラフィックを仮定した場合の結果は図 4の通りである.

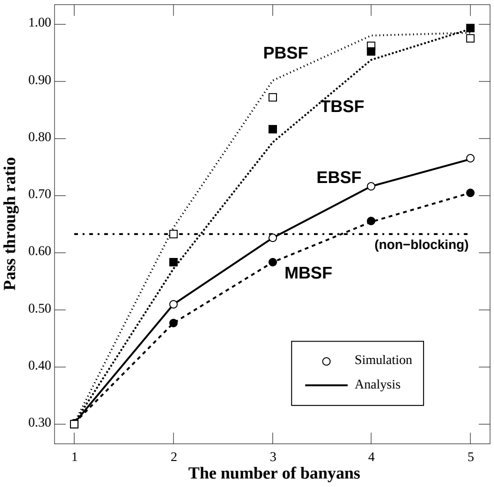

図 4: banyan 網数に対する各結合網の通過率 (負荷率 100%, 入出力数:256)

解析とシミュレーションの結果は良く一致しているが,

- スイッチの優先順位が固定
- TBSF,PBSF では 網を通過する度に トラフィックの偏りが増幅される

ということから わずかに異なる結果となる. また,

- MBSF では最初にトラフィックを分離, 網間の通信なし
- EBSF では前半のステージで不要なエレメントが多い

との理由で TBSF,PBSF の方が高い通過率を得る.

TBSF と PBSF を比較すると 2,3 段の banyan 網では PBSF より TBSF の方が通過率が高いが, それ以上の段数では等しいか, または逆転する. これは PBSF では 3 つのパケットが競合した際, パケット 1 つは正しく出力することができず, 通過率が低下するためである.

以上のことから ATM パケット交換機にはコストが小さく通過率の高い TBSF マルチプロセッサには遅延の小さい PBSF が適していることがわかる.

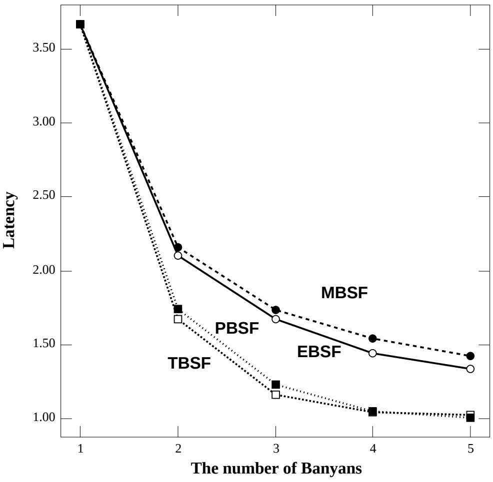

図 5: banyan 網数に対する各結合網のアクセスレイテンシ

4.2　レイテンシ

図 5に 均一なトラフィックの下で, パケットの再送を考慮したアクセスのレイテンシのシミュレーションによる結果を示す.

通過率の結果がレイテンシにも影響しており, TBSF,PBSF では EBSF,MBSF に比べ アクセスのレイテンシは小さくなっている.

5　おわりに

多重出力可能な MIN について解析し, 比較を行った. 複数の出力を持つため 同一宛先に向かう複数のパケットが通過できることでノンブロッキング網より高い通過率を得ることができることがわかった.

6　今後の課題

現在 確率モデルを用いたレイテンシの解析方法について検討中である. 非均一なトラフィックの下での解析についても行う予定である.

参考文献

[1] Toshihiro Hanawa, Hideharu Amano, Yoshifumi Fujikawa: “Multistage Interconnection Networks with multiple outlets,” Proc of 1994 Int. Conf. on Parallel Processing, Aug. 1994

[2] 塙 敏博, 天野 英晴 : “多重出力可能な MIN の性能評価”, 並列処理シンポジウム JSPP’94 論文集, pp. 201-208, 1994 年 5 月

[3] Gaye, K., 塙 敏博, 天野 英晴: “SSS 型 MIN における hot spot の影響とメッセージ結合の効果,” 電子情報通信学会論文誌 D-I, 1994 年 5 月

[4] Wu, C.L. Lee, M. : “Performance Analysis of Multistage Interconnection Network Configurations and Operations”, IEEE. Trans. Comput. **41**, No.1 pp.18-27, (1992).