

トラス型 NoC に基づいた血管径計測手法における対称性ルーティングの検討

A symmetric routing algorithm
for the torus NoC-based vessel diameter measurement method江野口 裕希[†]近藤 真史[†]横川 智教[‡]佐藤 洋一郎[‡]

Hiroki ENOKUCHI Masafumi KONDO Tomoyuki YOKOGAWA Yoichiro SATO

1 まえがき

血管等の生体における管状組織の管径は、病変の良悪性を評価する上で重要な指標となるが、その狭窄位置や狭窄率等の質的診断は、医師の主観的な評価に委ねられている [1]。この問題に対して、画像処理に基づいて管径を網羅的に計測し、管径の長短に応じた可視化画像を生成する手法が提案されているが、その解析には多大な時間を要する [2]。そこで筆者らは、専用チップによる高速化を目的として、チップ内ネットワーク (Network on Chip: NoC) に基づくパケット伝搬により、電気的に管径を計測する手法の検討に着手している [3]。これに続く本研究では、ネットワークトポロジとしてトラス型を採用し、パケットが管壁に至るまでの管径だけでなく、環状の迂回経路から返送されるまでの経路を利用した効率的な管径計測手法を提案する。そして、これに基づいたパケットシミュレータの開発を通じて、管径の計測精度とネットワークの負荷分散効果を明らかにする。

2 Network on Chip に基づく血管径計測手法

管状組織上の任意の位置における管径は、その位置の画素を通して管壁に至るまでの線分 (探索線) 長を計測し、これを任意の角度 θ 単位で網羅的に繰り返すことで得られた最短の探索線として求めることができる。これには網羅的な画素探索を伴うことから多大な解析時間を要するため、筆者らは次世代の回路コア接続技術である NoC に基づいた血管径計測手法を提案しており、その概要を図 2 に示す。この手法では、格子状に配置されたコアとルータに管状組織上の画素を対応付けた上で、パケットルーティングにより管壁 (上のコア) までの長さを算出する形態を採る。

ここで、一般的な NoC では、パケットに内包されている転送元と転送先コアのアドレスを基に転送経路上のルータがルーティングを行うが、提案手法では転送先コア、すなわち管壁の位置が未知であるため、経路上のルータはそのルーティング方向を一意に決めることができない。そこで文献 [3] では、パケットに探索角度 θ を内包し、ルータは θ の方向へ動的にルーティングする方針を採っている。以上の NoC に基づく血管径計測手法の動作手順は以下の通りである。

- 手順 1. 転送元コアは、 θ と $\theta + \pi$ の双方向にパケットを生成・送出する。
- 手順 2. パケットを授受した経路上のルータは、パケットに内包されている θ に基づいてその方向に隣接するルータへパケットを伝搬する。
- 手順 3. 管壁上のルータは、授受したパケットに自身が管理する (転送先) コアのアドレスを登録し、転送元コアへ向けてパケットを返送する。

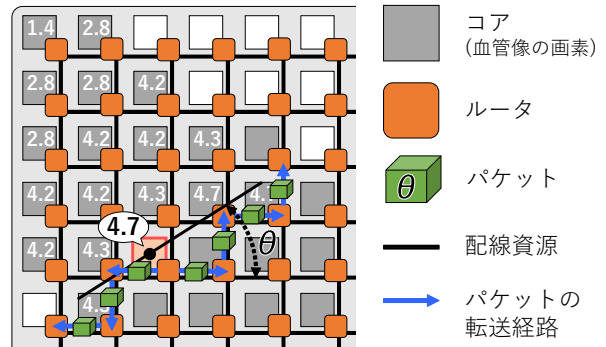


図 1 NoC に基づく血管径計測手法

手順 4. 双方向から返送されたパケットを授受した転送元コアは、両端の転送先コアのアドレスを基に探索線の長さを算出する。

手順 5. 手順 1~4 を θ 単位で繰り返し、最短の探索線をその位置における血管径として確定する。

以上の手順を経て管状組織上の全ての画素における管径を算出し終了後は、その長短に応じた RGB 疑似カラーを割り当てることにより可視化画像を生成できる。

3 トラス型 NoC による対称性ルーティング

上述のメッシュ型 NoC に基づく手法において、パケットの伝搬は管状組織上の画素に対応するルータに限られている。その結果、管状組織像の内外に属するルータ間で著しい負荷の偏りが生じ、これは NoC 全体の演算性能の劣化やデッドロックを招く要因となる。

そこで本研究では、メッシュ型の両端の経路を接続した、いわゆるトラス型 NoC を採用した上で、パケット返送時に環状の迂回経路を利用した効率的な管径計測手法とそのルーティングアルゴリズムを提案する。

3.1 手法

トラス型 NoC において、 θ 方向の探索線に沿って管壁まで伝搬されたパケットは、環状の迂回経路から転送元コアに返送することも可能となる。しかし、結局は管状組織上のルータを経由して返送される点に変わりはなく、ルータの負荷分散効果は十分に期待できない。

ここで、迂回経路から転送元コアに返送されるルーティングに着目すると、その過程において必ず「逆方向の管壁から転送元コアに至るまでの経路」をパケットが伝搬していることとなる。つまり、返送ルーティングの際に検出された管壁上のコアと転送元コアのアドレスを基に、それに対応する管径の一部 (便宜上、 ϕ 方向の管径とする) を求めることができる。これは伝搬開始時の θ 方向の管径算出とは整合しないが、これに続けて $\phi + \pi$ 方向の探索線に沿ったパケット伝搬を開始することで、 ϕ 方向に関する探索線の長さを算出できる (図 2)。

[†] 岡山理科大学, Okayama Univ. of Science

[‡] 岡山県立大学, Okayama Prefectural Univ.

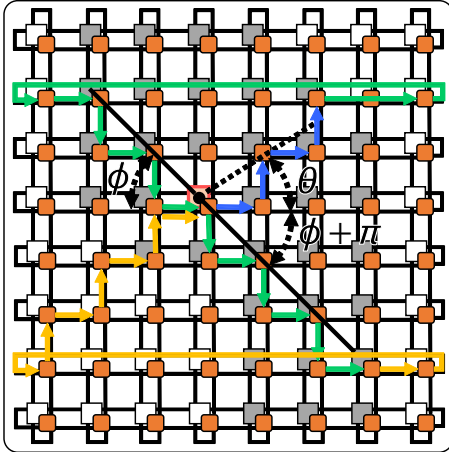


図 2 返送ルーティングの対称性を利用した管径算出

さらに、パケットに暫定的な探索線長を内包した上で、上述のルーティングを繰り返す過程において探索線長を最短のそれに適宜更新すれば、所望とする最短の管径上にルーティング経路が収束するものと考えられる。

3.2 ルーティングアルゴリズム

提案手法では、返送ルーティングを基点に管径の計測が展開されるため、 θ 方向の伝搬ルーティング (図 2 青矢印) の完了以後の動作手順のみを以下に記す。なお、返送ルーティングが収束するまでの角度を最大限確保するため、転送元コアは基点となる $\theta = 45^\circ$ を単位とした方向に最初のパケットを生成・送出する点に注意する。

- 手順 1. 管壁上のコアは、パケットが伝搬してきた順方向 (非管状組織の方向) に水平または垂直に隣接するルータへパケットを伝搬する。
- 手順 2. 非管状組織上のルータは、伝搬してきた順方向に隣接するルータへパケットを伝搬する。
ただし、トーラス構造により画像両端の循環が生じた場合は、パケットに内包されている転送元コアのアドレスに向けて最短経路で返送ルーティングを開始する。
- 手順 3. 管壁上のルータは授受したパケットに自身のアドレスを登録し、管状組織上のルータと同様に返送ルーティングを継続する。
- 手順 4. 転送元コアは、手順 3 で取得した管壁上のルータアドレスから自身となす角度 ϕ を算出し、 $\phi + \pi$ の方向に伝搬ルーティングを開始する。
- 手順 5. 管状組織上のルータは、伝搬ルーティングを継続する。
- 手順 6. 管壁上のルータは、手順 3 で取得した管壁上ルータと自身のアドレスを基に、 ϕ 方向に関する探索線の長さを求め、パケットに内包されている暫定的な探索線長と比較して最短のそれに更新する。
- 手順 7. ルーティングが収束するまで手順 1~6 を繰り返した後、パケットに内包されている探索線長を血管径として確定する。

4 シミュレーションによる評価

提案のルーティングアルゴリズムに基づいたパケットシミュレータを開発し、血管径と各ルータのパケット伝搬回数を可視化した結果を図 3 に示す。なお、転送元コ

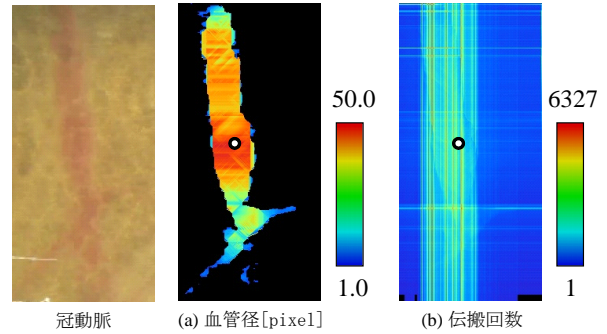


図 3 血管径と伝搬回数の可視化画像 (480 × 480 [pixel])

表 1 血管径 [pixel] とパケット伝搬回数

手法	既存: メッシュ型			提案: トーラス型		
	5°	15°	45°	-		
探索角 θ	5°	15°	45°	-		
循環回数	-			3	5	10
Step 数	11538	3821	1159	11113	15585	31380
血管径	47.01	47.30	50.00	50.00	50.00	50.00
伝搬回数	6566	2415	498	4847	6327	12291

アが最初に生成するパケットの角度は $\theta = 45^\circ, 135^\circ$ であり、それぞれ水平・垂直方向に 5 回循環した時点でルーティングは収束したものと見なし、その時点の最短の管径を求めている。また、紙面の都合上、非血管像の領域をトリミングして掲載している。この結果より、カラーバーに示した最大値 (赤) ~ 最小値 (青) に従って適切に管径が可視化されており、提案のルーティングアルゴリズムが正しく動作していることを確認できる。

メッシュ型との比較結果を表 1 に示す。Step 数は、全ての画素の管径算出に要した NoC の動作回数であり、回路実装した際の所要クロック数の指標とみなせる。血管径と伝搬回数は図 3 ①の位置におけるルータの結果を示している。トーラス型では、収束条件に定めた循環回数 3 回において、メッシュ型の探索角度 5° の場合と同程度の Step 数と計測精度を維持しつつも伝搬回数は削減されており、ルータの負荷分散効果を確認できる。

5 あとがき

本研究では、トーラス型 NoC における返送ルーティングの対称性を利用した効率的な管径計測手法を提案し、シミュレーションを通じてその有効性を明らかにした。今後は、最適な収束条件を定めた上で、具体的なルータ回路および NoC の設計に着手する予定である。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 22K11964 の支援を受けて実施されたものである。

参考文献

- [1] 南一司, “ニードル型 CCD 生体顕微鏡による術中ヒト冠細静脈の可視化と NTG 作用の評価,” 岡山医学会雑誌, Vol. 120, No. 3, pp. 291–297 (Dec. 2008)
- [2] M.Ueda, M.Kondo, et al., “A Fast and Accurate Tube Diameter Visualization Method for Digestive System Medical Images,” IEEJ Trans. Electronics, Information and Systems, Vol. 141, No. 9, pp. 982–991 (Sept. 2021)
- [3] 江野口裕希, 近藤真史, “NoC に基づいた血管径計測手法における動的ルーティングアルゴリズム,” 2023 年電子情報通信学会総合大会, ISS-SP-005 (Mar. 2023)