

自律分散型ロボット間通信プロトコルAR-TDMAの運搬性能評価

荒井 順平[†] 小山 明夫^{††} バロリ・レオナルド^{†††}
[†]山形県立産業技術短期大学校 ^{††}山形大学工学部 ^{†††}福岡工業大学情報工学部

1. はじめに

近年の急速な少子高齢化と技術の進歩により、ロボットへの作業要求は高度で多様化しており、従来のような単独型のロボットですべての作業を達成することは困難になりつつある。

そこで近年、複数台の自律移動ロボットを協調させ高度で複雑な作業を効率良く行わせる自律分散型ロボットシステムの研究が盛んに行われている。高度な協調動作を実現するためにはロボット間通信が不可欠となる。通信を行うためには、通信の多重アクセスを制御するMAC (Medium Access Control; メディアアクセス制御) プロトコルが必要となる^{1),2),3)}。

これまで筆者らは、複数台の自律移動ロボットによる協調搬送作業を想定し(図1)、実時間性・適応性を考慮したメディアアクセス制御プロトコルAR-TDMA (Adaptive Reservation-Time Division Multiple Access)方式を提案している³⁾。

本論文では、シミュレーションによる性能評価により、本方式が従来方式に比べ運搬時間に優れていることを示す。

2. 従来方式の問題点

ロボット間通信のMACプロトコルとして、TDMA/TP (TDMA in Temporal and Partial area)方式が提案されている¹⁾。これはロボット間の通信範囲を、最初に協調動作を要求したロボットから1ホップで届く領域内に限定し、その領域内だけに一時的で部分的なタイムスロットを割り当てる方式である。協調動作が終了した時点で割り当ては解放される。このタイムスロットは固定されたものでなく、新たなロボットからの通信要求により割り当てを拡張したり、逆に通信が終了したタイムスロットを抜き出し、割り当てを縮小したりといった動的な割り当て機構をもつ。

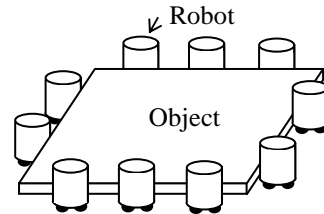


図1. 複数台のロボットによる協調搬送作業

しかし、TDMA/TP方式には次のような問題点がある。(1)フレーム内のスロットは各ノードに静的に割り当てられているため(図2)、送信要求が発生しないノードの割り当てはむだになってしまう。図2においてノード3からの送信要求がないとすると、このスロット割り当てはむだに時間を消費することになる。よって実時間性に欠ける。(2)スロットの割り当て・解除通知およびスロットの拡張・縮小要求受付のすべてをコントロールスロット(図2)で行っているため、パケットの衝突を防ぐためにスロットの拡張・縮小要求は、スロット割り当てなどの重要な通信が行われている間は送出することができず、柔軟性に欠ける。(3)同時に2つ以上のスロットの拡張・縮小要求があった場合、パケットの衝突を起こす可能性があり、これらに対する対策が議論されていない。

本研究ではこれらの問題点を解決するメディアアクセス制御プロトコルの開発を目的としている。

3. 提案方式

均一な通信量でない環境やロボット数の変化など動的な環境に適応できるよう、AR-TDMA方式には以下のような特長がある。

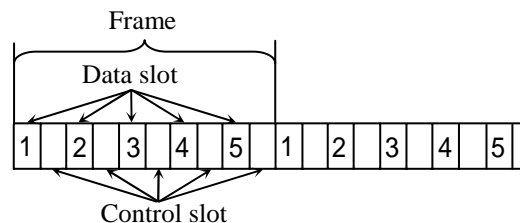


図2. TDMA/TP方式の静的スロット割り当て

Object Transportation Performance Evaluation of an AR-TDMA Protocol for Robot Communication

[†]Junpei Arai · Yamagata College of Industry and Technology

^{††}Akio Koyama · Faculty of Engineering, Yamagata University

^{†††}Leonard Barolli · Faculty of Information Engineering,

Fukuoka Institute of Technology

- (1) 実時間性を保証するため、TDMA/TP方式の問題点である静的スロット割り当て方式に代わり、予約機構を取り入れた動的スロット割り当て方式を採用している。
- (2) ロボットの新規参入に柔軟に適應するため、専用の予約スロットを設けている。
- (3) 複数台のロボットから同時に新規参入要求があった場合の packets 衝突対策として、ロボットの動力源であるバッテリー残量を指標としたスロット割り当て方式を採用している。

AR-TDMA方式のフレーム構造を図3に示す。基本的な動作としては、まずデータを送信する前に予約を行い、その予約状況をもとにデータスロットが割り当てられ、その後実際のデータパケットを送信するという手順である。予約機構により通信が必要なノードだけにデータスロットが割り当てられるため、静的割り当て方式のように通信の必要がないノードまでスロットが割り当てられ、余分な時間が生じるといったことがない。

4. 性能評価

運搬時間の性能をシミュレーションにより評価する。シミュレーションの諸条件を次のように仮定する。

- ・作業ロボット数は20台とする。
- ・ロボットの通信速度は11[Mbps]とする。
- ・ロボットの移動速度は0~0.1[m/s]とする。
- ・作業中、通信の輻輳状態により情報交換ができない場合には、正常な通信状態に回復するまで、ロボットは一時停止するものとする。

運搬時間を示す搬送距離と所要時間の関係を図4に示す。

図4より、いずれの搬送距離においてもTDMA/TP方式に比べ、AR-TDMA方式の方が優れた性能を示している。特に搬送距離が長くなるほど、所要時間の差が顕著になっている。搬送距離100[m]における所要時間に着目す

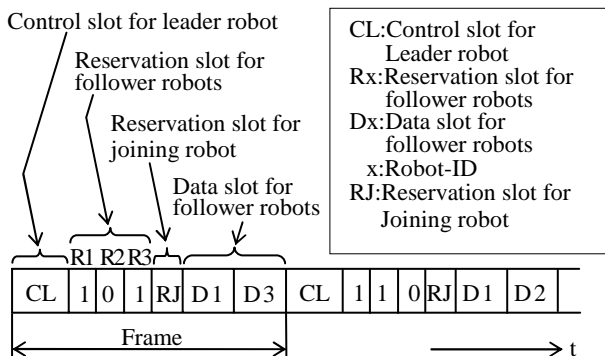


図3. AR-TDMA方式のフレーム構造

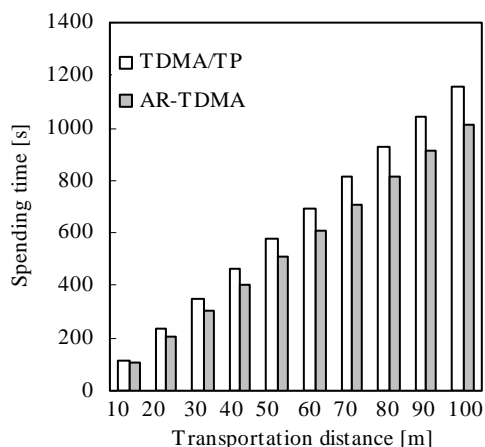


図4. 運搬時間

ると、ロボットの移動速度が最大0.1[m/s]であることから、所要時間約1015[sec]であるAR-TDMA方式は最大移動速度に近い速度を維持しながら協調搬送を行ってきたことがわかる。したがってAR-TDMA方式は実時間性に優れていると言える。一方TDMA/TP方式は約1160[sec]である。これは通信待ち時間の増加により、通信が滞り障害物回避のための軌道修正が効率的に行えなかったことによるものである。

以上よりAR-TDMA方式の有効性が示された。

5. おわりに

本論文では、複数台の自律移動ロボットによる協調搬送作業を想定し、実時間性・適應性を考慮した自律分散型ロボット間通信のためのMACプロトコル、AR-TDMA方式を提案した。さらに本方式の運搬時間特性を検証するためシミュレーションによって性能評価を行った。

その結果、本方式はロボットの最大移動速度に近い速度で運搬が行える実時間性を有していることがわかった。

今後は実装により、実時間性、適應性を検証していく予定である。

参考文献

- 1) 矢向,岩沢,安西, “開放型分散ロボット環境における無線パケット通信のための動的なタイムスロット割り当て機構,” 日本ロボット学会誌, Vol.12. No.8, pp.1157-1165, 1994.
- 2) M.Parnichkun, S.Ozono, “CDCSMA-CD communication method for cooperative robot systems,” *Advanced Robotics*, Vol.11, No.7, pp.669-694, 1998.
- 3) J.Arai, A.Koyama and L.Barolli, “An Adaptive Medium Access Control Protocol for Robot Inter-communication in Autonomous Distributed Systems,” *Proc. of IEEE Advanced Information Networking and Applications (AINA 2004)*, pp.545-550, 2004.