

リンクアグリゲーション通信を用いた 複数の移動ロボットの最適協力方法

野田勇人[†] 村瀬勉[‡] 笹島和幸

東京工業大学大学院情報理工学研究科情報環境学専攻

1. はじめに

移動可能なロボットやセンサなどのデバイスを用いたセンシングが盛んになっている。本稿では、各ロボットが指定された場所周辺を調査する際に、自分の調査に伴う通信と他のロボットと協働する調査の通信(大容量)の両方を行いながら、作業目的を最適化する問題を考える。そのために、ロボットは適宜移動協力して、各回線を束ねて(リンクアグリゲーション)用いる。

2. 移動協力による協働通信の研究背景と課題

本稿では複数のロボットが個々に指定された範囲を調査し、場合によっては、他のロボットの調査に協力するというモデルを扱う。図1のように、各ロボットが各担当調査領域で得られたデータ(たとえば低レートの動画像等)を3G/LTEのような広域無線回線でセンターに常に送っている。この動画を、より高精細に見る必要が生じた場合に、高精細動画の転送を行うといったシナリオを想定している[1][2]。また、一定期間蓄積した高精細動画をファイル転送の形で転送するシナリオも想定している[3]。本稿では、後者のファイル転送を主として考える。

まず最初に、リンクアグリゲーション(LA)と移動協力について述べる。LAとは通信回線を束ねて仮想的に1本の太い回線として利用することを指す。LAによりたとえば図1のように、3台のうち中央のロボットが、右上・左上のロボットの持つ3G/LTE回線の一部と自身の3G/LTE回線をあわせて3本を仮想的に太い1本の回線とみなすことで、より広帯域な通信を実現できる。

各ロボット同士は、IEEE802.11gのような無線LAN(WLAN)回線で通信できるとし、ファイル転送を高速に行いたいロボットは、周囲のロボットのWLAN回線を経由して、LAを行う。

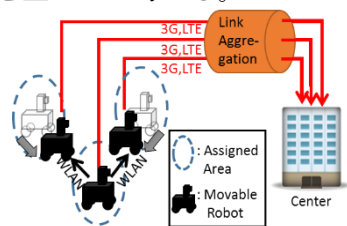


図1 リンクアグリゲーションと”協力”の概要図

このとき、ロボット間距離が大きすぎると、WLAN回線がボトルネックとなり低速になる。そこで移動協力を行う。本研究において移動協力とは、LA時に周辺ロボットに近づいてもらい、ロボット間WLAN通信において十分なスループットを得ることである。移動協力によりLA通信のスループットが大きくなる一方、移動するロボット自身の調査活動の質が下がる(例えば対象地域から遠ざかることによる動画像の劣化)。以上の協働によるメリットとデメリットを比較して、移動協力を行うか否かを判断し、行うならば最適に行うことが本研究の目的である。

3 協働通信のための移動協力と報酬モデル

3.1 ロボットと報酬のモデル化

次のような機能を持つロボットを仮定する。

- 平面上を全方向に移動可能
- 各自はWLANと3G/LTEを1回線ずつ搭載
- 3G/LTE回線はセンターとの通信に使用。伝送レートは位置によらず、一定
- WLAN回線はロボット同士の通信に使用。伝送レートはロボット間距離が短いほど高い。ロボットの調査活動の質を報酬として定義する。
- 指定場所から離れるほど報酬(通常報酬)は低下し、また回線を貸すことによる自身の通信のデータ劣化により通常報酬は低下。
- 協働作業達成により、一時的に報酬(特別報酬B)が得られる。

ロボット全体で得る報酬、すなわち特別報酬Bからロボット全体の通常報酬の減少分(通常報酬減少分A)を差し引いた値(総合報酬Q)を高くすることが本研究の目的に合致する。

3.2 報酬最大化問題の定式化

今回は、報酬、WLAN通信特性に関して、次のような仮定を置き、総合報酬Q(=B-A)を最大化する問題とした。

- 仕事の質の低下による通常報酬減少分の合計A
 - 指定場所からの距離に応じて単調減少

する関数

- 協力による通信達成による特別報酬 B
 - 通信達成時間 t_0 に応じて単調減少する関数

通常報酬減少分 A, 特別報酬 B, および送るべき情報量 M を図示すると図 2 になる。

4. 移動とコストおよび協働とゲイン

コスト(通常報酬減少分 A)は、多くのロボットが大きく移動するほど大きくなるが、通信達成時間 t_0 は小さくなる。つまり、コストは通信達成時間 t_0 に対して単調減少する。

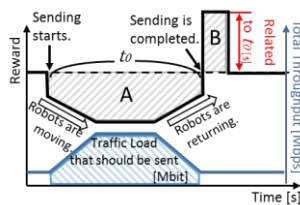


図 2 通常報酬減少分 A と特別報酬 B の概念図

一方ゲイン(特別報酬 B)は、通信達成時間 t_0 に対して単調減少する。総合報酬 Q の最大値(つまり最適解のとき)時の値は、特別報酬関数 $b(t_0)$ に大きく関係している。グラフ $B = b(t_0)$ の傾きの絶対値を大きくした場合、つまり、特別報酬を手厚くした場合、同じ距離近づいて得られる特別報酬 B がより大きくなるため通常報酬減少分 A を多く犠牲にしても、特別報酬 B をより多く得ようとする。つまりより多くのロボットが大きく近づく。またグラフ $B = b(t_0)$ の傾きの絶対値が極端に小さい/大きい場合、それぞれ”全く動かずにゆっくり転送する” / ”最大限近づく” という解空間の両端が最適解となる。

注意すべき点として、Performance Anomaly 問題 [4] を考慮すると、低レートでしか WLAN 通信できない位置にいるロボットは、敢えて LA に参加させない方が高スループットを得られるため、LA 不参加のロボットも存在するという点がある。

5. 総合報酬数値評価

4 章で述べた特性を数値計算により定量的に評価した。本数値例では、5 台のロボットがそれぞれ指定された場所で活動している状況を想定してパラメータを設定した。ロボットの移動速さを 1 m/s、所望転送ファイル容量を 500Mbit とした。各ロボットのもつ 3G/LTE 回線伝送レートを 6 Mbps とし、そのうち 5 Mbps をロボットが LA に協力する場合には貸すこととした。WLAN 伝送レートは、[5] の 802.11g 無線 LAN の実験結

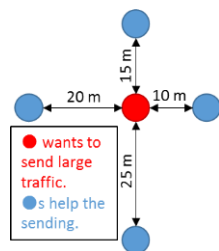
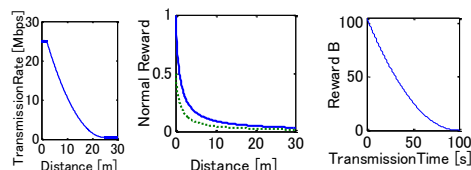
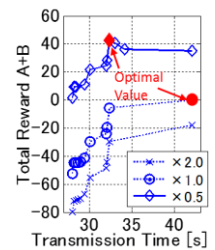


図 3 初期位置

果を参考にし、基本的には図 4 のように 2 次関数と直線で近似したものをを用いたが、今回は最も遠くのロボットのみ 802.11n を用いると想定し、図 4 のグラフを縦軸方向に 2 倍したような関数を用いた。図 5 は 1 秒あたりの 1 台のロボットの通常報酬の関数である。今回、LA のために回線を貸す場合は、自身の通信が低速になるため通常報酬が半分(図 5 の点線)になるとした。通常報酬減少分 A は、全ロボットの (1-(報酬減少分)) を協力時間中積分して足した値である。図 6 で示した特別報酬 B は所望通信量をふまえたうえで、A の大きさに対して適切な大きさとした。



数値例を図 7, 8 に示す。図 7 は通信達成時間(横軸)と総合報酬 Q (縦軸)の関係が、特別報酬関数 $B(t_0)$ を定数倍したときにどう変化するかを示した図である。図 7 より、特別報酬関数 $B(t_0)$ を元の関数(図 6)とした場合と 3 倍 ($3B(t_0)$) した場合で比較すると、後者のほうが最適解の通信達成時間が短い。これは後者のグラフ $y = 3B(t_0)$ のほうがグラフの傾きの絶対値が大きいことに起因している。



6. まとめ

本研究では、複数のロボットが移動協力し、リンクアグリゲーションを行って、所望通信量を転送するといった協働作業を行うシステムにおいて、総合的なメリットを最大化するためのモデルを提案し、数値例とその特性を示した。

参考文献

- [1] Y.Noda, T.Murase, K.Sasajima, "Evaluation on QoS Characteristics of Wireless Link Aggregation with Cooperative Moving Multi-Robots," IEEE Communications Quality & Reliability (CQR'13), May 2013.
- [2] 野田 勇人, 村瀬 勉, 笹島 和幸, "複数ロボットの移動協力によるリンクアグリゲーション通信の性能評価," 情報処理学会 DICO, 2013 年 7 月
- [3] 野田 勇人, 村瀬 勉, 笹島 和幸, "移動協力通信で協働する複数ロボットの最適制御方法," 電気情報通信学会総合大会, 2014 年 3 月
- [4] Martin Heusse, Franck Rousseau, Gilles Berger-Sabbatel, Andrzej Duda, "Performance Anomaly of 802.11b," Proc. IEEE INFOCOM 2003, vol.2, pp.836-843, April 2003.
- [5] Saeko Iwaki, Tutomu Murase, Masato Oguchi, "Characteristic of Multirate through wireless LAN," DICO, 2011.