

1U-5

ノードの位置とトラフィック交流度を考慮した
ネットワークセグメンテーション手法の提案

大野 雄一郎 大平 孝 行田 弘一

ATR環境適応通信研究所

1. はじめに

一時的に特定地域に集まった人々の間でネットワークを構成するアドホックネットワークにおいては、動的に変動するユーザ数やトラフィック負荷などの通信環境に適応した制御が必要となる。その一方式として、ネットワークを各ノード間のトラフィック交流度に従ってセグメント単位に分割しリソースの有効利用を図る、ネットワークセグメンテーションアーキテクチャが提案されている[1]。ところがアドホックネットワークでは、アクセス系にワイヤレスを用いるため、トラフィック交流度だけでなく、ノードの地理的な分布状況もネットワークセグメンテーションの重要なパラメータとなりうる。

本稿では、ノードの位置とトラフィック交流度をベクトルにより表現し、その内積をもとにセグメンテーションを行う手法を提案し、計算機シミュレーションによりその有効性を示す。

2. ネットワークモデル

n 個のノードを持つネットワークを s 個のセグメントに分割する場合、セグメントをまたがる中継トラフィックが全てのセグメントをホップして送信されると仮定すると、中継トラフィックを少なくするセグメンテーションを行うことが望ましい。この問題は、図1のようにグラフ分割問題として表現できる。

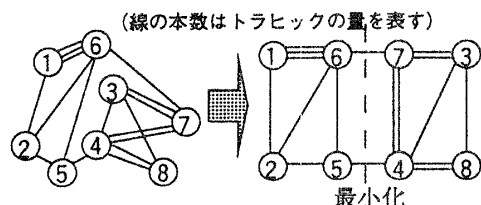


図1 グラフ分割問題（セグメント数 $s=3$ ）

A Proposal for a Network Segmentation Scheme based on Nodes' Location and Interchanged Traffic
Yuichiro OHNO, Takashi OHIRA and Koichi GYODA
ATR Adaptive Communications Research Laboratories
2-2 Hikaridai Seika-cho Soraku-gun Kyoto, 619-0288 Japan

本稿では、ノードが2つのセグメントに分かれて存在しているネットワークモデルを考える。ノードは、セグメント毎に割り当てられたチャネルへCSMAでアクセスするものとする。また、トラフィックは固定長パケットのポアソン到着、 T_{total} , T_R , T_i はそれぞれトータルトラフィック、中継トラフィック、セグメント i の収容トラフィックとする。この時、セグメント i のトラフィック負荷 G_i に対するパケット送信成功確率は、[2]より、

$$P(G_i) = \frac{\exp(-aG_i)}{G_i(1+2a) + \exp(-aG_i)}, \quad G_i = T_i + T_R \quad (1)$$

($a=1.0e-4$: 正規化伝搬遅延時間)

となるので、全体のスループットは次のようになる。

$$S(G_{total}) = \sum_{i=1}^s T_i \cdot P(G_i) + T_R \prod_{i=1}^s P(G_i) \quad (2)$$

また、ノード i, j 間のトラフィックを $t_{i,j}$ と書くと、ノード数 n に対して、各ノード間のトラフィックは $n \times n$ 対称行列として次のように書ける。

$$\mathbf{T} = \begin{pmatrix} 0 & t_{1,2} & \cdots & t_{1,n} \\ t_{2,1} & 0 & & \vdots \\ \vdots & & 0 & t_{n-1,n} \\ t_{n,1} & \cdots & t_{n,n-1} & 0 \end{pmatrix}, \quad t_{i,j} = t_{j,i} \quad (3)$$

ここで、ノード i は2次元平面上に座標 (x_i, y_i) を持つものとする。ノード i と j の内積を計算する際に用いるトラフィックベクトルは、(2)を基に、 i, j 間のトラフィック交流度を内積に反映させるため、次のように定義する。

$$\mathbf{v}_{i,j} = \left(t_{i,j}^2, t_{i,1}, t_{i,2}, \dots, t_{i,n}, w \frac{x_i - x_j}{2}, w \frac{y_i - y_j}{2} \right) \quad (4)$$

$$\mathbf{v}_{j,i} = \left(t_{j,i}^2, t_{j,1}, t_{j,2}, \dots, t_{j,n}, w \frac{x_j - x_i}{2}, w \frac{y_j - y_i}{2} \right)$$

ここで w は、トラフィック情報に対する位置情報のウェイトとする。各ノード間に定義される $\mathbf{v}_{i,j}$, $\mathbf{v}_{j,i}$ を用いて内積 $\langle \mathbf{v}_{i,j}, \mathbf{v}_{j,i} \rangle$ を計算する。

3. アルゴリズム

セグメンテーションのアルゴリズムを示す。

1. 収容トラフィック最小のセグメント S を選択する
2. セグメント S に所属するノードとの内積が最大のノードをセグメント S に加える
3. 1に戻る

このシーケンスを、すべてのノードがどちらかのセグメントに属するまで繰り返す。

4. シミュレーション

本稿では $s=2, n=25$ の時、トラフィック交流度のみを考慮した場合と、ノードの位置も考慮した場合とで、各ノード間のトラフィックを一樣分布によって発生させ、トラフィック負荷を変えてシミュレーションを行った。また、比較のため、ノード数が均等になるようにセグメンテーションを行った場合の理論上限及び理論下限も算出した。

4. 1 トラフィック交流度のみを考慮した場合

図2によると、提案方式は、理論上限に近い値を安定して算出していることがわかる。本方式は、従来のヒューリスティックな手法に較べて探索する解空間が圧倒的に小さいため、本方式を用いて理論上

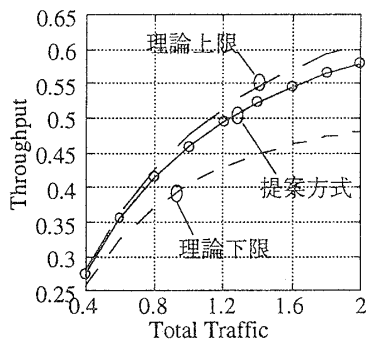


図2 トータルトラフィックとスループットの関係

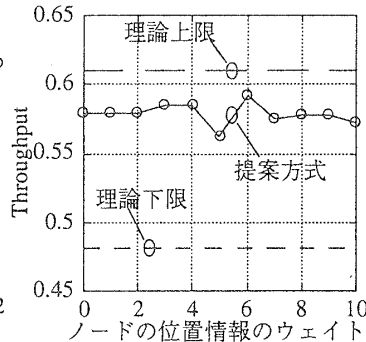


図4 w とスループットの関係

限値を得るのは難しいが、計算時間が少なくすむため、アドホックネットワークに特有の通信環境の動的な変化に、素早く適応できる可能性がある。

4. 2 ノードの位置も考慮した場合

図3のように、ノードが x-y 平面上の格子点に分布している時に、トータルトラフィック $T_{total}=2.0$ に固定し、w を変えてセグメンテーションを行った。w の増加に伴い、近距離に位置するノード同士が同一のセグメントを形成するようになることがわかる。また、図4より、本提案方式の解は、w が増加しても比較的安定して良いスループットを達成していることがわかる。

5. まとめ

ノード間のトラフィック交流度をベクトル表現し、その内積を用いるネットワークセグメンテーション手法を提案し、その有効性を計算機シミュレーションにより示した。本方式は、少ない計算時間で理論上限値に近づくことを確認した。また、ベクトルの要素にノードの位置情報を付け加えることで、ノードの地理的分布をも考慮したセグメンテーションが可能であることが分かった。

参考文献 [1] M. Nozaki et al., "Dynamic Segmentation Scheme for a Wireless Ad-Hoc Community Network," the 3rd International Symposium on Multi-Dimensional Mobile Communications, pp.202-206, Sep. 1998

[2] L. Kleinrock et al., "Packet Switching in Radio Channels : Part I - Carrier Sense Multiple-Access Modes and Their Throughput-Delay Characteristics," IEEE Trans. Commun., vol.23, no.12, pp.1400-1416, Dec. 1975

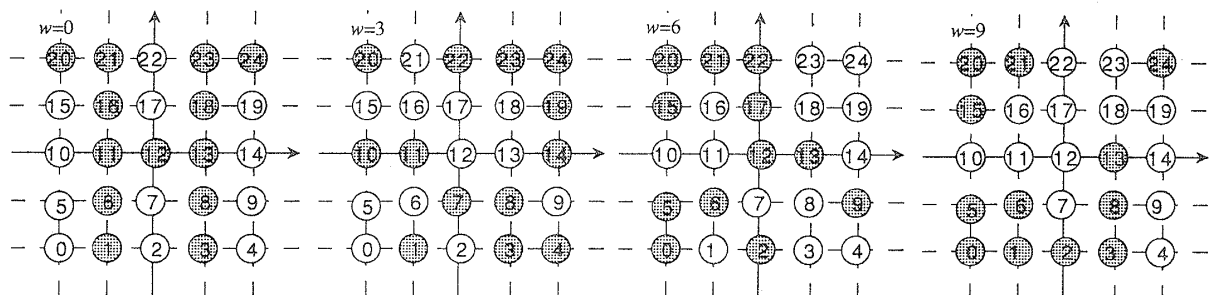


図3 位置情報のウェイトを変えたときのセグメンテーションの様子