

## 8T-03 動的最適化多重経路通信機構の提案

越智大介, 北形元, 菅沼拓夫, 木下哲男, 白鳥則郎

東北大学電気通信研究所/情報科学研究科

### 1. はじめに

本稿では, IP 通信におけるトラフィックを複数の経路に分割し, 動的に流量を調整して通信を制御する, 動的最適化多重経路通信機構を提案する.

### 2. 従来の IP 通信

インターネットの普及およびその規模の拡大に伴い, 通信パケットの効率的なルーティングが重要な課題となっている. 現在の IP 通信においては, 各通信ノードが保持するルーティングテーブルに基づき経路が選択される. その経路は半固定的であり, かつ送信元から送信先まで単一の経路を用いている. このため次のような問題がある.

(P1) 他に転送効率の良い経路があった場合でもそれを利用することができない.

(P2) 各経路の利用状況に応じて流量を調整できず, トラフィック変動に対処できない.

問題(P1)は, 複数の経路を利用してトラフィックの負荷を分散することで解決できる. また, その各経路の利用頻度を経路の転送効率によって自律的に調整することで問題(P2)に解決できる.

本論文では, これらの解決法を導入した動的最適化多重経路通信機構 (DO-MRT 機構, Dynamic Optimizing Multiple Route Transport Mechanism) による適応的ルーティングを提案する.

### 3. DO-MRT 機構

本機構の特徴は以下の3点である.

- 複数の経路にトラフィックを分割して送信する, 多重経路通信を行う.
- 多重経路は, 通信要求が発生した時に動的に選択・決定される.
- 通信時の負荷状況に応じて, 複数経路に送出するトラフィックの流量を調整する.

DO-MRT 機構の主要部分は大きく分けて2つの要

素から構成される. 1つはMRSアルゴリズム (Multiple Route Selection Algorithm) であり, 利用可能な複数の経路を生成するアルゴリズムである. もう1つはFC機構 (Flow Control Mechanism) であり, MRS アルゴリズムで生成された各経路へ適応的にネットワークトラフィックを分配し, 負荷分散を行う機構である. これら2つの構成要素を基に, DO-MRT 機構は適応的なルーティングおよびデータ転送を実現する.

#### 3. 1 MRS アルゴリズム

##### 3. 1. 1 MRS アルゴリズムの概要

MRS アルゴリズムは, ある始点ノード  $S$  から目的ノード  $D$  に到達する複数の経路を選択・生成するアルゴリズムである. その結果として各ルータが転送すべき経路を記述した, 多重経路表が生成される.

MRS アルゴリズムは, 袋小路またはループとならずに  $S$  から  $D$  まで到達する経路群を抽出する.

MRS アルゴリズムでは  $S$  から  $D$  に対する多重経路作成を作成する場合,  $S$  から始まる各ノードが, 自身に隣接するノードが次段経路として利用可能かどうか調査するため, 以下に説明する CC ルーチン (Check Children Routine) を再帰的に実行する.

あるノード  $R$  が CC ルーチンの実行を完了すると, 呼び出した元の親ノードに対し  $R$  の保持する多重経路表を渡し, 完了を通知する.

最終的に  $S$  が CC ルーチンの実行を終了すると, MRS アルゴリズムは完了する.

以下に CC ルーチンについて述べる.

##### 3. 1. 2 CC ルーチン

CC ルーチンのフローチャートを図1に示す. CC ルーチンを実行するノードを  $R$  とし,  $R$  に隣接する子ノード群を  $C$  で表す.

$$C = \{C_1, \dots, C_m\} \quad (m = R \text{ の隣接ノード数})$$

また,  $R$  が CC ルーチンを実行するまでに経由した一連のノード群を祖先ノード群  $A$  とする.

$$A = \{A_1, \dots, A_m\} \quad (m = \text{祖先ノード数})$$

なお,  $A_1 = S$  となる.

$R$  は  $S$  から始まる一連の祖先ノード群  $A$  を知ってお

り, CC ルーチンではまず  $A$  に  $R$  自身を追加する.

$$A = \{A_1, \dots, A_m, R\}$$

次に実行ノード  $R$  に隣接するノードをすべて抽出し子ノード群  $C$  を作成する. また, それぞれの子ノード  $C_x (1 \leq x \leq n)$  の標準経路  $\text{Path}(C_x \rightarrow D)$  を調べる. ここで, 既存 IP ルーティングテーブルによる,  $x$  から  $y$  への次段ノードを「 $x$  から  $y$  への標準経路」と呼ぶこととし,  $\text{Path}(x \rightarrow y)$  と表す.

次におのおの子ノード  $C_x$  について, 次の 2 つの除外条件を適用する.

- i 祖先ノード群  $A$  に属する子ノード  $C_x$  は, 子ノード群  $C$  から除外  
if ( $C_x \in A$ ) remove  $C_x$  from  $C$
- ii 子ノード  $C_x$  の標準経路  $\text{Path}(C_x \rightarrow D)$  が実行ノード  $R$  である場合,  $C_x$  を子ノード群  $C$  から除外  
if ( $\text{Path}(C_x \rightarrow D) = R$ ) remove  $C_x$  from  $C$

除外条件 i により, ループになる経路を除外できる. また, 袋小路となる場合, 子ノードの標準経路  $\text{Path}(C_x \rightarrow D)$  には  $R$  が指定されるため, 除外条件 ii により袋小路になる経路が除外できる.

以上の除外条件を子ノード群  $C$  内のすべての子ノードに対して適用すると, 子ノード群  $C$  に残った子ノードを,  $S$  から  $D$  まで転送する場合に  $R$  が利用できる次段経路として確定できる. そして, その子ノードに対し再帰的に CC ルーチンの実行を依頼し, それらの完了を待つ.

ある子ノード  $C_x$  の CC ルーチンの完了は,  $C_x$  から多重経路表を渡されることによって通知される. またその際に  $R$  から  $C_x$  までの経路のコストを多重経路表に追加する. すべての子ノードが CC ルーチンの実行を

完了したとき, 親ノードに対し自身の保持する一連の多重経路表を渡すことで作業完了を告げ, CC ルーチンを完了する.

CC ルーチンの完了は再帰的にその親ノードへ反映され, 最終的に  $S (=A_1)$  が子ノードから多重経路表を受け取り, CC ルーチンを完了したところで MRS アルゴリズムは終了する. その時点において始点ノード  $S$  は, 各ノードが利用可能な  $D$  への次段経路とその経路のコストをすべて知っている.

以上が MRS アルゴリズムの流れである.

### 3. 2 FC 機構

FC 機構は, MRS アルゴリズムにより生成された多重経路に対し適応的に流量を調整する機構である.

始点ノード  $S$  は MRS アルゴリズムにより得た多重経路表を元に, 目的ノード  $D$  までの複数の経路  $R_1 \sim R_n$  ( $n$ =経路の数) と, それにかかるコストを経路の利用割合  $P(R_1) \sim P(R_n)$  として算出する.

$S$  は利用割合  $P(R_1) \sim P(R_n)$  に応じて経路  $R_1 \sim R_n$  を決定し, パケットのヘッダにあらかじめ経路指定して送信する. なお, ここで扱うパケットは従来の IP パケットと異なり, あらかじめ転送経路を指定可能なパケットである.

$D$  ではパケットを受信するたびに, そのパケットの転送された経路ごとに受信データ量を加算して保存する. そして一定時間ごとに応答パケットを  $S$  に対し返信する. 応答パケットには各経路から単位時間に受け取ったデータ量を書き込む.  $S$  は, 応答パケット内の情報に比例して各経路の利用割合  $P(R_1) \sim P(R_n)$  を更新する.

これらの操作を行うことで, 空いている経路を効果的に利用し, 混雑している経路は徐々に利用なくなるといった適応的なルーティングが可能となる.

以上により, FC 機構はネットワークトラフィックの負荷を分散し,  $D$  ノードへ効率よくデータを転送することができる.

DO-MRT 機構はこれら MRS アルゴリズムと FC 機構により, 適応的な多重経路通信を可能とする.

### 4. まとめ

本稿では, 現状の IP における問題点を指摘し, その解決法として DO-MRT 機構による適応的なルーティングを提案した.

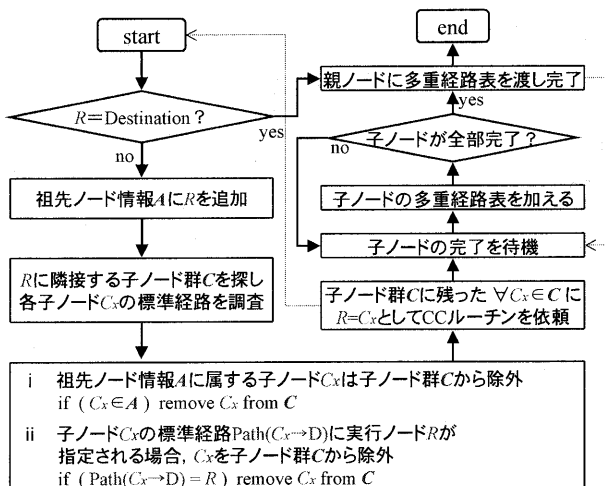


図1 CC ルーチン