

分散型 AGV システムにおける情報受信範囲の理論的解析

02201913	豊橋技術科学大学博士後期課程電子・情報工学専攻 日本学術振興会特別研究員	* 佐々木 淳 SASAKI	Atsushi
01603863	豊橋技術科学大学知識情報工学系	増山 繁 MASUYAMA	Shigeru
01702854	高松大学経営学部産業経営学科	山川 栄樹 YAMAKAWA	Eiki

1 はじめに

最近の工場においては、多様な搬送要求にも柔軟に対応できる AGV (Automated Guided Vehicle) システムの導入が進められている [1]。AGV システムは、あらかじめ敷設した軌道上に複数の無人搬送台車を走行させて製品の運搬を行うもので、各台車の走行経路の決定と、台車間の干渉や製品を受渡する製造設備の運転効率等を考慮した運行制御の問題が最大の関心事となる。従来、これらはほとんど集中制御で行われてきたが、最近は耐故障性・拡張性等に優れた分散型のシステムへ移行しつつある。分散制御システムにおいては、特定範囲内の台車情報のみを通信により取得した各台車が、それぞれの移動方法を独力で同時に決定できることが望ましい。更に、それらの移動は実際に効率良く行えるものでなければならない。しかし現状ではまだ完全に分散型の利点を生かしきれていないと言え、多くの研究の余地を残している。

そこで本論文では、分散型の AGV システムにおいて情報受信範囲、すなわち、各台車がその移動方法を自力で決定するためにその挙動を把握する必要がある他の台車の存在する範囲について解析を行う。その際、AGV システムの走行レールの形状には制約を設けない。また、情報受信範囲が決定されれば、ある搬送要求に対する各台車の移動方法は唯一に確定するものと仮定する。なお、グラフ理論の用語は、特に断らない限り文献 [3] に準拠する。

2 モデル

現実の AGV システムでは、台車の運行制御を容易にするために、走行レールの骨格部分を複線化または一方通行にしている場合が多い。そこで本論文では、まず文献 [2] と同様に走行レールをその交差点および行き止まりの末端部分が頂点であるようなグラフ G で表現する。その際、一方通行走行レールは有向辺、双方通行可能走行レールは無向辺で表し、その形状には特に制限を設けない。なお、グラフ G の各辺は一つ以上の「区間」から構成され、各台車はこれらの区間を閉塞区間とみなして移動するものとする。グラフ G 上での台車の移動に関して、次の三つの仮定をおく。

1. 各台車は隣接する区間が空き区間である場合に限り、当該区間へ移動可。
2. 各区間には同時に高々 1 台の台車のみ進入可。
3. 各頂点上は同時に高々 1 台の台車のみ通過可。

また、各台車が走行レールの 1 区間を通過するのに要する時間を 1 単位時間と定義して解析を行う。

次に、各台車の移動方法をモデル化する。AGV システムに投入される台車数 N は 2 以上許容台車数 [2] 以下であるとする。各台車間の通信は 1 単位時間で一回のみと規定し、その通信内容としては実用上自然と思われる、台車の位置、動作種別、目的地へ至るまでの経路、優先通行宣言あるいは退避不能信号、の 4 つのみを扱うこととした。ここで、台車の相対的な優先順位は一意に決まるものとし、優先順位の高い台車が現在の移動方法を継続できるように振る舞う。

最後に、各台車の情報受信範囲に関して用いる記号を定義する。順方向移動中の台車は、進行方向 I_f 区間、後方 I_b 区間に存在する他の台車の情報を受信する。一方、退避中の台車は、周囲 $\max(I_f, I_b)$ 区間に存在する台車の情報を受信する。なお、区間数に当該台車の存在区間は含めず、経路に分岐がある場合には各経路に対して所定の区間数の情報を得る。

容易に確かめられるように、同一区間への複数の台車の進入防止のため、 $I_f \geq 2$ でなければならない。一方、 I_b は非負であればモデル上の不都合は生じない。次章以降では、 I_f, I_b の上下界値を求める。

3 有限時間内に搬送完了するために最小限必要な情報受信範囲

ここでは、複数の台車の移動方法が競合した場合の優先順位を、その荷物に依存して次のように定める。

1. 荷物を既積載かこれから積載予定の台車は、その積載時刻が早いものほど優先順位を高く設定。
2. 荷物の積載予定がない台車は、優先順位を最下位に設定。
3. 上記 2 項目で同順位となる台車は、台車番号等により機械的に優先順位を決定。

3.1 無向木で必要十分な情報受信範囲

情報受信範囲の自明な下界は $I_f = 2, I_b = 0$ であるが、これで必要十分である。

定理 1 無向木において、荷物に依存した優先順位を台車に与えた場合に、有限時間内に搬送を完了するために必要十分な情報受信範囲は $I_f = 2, I_b = 0$ 。

(証明の概要) 必要性は明らか. 十分性を示す. 退避情報の伝播で, 退避台車の一意的決定が可能なので, 優先順位最高台車の目的地への有限時間内到着が保証できる. また, 荷物の投入時刻により台車の優先順位が決まるので, どの台車も有限時間内に優先順位が最高となる. よって, 定理が成り立つ. □

3.2 拡張強連結グラフで必要十分な情報受信範囲

有向辺と無向辺が混在するグラフにおいて, 一般の有向グラフに対する強連結グラフと同様に定義したものを, 拡張強連結グラフと呼ぶ. このグラフの場合, 無向木の場合とは異なり, 一部またはすべての台車が永久に停止し続ける状態に陥るといふ, デッドロックの問題が生じる. このデッドロックは, ある閉路が存在して, その上を同方向進行の台車が埋め尽くした場合のみ発生する. この状況を検知するには, その閉路上の台車とその閉路上の台車情報をすべて保持すれば良い. また, このような閉路の構成区間数の最大値は台車数 N に等しいから, 次の二定理が成り立つ.

定理 2 同方向の有向辺, 無向辺またはその両者で構成される閉路を少なくとも一つ持つ拡張強連結グラフにおいて, デッドロックを検出するために必要十分な情報受信範囲を与える条件は $I_f + I_b = N - 1$. □

定理 3 同方向の有向辺, 無向辺またはその両者で構成される閉路を少なくとも一つ持つ拡張強連結グラフにおいて, 有限時間内に搬送を完了するために必要十分な情報受信範囲を与える条件は $I_f \geq 2, I_f + I_b = \max(2, N - 1)$. □

4 最適搬送を実現するための必要十分な情報受信範囲

ここでは, 各時刻においてシステム中で優先順位最高の台車が退避せずに移動可能な搬送方法を最適搬送とする. 最適な搬送の実現には, 移動方法が競合する台車間で適切に信号を交換し, 優先順位のより高い台車が停止しないようにする必要がある. まず, 優先通行宣言を発信する必要性を判断するために必要かつ十分な情報受信範囲を求める. ある2台の台車の移動方法が競合すると, 一方が退避を行う必要があるが, どちらの台車が退避を行うべきかを判断するには, 両台車のすべての後続台車の情報を得なければならない. このとき, 一方の台車に残り $N - 2$ 台の台車が後続台車として存在する場合を考えると, 各台車間に1区間ずつの空き区間があるので, 優先通行宣言を発信する必要性の判断に必要十分な情報受信範囲が $I_f = 2, I_b = 2N - 4$ と求められる.

優先通行宣言発信が遅れると対向台車が退避を始める前に停止せざるを得ない場合がある. そこで次に, 遅滞なく優先通行宣言を発信するために必要かつ十分な情報受信範囲を求める. つまり, 優先通行宣言が後続台車を伝播して, 最後尾の台車に伝わるまでにそれぞれの先頭台車間にある空き区間数が0にならないように I_f を決定する. 紙面の都合上具体的な場合分けは省略するが, 全部で8通りに場合分けし, それぞれの計算後に大小比較をすると, 後述の定理中の I_f の値が求まる. ここで, 8通りのうちの一つの式を以下に例示する. 解 I_f は, この式を満たす最小の自然数になる.

$$I_f - 3 \geq 2 \left(\left\lceil \frac{N - 4}{\lceil I_f / 2 \rceil} \right\rceil + 1 \right).$$

なお, 橋辺 [3] で他の部分と接続され, 他の台車で埋め尽くされた部分グラフ上の区間へシステム中で優先順位最高の台車が移動する場合には, システム中で優先順位最高の台車といえども退避を余儀なくされる場合がある. 以上の議論から次の定理が成り立つ.

定理 4 最適搬送を実現するために必要十分な情報受信範囲は次の通りである.

(1) $N = 2$ の場合: $I_f = 3, I_b = 0$.

(2) $N \geq 3$ の場合:

$$I_f = \begin{cases} 2 + \lceil \sqrt{4N - 7} \rceil, & (\lceil \sqrt{4N - 12} \rceil \neq \lceil \sqrt{4N - 7} \rceil \\ & \text{で} \lceil \sqrt{4N - 7} \rceil \text{が奇数の場合,}) \\ 3 + \lceil \sqrt{4N - 7} \rceil, & (\text{上記以外の場合.}) \end{cases}$$

$$I_b = 2N - 4.$$

5 おわりに

分散型 AGV システムにおいて各台車が収集すべき情報の範囲を解析した. 具体的には, 有限時間内に搬送を完了するために必要な情報受信範囲と, システム中で優先順位最高の台車が退避動作を行わずに済むために必要かつ十分な情報受信範囲を与えた.

参考文献

- [1] 穴吹 他: 電磁鋼板精整ラインの自動搬送エキスパートシステム; 川崎製鉄技報, Vol. 23, No. 3, pp. 239-246 (1991).
- [2] 佐々木 他: AGV (Automated Guided Vehicle) システムにおける許容台車数の理論的解析; 電子情報通信学会論文誌, Vol. J78-A, No.10, pp.1341-1347(1995).
- [3] C.Berge: Graphes et hypergraphes, Dunod (1970) (伊理 他 訳: グラフの理論 I, II, III; サイエンス社 (1976)).