

## 2H-7 コンピュータネットワーク上の フロー制御と適切なフロー配分

○ 銭 飛 平田 廣則

千葉大学

### 1. まえがき

従来、コンピュータネットワーク上のルーチングとフロー制御とは別々の問題として扱われ、ルーチングアルゴリズムとフロー制御スキーマとは独立に設計されてきた<sup>[1]</sup>。フロー制御スキーマの一つの評価目標となっているスループット問題とルーチングアルゴリズムの評価目標であるディレイ特性とは相反する問題であるので、その間のバランスを調節する役割を果たせるものが必要となる。これらの問題を解決するために、一つの方法として、両者を結びつけて統合的に処理することが考えられる。つまり、フロー制御とルーチング制御を統合することにより、許容範囲内で適当な調節を行い、許容範囲内のパスが存在しているだけパッケージを受け取り、許容範囲内でスループットをできる限り最大にする。本文ではネットワークの状況のランダム変動に適応するをも含めて、TTLA(Two Teacher Learning Automata)を用いた学習機能を持つ分散型FRA(Flow Routing Algorithm)を提案し、その可能性について検討する。

### 2. TTLAについて

TTLAとは二つのランダム環境上で動作している確率オートマトンである<sup>[2]</sup>。確率オートマトンは  $\{X, \alpha, P, A\}$  で定義することができる。ここで、 $X$ と $\alpha$ は入力と出力集合を表わす。 $P$ は確率ベクトルで、 $A$ は修正スキーマ(強化法)である。出力 $\alpha$ は確率オートマトンのアクション集合で、 $\alpha = \{\alpha_1, \dots, \alpha_r\}$ とする。入力  $X = \{x_1, x_2\}$ は  $\{0, 1\}$  上でのランダム変数である。確率ベクトル  $p$ は確率オートマトンのアクションの選択確率分布を表わし、 $P = \{p_1, \dots, p_r\}^T$ とする。確率オートマトンと二つのランダム環境  $R_1, R_2$  の間のフィードバック構造となり、片方の出力が片方の入力となる。集合  $C_i = \{c_1^i(t), \dots, c_r^i(t)\}$ ,  $i=1, 2$ はランダム環境のペナルティー確率からなり、 $c_j^i(t)$ は時刻  $t$ でアクシ

ョン  $\alpha_j$ を選択したとき、ランダム環境  $R_i$ ,  $i=1, 2$  の平均ペナルティーを表わす。

ある時刻において、確率オートマトンは一つのアクションを二つのランダム環境  $R_1, R_2$  に作用する。環境はその影響を受け、変動をする。変動の結果として反応  $X = (x_1, x_2)$ を通じて確率オートマトンにフィードバックする。確率オートマトンはこの入力について、前回出したアクションが適切であったかどうかの判断を下し、内部修正スキーマにより次のアクションを選択する確率を決め、新しいアクションで環境に作用する。このループを最適アクションが見つかるまで繰り返す。

TTLAを評価するとき、一般には、次のような平均ペナルティー関数により、修正スキーマを評価する。

$$M(t) = \sum_{i=1}^r p_i(t)(c_1^i + c_2^i) \quad (1)$$

この場合、次式を満たす  $\alpha_{i^*}$ を最適アクションという。

$$c_1^{i^*} + c_2^{i^*} < c_1^i + c_2^i \quad \forall i \in \{1, r\}, i \neq i^* \quad (2)$$

### 3. FRAの構築

ノード数  $N$ 、リンク数  $L$ 、各ノードにつながるリンク数  $m_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ )のネットワークについて考える。リンク  $(i, k)$ の容量を  $C_{i,k}$ とする。ネットワークの各ノード上にTTLAを一つずつおき、ネットワークの状況の変化を監視する。各TTLAはネットワークの資源を巡って競争が生じ、自分にとって都合の一番良いアクションを決めようとする。評価関数は二つの目標に対する平均ペナルティー関数で、一つは最小平均転送ディレイ、もう一つは最大スループットである。ここで、各TTLAに対して、アクション集合を有限集合とする。各TTLAは自分のアクションを独立に決めることにより、自身が受ける平均ペナルティーを最小限に抑えようとする。このシステムを全般的にみれば一種の非零和ゲームになる。しかも、非協力ゲーム(NASHゲーム)に帰着することが証明できる<sup>[3]</sup>。

多商品流問題と同じように、各ノード上のフローは次式で決める。

$$t_i^j = \gamma_i^j + \sum_k t_k^j p_{ki} \quad \forall i, j \quad (3)$$

ここで、 $t_i^j$ はノード*i*上でのノード*j*に向かうフロー、 $\gamma_i^j$ はユーザ需要に対して実際割り当てたトラフィック、 $p_{ik}$ はリンク(*i, k*)に割り当てる重みとする。

本モデルの中では、入力を制限することによりフローを制御する。Klenrock条件<sup>[4]</sup>を満足する場合は、 $M/M/1$ 待行列のオープン型ネットワークのモデルを用いることができ、平均転送ディレーが以下のように求まる。

$$D = \sum_{i,k} D_{ik} = \sum_{i,k} \frac{\sum_j p_{ik}^j t_i^j}{C_{ik} - \sum_j p_{ik}^j t_i^j} \quad (4)$$

フロー制御が加わった入力フロー $\gamma_i^j$ は常数でなくなり、 $D$ の許容範囲 $D_{max}$ を与える必要がある。新たに加わった評価要素を以下のように定義する。

$$\rho_i = \frac{\text{ユーザの需要 } \gamma_i^j - \text{実際の割当 } \bar{\gamma}_i^j}{\text{実際の割当 } \bar{\gamma}_i^j}$$

このようなフロー配分の適切性(Fairness)要素を含めたFRAを以下のように構築する。時刻*t*での $\alpha_i(t)$ について、二人のTeacherの中で*m*( $m=0, 1, 2$ )人が賛成し、 $2-m$ 人が反対するとする。

$$p_{ik}^j(t+1) = p_{ik}^j(t) + \eta m \sum_{l \neq k} \delta_{il}^j$$

$$p_{il}^j(t+1) = p_{il}^j(t) - \eta m \delta_{il}^j, \quad l \neq k.$$

$$0 < 2\eta < 1$$

Where,

$$m = \begin{cases} 0, & D_{il} \geq D_{max} \bar{\gamma}_i^j, \quad \rho_i(t-1) - \rho_i(t) \leq 0 \\ 1, & D_{il} \leq D_{max} \bar{\gamma}_i^j, \quad \rho_i(t-1) - \rho_i(t) \leq 0 \\ & D_{il} \geq D_{max} \bar{\gamma}_i^j, \quad \rho_i(t-1) - \rho_i(t) \geq 0 \\ 2, & D_{il} \leq D_{max} \bar{\gamma}_i^j, \quad \rho_i(t-1) - \rho_i(t) \geq 0 \end{cases} \quad or$$

The  $\delta_{il}^j$  is defined as follows :

$$\delta_{il}^j = \min[p_{il}^j(t), \theta e_{il}^j / t_i^j]$$

and for  $l \notin B_i(j)$  :

$$e_{il}^j = D'_{il}(f_{il}) + \frac{\partial D}{\partial \gamma_i^j} - \min_{m \notin B_i(j)} [D'_{il}(f_{il}) + \frac{\partial D}{\partial \gamma_m^j}] \quad (5)$$

$$k = \min_l \min [e_{il}^j]$$

このアルゴリズムの中での  $e_{ik}$  はリンク(*i, k*)を選択した場合と最適リンクを選択した場合のディレーの差を示しているが、この式の正当性に関しては他の文

献<sup>[3]</sup>に譲る。

#### 4. シミュレーションの結果

今回は、以上のFRAについて簡単なシミュレーションを行なった。実験パラメータは以下のように設定している。

$$N=8, L=14, C=4.0, \gamma_i^j=6, \theta=0.005, D_{max}=2.0$$

図1の結果からみれば、適切性要素を導入する以前のアルゴリズムと比べ、FRAの方がスルプットの面で改善されていることがわかる。

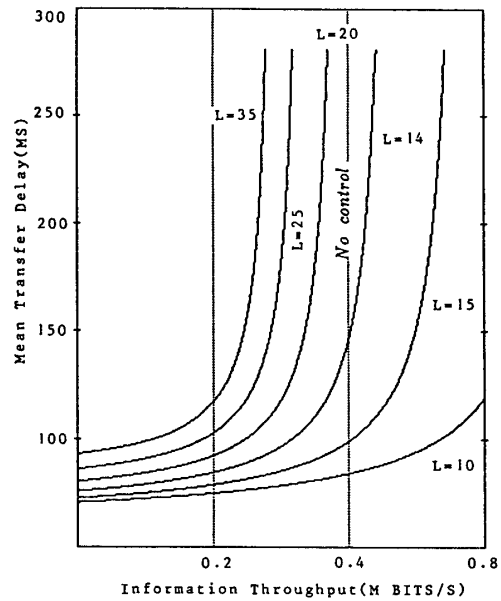


Fig.1 Throughput performance of FRA

謝辞：日頃有益なる御討論御助言を頂いた千葉大学工学部電子工学科倉田是教授並びに自然科学研究科須貝康雄博士に感謝致します。

参考文献：

- [1] M.Gerla and L.Klenrock, "Flow control : A comparative survey". IEEE Trans.on commun., Vol., Com-28, No. 4, April 1980.
- [2] N.Baba, "New topics in learning automata theory and applications". Springer-Verlag, 1984.
- [3] 銭飛、平田、深尾、"学習オートマトンを用いた分散型ルーチングアルゴリズム"、(to appear).
- [4] M.Schwartz, "Computer communication network design and analysis", New York, 1977.