

ロボットアドホックネットワークにおける 通信品質向上のための協調制御方式

王 彪[†] 大坐 畠 智[†] 川島 幸之助[†]

[†] 東京農工大学

1 はじめに

近年、既設のインフラを持たずに、その場限りのネットワークを構成するアドホックネットワークが注目されている。その利用法の一つとして、移動ロボットがノードとなりネットワークを構成し、異常を監視するシステムが考えられる。本稿では、そのようなネットワークにおいて、各ロボット間のリンクの通信品質を保つために、利用可能帯域幅を測定しながらロボットを移動させる方式を提案する。提案方式を実験システムとして実現し、通信品質の評価を行う。

2 提案するネットワーク構成方式

2.1 利用可能帯域幅の測定

複数のロボットでマルチホップネットワークを形成するとき、各リンクにおいて、ロボット間距離や信号の強度によって利用可能な帯域幅が異なる。リンク間の利用可能帯域幅の差が大きい場合、パケット転送遅延が生じ、ネットワーク全体の通信品質が低下する。この問題に対して、ネットワークの通信品質を保つために、各リンクの利用可能帯域幅を測定しながらロボットを移動させることにより、リンク間の帯域幅の格差を減らし、エンド・ツー・エンドでのスループット低下を抑える方式を提案する。

本稿では、アクティブ計測[1]、パッシブ計測[2]の2つの計測方式の利点をとってロボット監視ネットワークに適した計測方式を考案する。まず、ロボットの映像送信が始まるまではバックグラウンドトラフィックがほとんどないため、アクティブ計測方式を用いる。本方式ではプローブパケットのバルク転送[3]による利用可能帯域幅推定方式を用いる。

しかし、監視映像送信が始まってから計測用パケットをネットワークに流すと、通常の映像トラフィックに影響を与え無用な遅延が生じてしまう。この影響を無くすため、RTP 映像通信を行っているときにネットワーク上に流れている RTP パケットを利用して、ネットワークの利用可能帯域幅を推定する。利用可能帯域幅を測定するためには測定に使用できるパケットトレインをフローの中から見つけ出す必要がある。

そこで、IP パケットの ID フィールド (IPID) を利用する。IPID フィールドは、IP フラグメンテーションにおいて利用され、IP パケットを識別するための識別子である。同一ホストから IP パケットが送信される時、IPID 値は連続した値がふられる。ネットワークに一度に複数のパケットが送出される時、IPID 値が連続するこ

とになる[4]。この IPID が連続する部分をアクティブ測定におけるパケットトレインとして扱うことができる。しかしながら、本実験のような環境では、監視ロボットには RTP ストリーミング以外の通信が少なく、ひとつの UDP コネクションしか使用しないため、常に IPID が連続になる場合がある。そのため受信側では IPID の値だけではパケットトレインを判別するができない。

この問題を解決するために RTP フレームがパケットに分割されることを利用する。すなわち図 1 のようにデータが分割されるが、ひとつのパケットトレイン中、一般的には最後のパケットのサイズは他のパケットと異なる。そこで IPID 情報にパケットサイズの情報を加えることにより、パケットトレインを見分けることが可能となる。そのパケットトレインを用いて実質的にアクティブ測定と同様に利用可能帯域幅が推定できる。

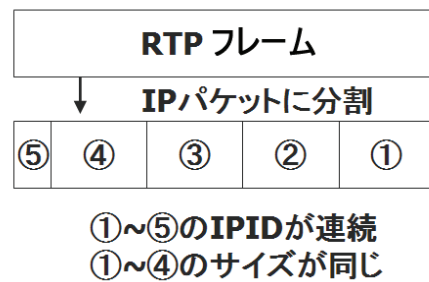


図 1 RTP フレームの IP パケット化。

3 実験

本実験では提案方式を無線 LAN インタフェース搭載の ER1 ロボットキット[5]に実装する。実験ネットワークはセンターPC 1台、ロボット 2台で構成した。(図 2) 各ロボットは無線 LAN インタフェースを 2 枚使用する。

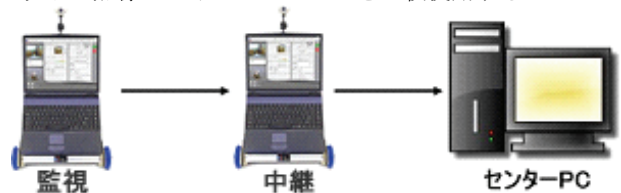


図 2 実験ネットワーク。

3.1 RTP 通信を用いた利用可能帯域幅推定法の評価実験

監視ロボットの位置はセンターPC から 60m の位置に固定した。計測用パケットを用いて利用可能帯域幅を推定する方法と映像 RTP パケットを用いて測定する方法による結果を比較する。アクティブ計測に用いたパケットトレインのパラメータを表 1 に示す。計測用パケットを用いた方法では映像トラフィックがない。また、映像トラフィックを用いた方法では RTP のビットレートは 1.5Mbps である。

A Cooperative Control Method for Improving Communication Quality on Wireless Robot Ad Hoc Network,
Biao Wang, Satoshi Ohzahata, Konosuke Kawashima,
Tokyo University of Agriculture and Technology

表 1 計測用パケットトレインのパラメータ.

パケットサイズ	パケット数	プロトコル
980Byte	100	UDP

計測用パケットを用いた方法では計測回数 20 回, ひとつのパケットトレイン中のパケット数は 40 である. 図 3 に示すように計測用パケットを用いた計測法では計測結果に影響を与えるバックグラウンドトラフィックがないため, ある一定の量の計測用パケットがあれば, 安定した結果が得られる (平均値は 4.13Mbps). 一方, 図 4 に示す RTP パケットを用いた推定法では計測に利用可能な RTP パケットトレインの平均パケット数は 7 個でパケットサイズは 980Byte, 1 秒間の RTP パケットには平均 25 の利用可能パケットトレインがあり, パケットトレイン毎のパケット数およびパケットの総サイズが変動するため, 計測結果に多少の変動が生じた. しかし, 1 秒間の平均値は 3.96Mbps であり, 計測パケットを用いた方法と近い推定値が得られる.

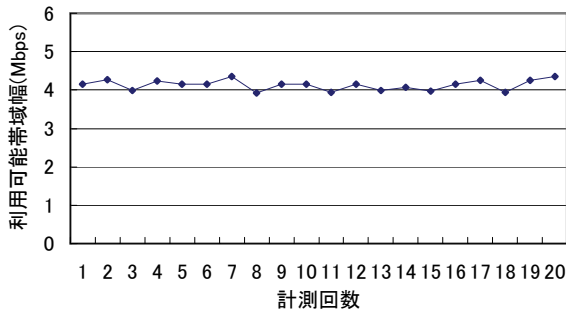


図 3 計測用パケットを用いた利用可能帯幅域推定法.

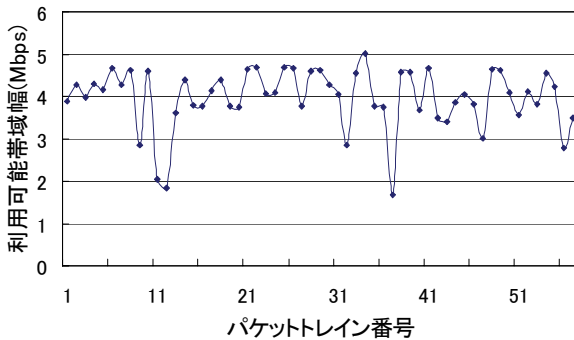


図 4 RTP パケットを用いた利用可能帯幅域推定法.

3.2 監視ロボットが動く場合の評価実験

次に監視ロボットが映像送信を行いながら位置を変更する場合を考える. 中継ロボットが中間位置を維持する方法と, 映像 RTP パケットを用いて測定し位置を調節する方法を比較する. 監視ロボットはセンターから 20m 離れたところから 5m ずつ遠くに動いていく. 停止時間は 1 回に 10 秒, 映像 RTP パケットのビットレートは 1.5Mbps である. 中継ロボットの帯幅の差が平均の 30%を超えた場合, ロボットが移動する. 最高移動速度は 18cm/s であり, 調節のためのロボットの 1 回の移動幅は 50cm とした.

5 分間の実験結果を図 5 と図 6 に示す. 中間位置を維持する場合の平均 1.61ms に対し, 帯幅を測定する場

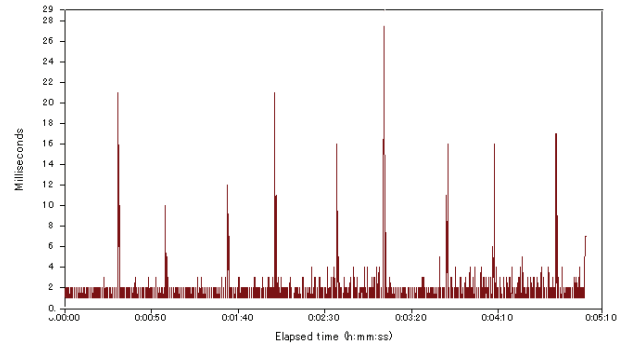


図 5 中間位置を維持する場合のジッタ.

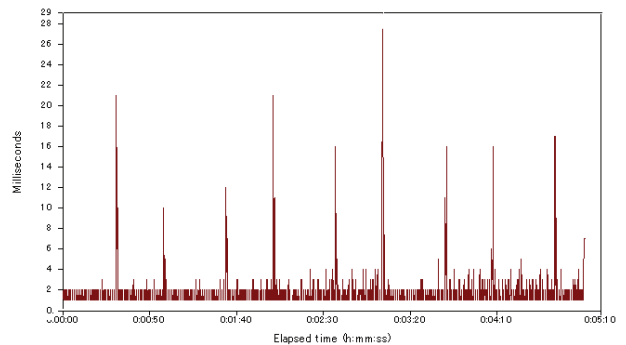


図 6 帯幅を測定し位置を調整する場合のジッタ.

合は平均 1.28ms のジッタ (パケット到着間隔) が発生する. そしてロボットが動くたびに両方式ともに大きなジッタが発生するが, 中間位置を維持する方法では距離が大きくなるにつれ, パケットジッタも大きくなっているのが分かる.

4. おわりに

本稿では各ロボット間のリンクの通信品質を向上させるために, アクティブ計測とパッシブ計測を組み合わせるネットワークの利用可能帯幅を測定しながらロボットを移動させる, ロボットアドホック監視ネットワークの構成方式を提案した. ロボットキット ER1 に実装し, 通信品質の評価を行い, 提案方式の有用性を示した. 今後の課題として, アプリケーションの品質の評価がある.

参考文献

- [1] Manish Jain, Constantinos Dovrolis, “End-to-End Available Bandwidth: Measurement Methodology, Dynamics, and Relation with TCP Throughput,” Proc. of SIGCOMM2002, pp. 537-549, 2002.
- [2] Ningning Hu, Peter Steenkiste, “Evaluation and Characterization of Available Bandwidth Probing Techniques,” IEEE JSAC, Vol.21, No.6, pp. 879-894, 2003.
- [3] MRTG, <http://people.ee.ethz.ch/~oetiker/webtools/mrtg/>.
- [4] S.M.Bellovin, “A Technique for Counting NATed Host,” Proc. of ACM IMW’02, pp.267-272, 2002.
- [5] 米国 EvolutionRobotics 社, <http://www.evolution.com/>.