

研究速報

パケットの優先度を考慮したグループ化 2DRR スケジューラの改良

高城 衛†*(正員) 木村 成伴††(正員)
 海老原義彦††(正員)

Improvement of Grouped Two-Dimensional Round-Robin Scheduler for Packet Priority

Mamoru TAKAJO†*, Shigetomo KIMURA††, and Yoshihiko EBIHARA††, Members

† 筑波大学修士課程理工学研究科, つくば市
 Master's Program in Science and Engineering, University of Tsukuba, Tsukuba-shi, 305-8573 Japan
 †† 筑波大学電子情報工学系, つくば市
 Institute of Electronics and Information Sciences, University of Tsukuba, Tsukuba-shi, 305-8573 Japan
 * 現在, 日本電気(株) 交換移動通信事業本部

あらまし 筆者らは既にマルチアクセス通信におけるパケットスイッチのスケジューリングを行うグループ化 2DRR スケジューラを提案している. 本稿ではこれにパケットの遅延制約による優先度を考慮した拡張を行い, シミュレーションによる性能評価を行う.

キーワード 2DRR スケジューラ, 遅延制約, 優先度, マルチアクセス通信, パケットスイッチ

1. 序 論

マルチアクセス通信において, チャネル割当てを行うパケットスイッチのためのスケジューリング方式の一つに 2DRR スケジューラ [1] がある. この方式は, N 入力 N 出力システムの完全スケジューリングを実現するものである. 図 1 に 4 入力 4 出力スイッチの構成を示す. N 入力 N 出力パケットスイッチの各入力ポートはそれぞれの出力ポートのための FIFO 方式の待ち行列をもち, 各入力ポートに到着したパケットは出力ポート別にこれらに入れられる. ただし, 同一入力から同時に出力できるパケットはただ一つであり, また, 出力先が競合しない限り他の入力ポートからの出力と同時に出力することができる.

この 2DRR スケジューラは, 4 種類の $N \times N$ マトリクス RM (Request Matrix), SM (Scheduling Matrix), PM (Pattern Matrix), AM (Allocation Matrix) を用いてスケジューリングを行う. RM は各入力ポートにあるパケットの状態を示す. 例えば, 図 1 の状態は図 2 の RM で示される. PM は $PM_{ij} = (i + ij + j) \bmod (N + 1)$ によって定められ, これより, 段階 0 から段階 $N - 1$ までの N 種類の SM が生成される. 段階 i の SM は, PM_{ji} 行 j 列 ($0 \leq j \leq N - 1$) に 0 が置かれ, その 0 の位置から同

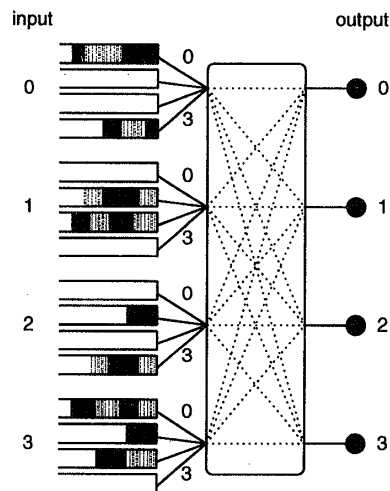


図 1 4 入力 4 出力スイッチの構成
 Fig. 1 The construction of 4 × 4 switch.

		output				timeslot					
		0	1	2	3			0	1	2	3
input	0	1	0	0	1	pattern sequence	0	0	1	2	3
	1	0	1	1	1		1	1	3	0	2
	2	0	1	0	1		2	2	0	3	1
	3	1	0	1	0		3	3	2	1	0

Request Matrix (RM) Patern Matrix (PM)

図 2 リクエストマトリクスとパターンマトリクス
 Fig. 2 Request matrix and patern matrix.

step 0 (timeslot 0 - 3)	step 2 (timeslot 8 - 11)																																
<table border="1"> <tr><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr> <tr><td>3</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>2</td><td>3</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>0</td></tr> </table>	0	1	2	3	3	0	1	2	2	3	0	1	1	2	3	0	<table border="1"> <tr><td>2</td><td>3</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>0</td></tr> <tr><td>3</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td></tr> </table>	2	3	0	1	0	1	2	3	1	2	3	0	3	0	1	2
0	1	2	3																														
3	0	1	2																														
2	3	0	1																														
1	2	3	0																														
2	3	0	1																														
0	1	2	3																														
1	2	3	0																														
3	0	1	2																														
step 1 (timeslot 4 - 7)	step 3 (timeslot 12 - 15)																																
<table border="1"> <tr><td>3</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr> <tr><td>2</td><td>3</td><td>0</td><td>1</td></tr> </table>	3	0	1	2	1	2	3	0	0	1	2	3	2	3	0	1	<table border="1"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>0</td></tr> <tr><td>2</td><td>3</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>3</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr> </table>	1	2	3	0	2	3	0	1	3	0	1	2	0	1	2	3
3	0	1	2																														
1	2	3	0																														
0	1	2	3																														
2	3	0	1																														
1	2	3	0																														
2	3	0	1																														
3	0	1	2																														
0	1	2	3																														

図 3 スケジューリングマトリクス
 Fig. 3 Scheduling matrixes.

じ行で列番号が増加する方向に順に 1, 2, 3, ..., $N - 1$ が配置される. ただし, 列番号が $N - 1$ になった場合には, 列番号 0 から配置を続ける. $N = 4$ の場合の SM を図 3 に示す. 各入出力に対して公平な割当機会を与える目的から, スケジューリングを行う時刻 (タイムスロット) により, 一つの SM と PM の 1 列が選択され, この組合せにより, どの入力ポートからどの

出力ポートへの出力を許可するかが決定される。例えば、タイムスロットが5の場合、段階1のSMとPMの第1列が選択される。このPMの第1列に従い、段階1のSMで0, 2, 1, 3がある位置のRMの要素がこの順番に参照される。この N 回の参照をパターンシーケンスと呼ぶ。そして、参照位置に出力要求があれば、スイッチの出力制約を満たす限り、これらが選択され、その結果がAMに反映させる。以上の過程の終了後、タイムスロットは1増加される。この2DRRスケジューラは高いスループットと、フェアネスを達成することが示されている [1]。

2. 優先度を考慮した2DRRスケジューラ

近年、多種多様な通信サービスが提供されるとともに、各サービスが要求する通信品質に柔軟に対応することが求められている [3]。ここで要求される品質は遅延制約と損失制約の二つに大別される。以下では前者を対象とし、遅延制約による優先順位を段階的に設定されているとき、これを考慮できるよう2DRRスケジューラを拡張する。まず、各優先度ごとのRMを作成する。例えば、図1で優先度を2段階に限定し、濃い色のパケットが高優先度パケット、薄い色のパケットが通常優先度パケットとすると、RMは図4のようになる。そして、優先度の高いRMから2DRRスケジューリングを行い、最終的なAMを決定する。

この優先度を考慮した2DRRスケジューラでは、優先度ごとのRMそれぞれについて2DRRによりスケジューリングを行うため、優先度の段階数 P に比例して計算量が増える。また、 P 個のRMを用意することから、 $(P-1)N^2$ だけ記憶容量が増加する。

つぎに、本スケジューラの性能を評価するため、優先度を2段階に限定し、16入力16出力のスイッチ上で計算機シミュレーションを行う。シミュレーション条件は以下のとおりである。(1) パケット長は一定とする。(2) パケットは送信が許可されたタイムスロット内で送信を完了する。(3) 入力キューのバッファ長は無限とし、パケットの呼損はないものとする。(4) 各入力ポートへのパケットの到着間隔は指数分布に従い、各入力ポートへの平均到着間隔は等しく、到着したパケットの出力先は等確率に割り当てる。なお、精度検定はバッチサイズ100,000、信頼区間95%のバッチ平均法により行い、精度は5%以内とした。

図5に高優先度パケットの比率が0.5の場合の平均到着率と平均待ち時間の関係を、図6に平均到着率が0.85のときの高優先度パケットの比率と平均待ち時間

		output						output			
		0	1	2	3			0	1	2	3
input	0	1	0	0	1	input	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	0		1	0	1	1	0
	2	0	1	0	0		2	0	0	0	1
	3	0	1	0	0		3	1	0	1	0

図4 優先度別 RM
Fig. 4 RMs for each priority.

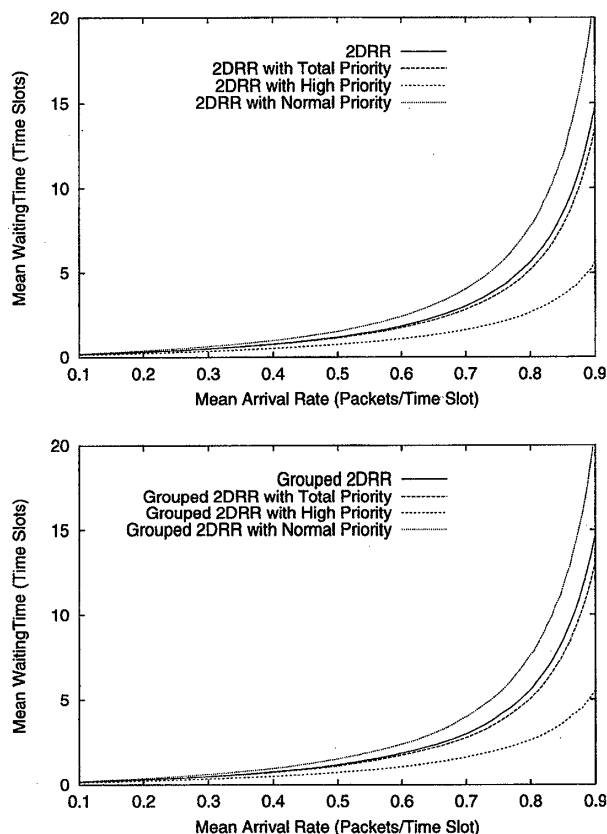


図5 平均到着率に対する平均待ち時間
Fig. 5 Mean waiting time via mean arrival rate.

の関係を示す。図で“2DRR~”は2DRRスケジューラの結果を示す。また、“~with Total Priority”は高優先度パケットと通常優先度パケットを区別しないで統計をとった結果、“~with High (Normal) Priority”は高(通常)優先度パケットの結果である。

同時に、筆者らが現在文献 [2] で提案している、入出力ポートを階層化したグループ化2DRR (G2DRR) スケジューラについても同様な実験を行った。G2DRRスケジューラは、各入出力に対して公平な割り当てを与えるために必要なスイッチサイズの制約を2DRRスケジューラのそれよりも緩和することを目的としている。この改良により、G2DRRスケジューラは

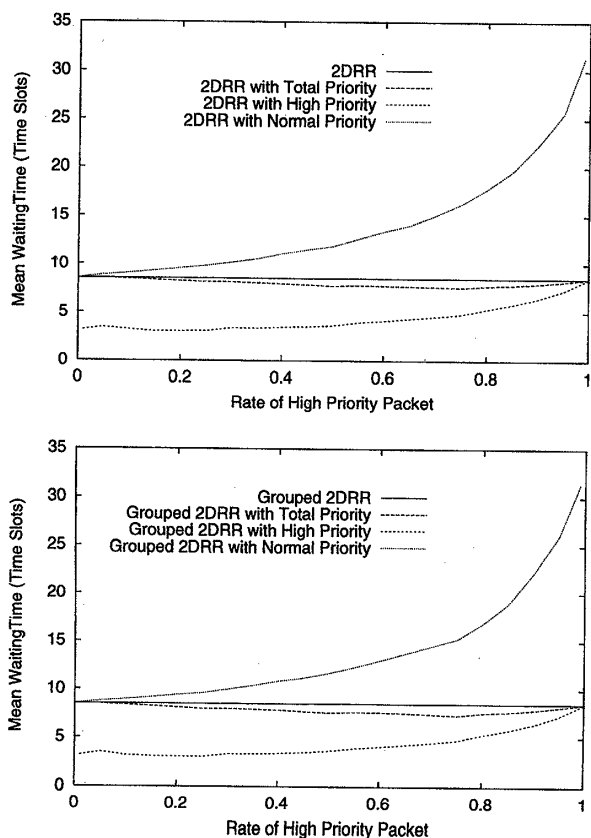


図6 高優先パケットの比率に対する平均待ち時間
Fig. 6 Mean waiting time with high priority packets.

2DRR スケジューラと同等の性能をもつと同時に、スケジューリングに要する計算量を $O(N^{5/2})$ に、記憶容量を $O(N^2)$ に抑えることを示している。

G2DRR スケジューラは 2DRR のそれと同様なスケジューリングが行われるが、各入出力ポートは SM と PM を用いて N の約数個（設計者が選択する）ずつのグループに分けられ、各グループごとに 2DRR によるスケジューリングが行われるところが異なる。優先度を考慮する場合は、グループ化を行った後、2DRR のときと同様に、優先度の高い RM から 2DRR スケジューリングを行い、最終的な AM を決定する。本実験では 16 入力 16 出力のスイッチを 4×4 にグループ化し、上述の条件下で行った結果を “Grouped~” のグラフで示している。

両図ともグループ化による差はあまりなく、平均待ち時間の多い順に通常優先度、優先度なし、優先度区別なし、高優先度の順にグラフが分かれている。特に図 5 では、「優先度なし」よりも「優先度区別なし」のほうが全体的に 1 割程度平均待ち時間が短くなっている。また、図 6 において、高優先パケットの比率が

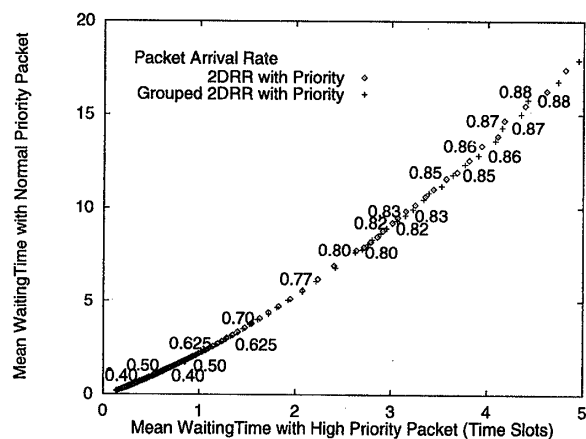


図7 性能評価
Fig. 7 Performance guideline.

0.2~0.8 の範囲で「高優先度」の平均待ち時間は「通常優先度」のその約半分に抑えられており、約 2 倍の速さで高優先度パケットが送信されていることが示された。図 5 から、この傾向が確認され、平均到着率 0.8 の場合で平均待ち時間が約半分に、平均到着率 0.5 の場合でも 2/3 程度に低く抑えられることがわかる。以上のことから、優先度を考慮したスケジューラは優先度を考慮していないものと比べてパケットの平均待ち時間が同程度以下になることがわかった。

最後に、図 7 に 4×4 にグループ化した場合としない場合について、高優先度パケットの比率が 0.5 の場合の高優先度パケットと通常優先度パケットの平均待ち時間の関係とそのときの平均到着率を示す。この図は、高優先度パケットの平均待ち時間に制約が与えられたとき、パケットの到着率をどの程度に抑えなければならないか、また通常優先度のパケットはどれだけ待たされることになるかを示している。これはシステム設計のうえで重要な知見を与えることになり、また、設計パラメータの設定指標となる。

文 献

- [1] R.O. LaMaire, “Two-Dimensional Round-Robin Schedulers for Packet Switches with Multiple Input Queues,” IEEE/ACM Trans. on Networking, vol.2, no.5, pp.471-482, 1994.
- [2] 高城 衛, 木村成伴, 海老原義彦, “マルチアクセス通信のためのグループ化 2次元ラウンドロビンスケジューラの提案,” 信学論 (B), '99 年 4 月号掲載予定.
- [3] 間瀬憲一, 木村英俊, “コミュニケーションネットワークのサービス品質に関する動向と課題,” 信学論 (B-1), vol.J80-B-I, no.6, pp.283-295, June 1997.
(平成 10 年 6 月 11 日受付; 9 月 25 日再受付)