

C-005

NoCにおける動的仮想チャネル分割による QoS の実現とその評価
 Evaluation of QoS Architecture by Dynamic Virtual Channel Allocation for NoC

伊藤 雄太†
 Yuta ITO

グエン チュオン ソン†
 Nguyen Truong Son

小柳 滋‡
 Shigeru OYANAGI

1 はじめに

複数のコアを単一チップ上に集約する System on Chip (SoC) において、コア間の通信を高性能に行う Network on Chip (NoC) が注目されている。組み込みシステムで NoC を実現する場合、Quality of Service (QoS) 保証によるリアルタイム制御が必要になる。すなわち、バンド幅を保証する Guaranteed Service (GS) 通信と、そうでない Best Effort Service (BES) 通信が混在する。

QoS 保証の実現には、Time Division Multiplexing (TDM) や、仮想チャネル (VC) の予約によって行う方式が提案されており、これらはハードリアルタイム QoS に分類される。これらの手法では、GS 通信を Variable Bit Rate (VBR) で行う場合、データの送信前に通信の最大量を予約する必要があるため、BES 通信の性能が低下することが懸念される。

本稿では、仮想チャネル数を優先度に応じて動的に変化させることで、GS 通信のリアルタイム性を維持しつつ BES 通信の性能向上を目的とするソフトリアルタイム QoS を提案する。

2 既存 QoS 手法

2.1 TDM

TDM を用いた代表的なアーキテクチャとして *Æthereal*[1] を取り上げる。GS 通信には専用のバッファが用いられ、目的ノードまでの GS 通信の経路確保にはコマンドパケットと Time-Slot を用いた TDM で行われる。コマンドパケットは BES 通信で送信され、各ノードのルータ通過の際に Time-Slot にその経路と通過時間

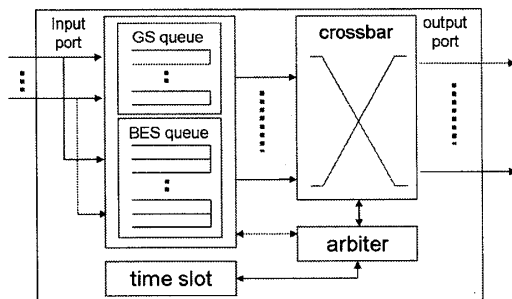


図1 *Æthereal* ルータアーキテクチャ

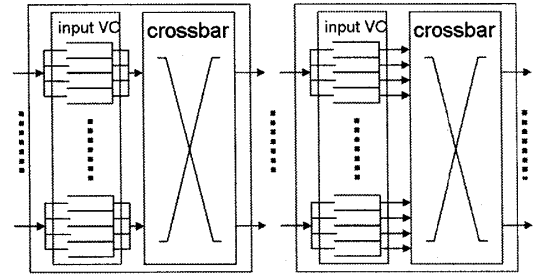


図2 symmetric / asymmetric アーキテクチャ

が記述される。実際に通信を行うときに Time-Slot を参照することで、GS 通信は管理される。経路確保と通過時間の管理により、1 ノードの通過にかかる遅延は、通常4クロックかかるところ1クロックで転送される。

2.2 仮想チャネル予約

Æthereal では、GS 通信と BES 通信に異なるルータが必要だが、この欠点を解決するのが仮想チャネル予約手法 [2] である。本手法では、図2左側に示すような、出力ポート要求の際に入力ポート毎に1つの仮想チャネルを選ぶのではなく、図2右側のように出力ポート毎に全ポートの仮想チャネルを対象としてアービトレーションすることにより、バンド幅を確保する。また、ネットワーク全体を統括するモジュールがあり、そこで全体のトラフィック情報を管理する。そのため、GS 通信送信の際にコマンドパケットを送ることなくパス上の仮想チャネルを予約することができる。

3 提案手法

前述の2手法は、GS 通信の保証を厳格に行うハードリアルタイム QoS に分類される。これらの手法では、VBR を想定した GS 通信を行う場合、Bit Rate が低下すると効率よく BES 通信を行うことができないため、性能が低下する。そこで、著者らは VBR に対応したソフ

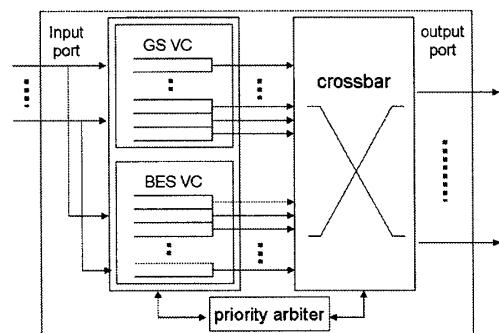


図3 提案手法ルータアーキテクチャ

† 立命館大学大学院理工学研究科, Graduated School of Science and Engineering, Ritsumeikan University

‡ 立命館大学情報理工学部, College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

リアルタイム QoS として、BES 通信の性能向上を目的とする動的仮想チャネル分割手法を提案する。

ルータアーキテクチャを図3に示す。本手法では、図3のように、GS 通信と BES 通信で割り当てる仮想チャネルを動的に分離する。また、優先度アービタを用いることで GS 通信の QoS 保証を行い、トラフィックによって GS 通信の仮想チャネル数を動的に決定する。GS 通信の負荷が大きい経路は GS 通信に多くの仮想チャネルを割り当て、そうでない経路は GS 通信の仮想チャネル数を減らすことで、BES 通信の仮想チャネル数が増加する。以上により、GS 通信のリアルタイム性を維持しつつ BES 通信の性能向上を狙う柔軟な QoS 保証が可能になる。

4 評価・考察

4.1 評価方法

評価のためにシミュレータに実装した5つの手法と、その構成を表1に示す。評価に用いるネットワークは4*4メッシュトポロジで、ルーティングはXYルーティングで行う。GS通信は、図4に示す矢印のようなリング状に送信され、BES通信は、全ノードから全ノードを対象としてランダムに送信される。1ノードの通過にはÆtherealのGS通信以外は4クロックの遅延とする。スイッチング方式はワームホールスイッチングを採用し、バッファ長は4フリットとする。各手法においてGS通信の通信量は変えず、BES通信のインジェクションを変えて各通信のレイテンシの変化を計測する。

4.2 評価結果・考察

シミュレーション結果を図5と図6に示す。GS通信ではÆtherealが最も良い結果になったが、静的仮想チャネル分割方式と提案手法もリアルタイム性の維持はでき

表1 実装した QoS 方式

方式	バッファ	分割量 (GS / BES)	アービタ
Æthereal	分割	1 / 2	Time-Slot
静的仮想チャネル分割	分割	2 / 2	優先度
動的仮想チャネル分割	分割	0~3 / 1~4	優先度
仮想チャネル共有	共有	4	優先度
QoSなし	共有	4	ラウンドロビン

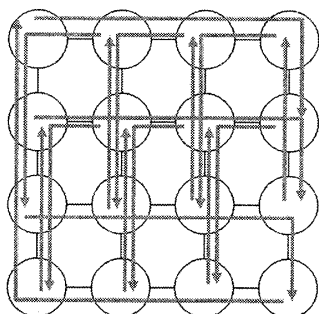


図4 GS通信トラフィック

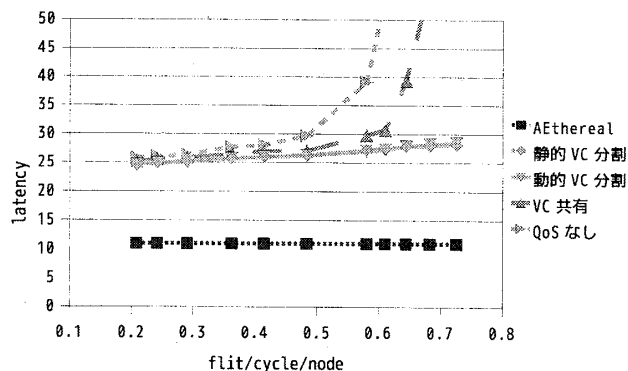


図5 シミュレーション結果：GS通信

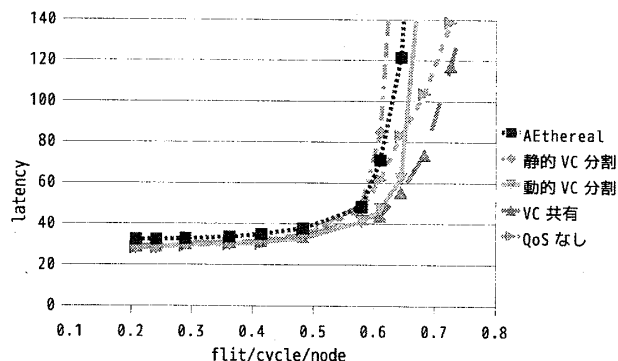


図6 シミュレーション結果：BES通信

ている。また、仮想チャネル共有方式の結果から、GS通信のバンド幅利用のためにGS通信専用の資源の割り当てが必要な事が分かる。一方、BES通信では、GS通信でリアルタイム性を維持できていた3つの手法のレイテンシを、インジェクションレートが0.61の時点で比較すると、提案手法はÆtherealと比べて約35%、静的仮想チャネル分割方式と比べて約45%向上した。したがって、仮想チャネル数をトラフィックに応じて変更することはBES通信の性能向上に対して有効である。

5 おわりに

本稿では、NoCにおけるQoS方式として、VBRに対応したソフトリアルタイムQoS方式を提案した。本提案では、動的に仮想チャネル数を変更させることでGS通信のリアルタイム性を維持しつつ、BES通信の性能向上を図った。実験の結果、GS通信でQoSを維持できる方式の中では、最もBES通信のスループットが高くなった。今後は、コマンドを用いた仮想チャネルの動的分割手法と、そのハードウェア化について検討する。

参考文献

- [1] Goosens, K., Dielissen, J. and Radulescu, A. : Æthereal Network on Chip: Concepts, Architectures, and Implementations, IEEE Design & Test of Computers, Vol.22, No.5, pp.414-421, 2005.
- [2] Kavaldjiev, N. : A Run-time Reconfigurable Network-on-Chip for Streaming DSP Applications, PhD thesis, University of Twente, 2006.