

ゲーム理論に基づくネットワーク経路選択手法の提案

3M-7

山本 公洋 藤浦 豊徳 内藤 昭三

NTT ソフトウェア研究所

1 はじめに

通信回線・交換機の個数や配置など、また通信量発生分布などが非均質であり、かつ動的に変化するネットワークを考察対象とする。ネットワーク有限資源の動的再配分問題を取り扱う。通信量の局所の変化から全体的変化まで、また、短期的変化から長期的変化まで対応する。さらに故障、廃止、新設などの構造変化にまで対応する。中央一括制御ではなく分散制御を実現する。各交換機が利用可能な情報は、交換機自身で観測可能な範囲に限定する。限定合理性 [3] を重視する。Prisoner's dilemma [1] におけるしっぺ返し戦略 [2] に基づく経路制御手法 RAG(Routing Agent based on Game theory) を提案する。局所的な経路制御の積み重ねから全体的に最適な経路制御が創発されることを期待する。

2 想定する仮想ネットワーク

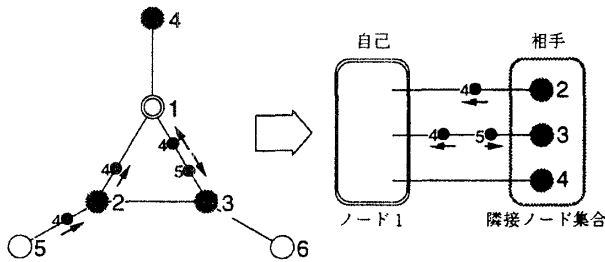


図 1: 仮想ネットワーク

ノード（交換機）とアーク（通信回線）でネットワークを構成する（図1参照）。ノードは一定数のバッファを持ち、パケットを内部に保持できる。任意のノードで、任意の頻度で、パケットが発生する。パケットは宛先、配送履歴のみを持つ。パケットが持つ情報もまた、パケット自身で観測可能な範囲に限定する。任意のノードは、アークで接続されるノード（隣接ノード）とパケットを交換する。隣接し合うノード2個の意思決定に基づきパケットを交換する。隣接ノード間のパケット交換の連鎖によりパケット配送を実現する。全てのノードは一斉にパケットを送信する。また、全てのノードは一斉にパケットを受信する。各ノードは同期をとりながら送信動作と受信動作を交互に繰り返す。任意のノードは1回の送信動作で1個のパケットしか送信できない。また、1回の受信動作で1個のパケッ

トしか受信できない。1個のアークは1回の送信動作、もしくは受信動作においてパケットを双方向1個づつ、合計2個伝送できる。

3 自己 vs. 相手

任意のノードは、自分を、非ゼロ和2人ゲームのプレイヤー（自己）と見なす。また、隣接ノードの集合を、敵対プレイヤー（相手）と見なす（図1参照）。自己は、まず第一に、自分宛パケットを優先的に獲得する。自分宛パケットが無い場合、できるだけたくさんのパケットを交換することが、自分宛パケットの獲得につながると考える。単位時間当たりのパケット交換回数の最大化を求めて行動する。

4 利得表

表 1: ノード1の送信利得表（実験結果）

隣接種別	宛先種別				
	2	3	4	5	6
2	0.003 0.100	0.001 0.000	0.004 0.000	0.002 0.000	0.003 0.040
3	0.003 0.000	0.001 0.040	0.004 0.000	0.002 0.060	0.003 0.000
4	0.003 0.000	0.001 0.000	0.004 0.100	0.002 0.000	0.003 0.000

Buffer: 10, History: 50, Incidence Rate: 0.1

各ノード毎に2種類の利得表、送信用と受信用とを用意する。送信利得表を表1に示す（小数点第4位以下四捨五入）。送信利得表の縦軸は隣接ノード（隣接種別）を示す。横軸はパケットの宛先（宛先種別）を示す。各ノードにおいて、隣接種別は既知とする。また、到着するパケットから宛先種別を学習する。利得値は、上段が自己利得、下段が相手利得を示す。パケットを内部で蓄積していた時間（保持時間）に基づき自己利得を算定する。宛先種別毎に自己利得を算定する。隣接種別にかかわらず、同じ宛先種別の自己利得は等しい。保持時間の長いパケットを送信する場合、自己利得は高いと考える。また、アック頻度に基づき相手利得を算定する。隣接種別、宛先種別毎に相手利得を算定する。アック応答率の高いパケットを送信する場合、相手利得は高いと考える。

同様に、受信利得表の縦軸は隣接種別、横軸は宛先種別を示す。保持時間に基づき自己利得を算定する。

¹Routing Agent based on Game Theory
Kimihiro YAMAMOTO, Toyonori FUJIURA and Shozo NAITO
NTT Software Laboratories

保持時間の短いパケットを受信する場合、自己利得は高いと考える。また、パケットの到着頻度に基づき相手利得を算定する。到着頻度の高いパケットを受信する場合、相手利得は高いと考える。

5 経路選択

任意のノードの送信動作と受信動作は独立している。しかし便宜上、送信動作と受信動作の同期をとる。任意のノードにおける通信と処理の手順を図2に示す。

まず最初、バッファ内部における送信可能パケットの有無を確認する。パケットの配送履歴を調べてループを回避する。同じパケットを同じ隣接ノードに連続送信することを禁止する。送信可能パケットが複数存在する場合、送信利得表において自己利得と相手利得の総和が最大であるパケットを送信する（協調戦略）。送信可能パケットがない場合、絶縁した隣接ノードとの通信復旧を行なう。

次に、バッファの空き状況を確認する。空きが無い場合、受信動作を終了する。次に、自分で発生するパケット、及び隣接ノードから到着するパケットを確認する。自分宛パケットがある場合、そのパケットを優先的に受信する。自分宛パケットがない場合、受信利得表において自己利得と相手利得の総和が最大であるパケットを受信する（協調戦略）。受信したパケットをバッファに追加する。また、アックを返信する。

次に、送信したパケットに対するアックを確認する。アックが確認できた場合、送信したパケットをバッファから削除する。アックが確認できない場合、カウンタを1増やす。カウンタが限界値に達したら、該当する隣接種別、宛先種別を送信利得表、受信利得表から抹消して絶縁する（しつぺ返し戦略）。抹消した隣接ノードへは、いっさいパケットを送信しない。また、抹消した隣接ノードから、いっさいパケットを受信しない。

6 履歴と学習

各ノードは3種類の履歴に基づき送信利得表、受信利得表を更新する。到着するパケット、保持するパケット、アックに着目して履歴を蓄積する。それぞれ、到着履歴、保持履歴、アック履歴とする。動的に変化するネットワークにおいて、古すぎる履歴に基づく学習はネットワークの振舞いを悪化させると考えられる。各履歴は、同等の一定有限期間だけ過去に遡り履歴を記憶する。

現在の時点をも、記憶期間を n とする。最古の履歴は時点 $t-n$ となる。また、隣接ノード数を x 、バッファ数を y とする。受信利得表の自己利得の初期値は1とする。送信利得表の自己利得、相手利得、受信利得表の相手利得の初期値は0とする。

時点 t において到着するパケットを到着履歴へ追加する。同時に、受信利得表の相手利得のうち、追加したパケットの隣接種別、宛先種別に該当する利得へ $1/nx$ を加える。また、時点 $t-n$ において到着したパケットの履歴を削除する。同時に、削除したパケットの隣接種別、宛先種別に該当する利得から $1/nx$ を減じる。

上記と同様、保持履歴にパケットを追加、削除すると同時に、送信利得表の自己利得及び受信利得表の自己利得に $1/nxy$ を加減する。さらに、アック履歴にアッ

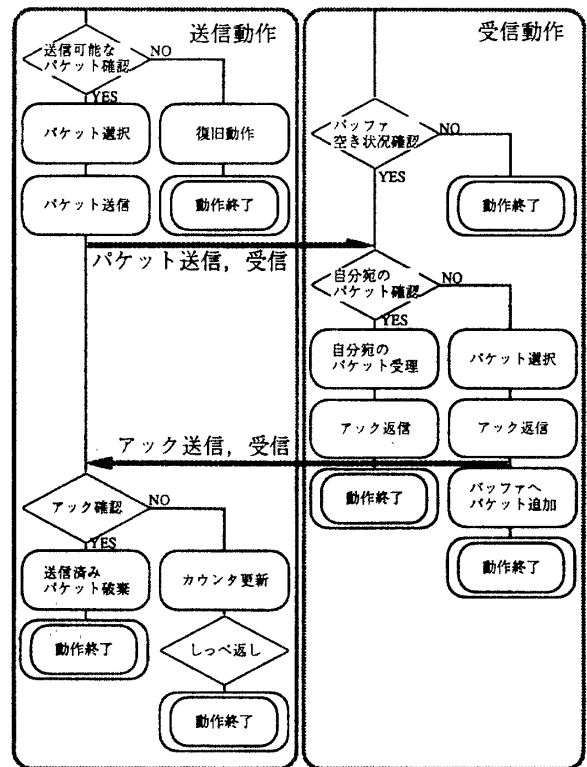


図2: 経路選択アルゴリズム

クを追加、削除すると同時に、送信利得表の相手利得に $1/n$ を加減する。

7 おわりに

分散制御により頑健なネットワークを実現する。協調戦略としつぺ返し戦略を併用することで、ネットワーク全体の負荷均衡を保てる。また、しつぺ返し戦略を用いることで故障等、輻輳を発生させる要因を即座に除去できる。輻輳の伝播を抑制できる。さらに、協調戦略としつぺ返し戦略の指針に基づき、局所的な意思決定と局所的な学習とを繰り返すことで、ネットワーク全体の最適経路制御が創発できる。RAGは経路制御だけでなく、制約充足問題の解決手法として、また、その他並列情報処理の基本アーキテクチャとして使用できる。すでに、初期実験において最適経路制御の創発現象を確認している（表1参照）。ネットワーク全体の振舞いの収束性が今後の研究課題である。

参考文献

- [1] 鈴木光男: ゲーム理論入門, 共立出版 (1981).
- [2] Smith, J.M.: 進化とゲーム理論, 産業図書 (1985).
- [3] 瀧澤弘和: ゲーム理論における限定合理性モデル, 情報処理学会 人工知能研究会資料, 96-AI-106, pp.27-36 (1996).
- [4] 村井康紀, 棟朝雅晴, 高井昌彰: 遺伝的アルゴリズムによる始点制御ルーティング, 情報処理学会 マルチメディア通信と分散処理研究会資料, 96-MD-79, pp.43-48 (1996).