AGVシステムの理論的解析

佐々木　淳

（豊橋技術科学大学大学院工学研究科修士課程知識情報工学専攻　現所属：同大学院工学研究科博士後期課程電子・情報工学専攻）

指導教官　増山繁助教授

1．はじめに

最近の工場では，多様な搬送要求にも柔軟に対応できるAGVシステムの導入が進んでいる［1］．AGVシステムは，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，他の台車との干渉や荷物を受渡しする製造設備の運転効率等を考慮した運行制御問題が最大の関心事となる．現在我々は，確固たる理論的根拠に基づいたAGVシステム構築法の基礎を築く試みとして，その性能を評価する指標を理論的解析に基づいて導出する作業を進めている［2］．本論文では，最悪移動完了時間の解析と分散制御時の情報受信範囲に関する解析について報告する．

2．モデル

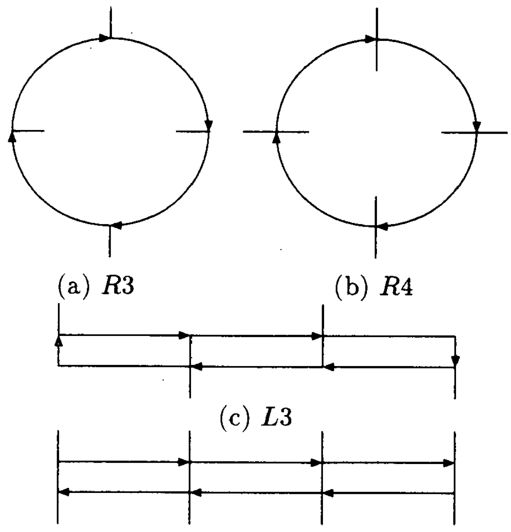
本モデルは，一般に用いられている閉塞区間（以下，区間と呼ぶ）による運行制御に基づいている．各解析のみに当てはまる条件は別途示す．

1．走行レールをグラフで表現し，その各辺は1つ以上の「区間」から構成され，各区間には同時に1台の台車のみ進入可．
2．走行レールは1本以上の辺から構成．
3．台車は区間s_mが空き区間のときのみ，s_mに進入可．
4．1単位時間：台車が1区間を通過する時間．
5．1つの頂点の通過は1時間に1台のみ可．

3．最悪移動完了時間の解析†

一般の走行レール形状における解析は難しいので，走行レールの形状を現場でよく使われている有向路を骨格とした図1に示すような4つの形状に限定し，かつ，各出発地に台車と荷物を1つずつ配置したときにすべての荷物が各目的地に到達するまでの時間（移動完了時間）を求めた．条件，用語，記号定義は以下の通りである．

1．最悪移動完了時間:移動完了時間が最大となる初期配置における，その移動完了時間．
2．$FTM(G)$：Gでの移動完了時間．
3．$WFM(G)$：Gでの最悪移動完了時間．
4．初期状態において各台車がそれぞれの出発地に存在し，各台車がそれぞれの目的地に到達している目標状態に向かって移動する．
5．有向最短路：構成する区間数が最小の各台車の現在位置から目的地への路．
6．R_3，R_4では有向閉路の外側に出発地が，内側に目的地が配置され，L_3，L_4では上側に出発地が，下側に目的地が配置されている．各無向辺の長さは1区間，各有向辺の長さはk区間とする．また，nを出発地（または目的地，台車）の数とする．



(a) $R3$　(b) $R4$

(c) $L3$

(d) $L4$

図1　解析するグラフ形状

†本章の内容は「AGV（Automated Guided Vehicle）システムにおける最悪移動完了時間の理論的解析」として電子情報通信学会論文誌(A)，Vol-J 79-A，No.8，pp.1433-1443（1996）に掲載された．

7．$M_{\max}$：ある「初期状態／目標状態の組」に対する，各台車の出発地における有向最短路の区間数の最大値．

8．M：任意の「初期状態／目標状態の組」に対する$M_{\max}$の最大値．

［補題］有向最短路の区間数がLの台車は，目的地へ至るまでに最低$L-1$単位時間を要する．

この補題より，ある搬送要求に対して各台車が順方向移動のみで目的地に到達できるとき，$FTM(G)=M_{\max}-1$が得られ，また，いかなる搬送要求に対しても各台車が順方向移動のみで目的地に到達できるとき，$WFM(G)=M-1$が得られる．

G＝R3の場合：kの大きさによらず有向最短路上を停止せずに移動でき，$FTM(R3)=M_{\max}-1$，$WFM(R3)=M-1$となる．

G＝R4の場合：$k\neq 1$の場合には$R3$の場合と同様の結果を得る．しかし，$k=1$の場合には各台車が有向最短路上を移動中に必ず停止する．そこで，有向最短路から外れる動作を含む移動方法を採ると，すべての台車の目的地が各出発地から$l>0$個先の頂点に付加している場合の最悪移動完了時間が$FTM(R4)=2l$となることが帰納法で証明できる．このことから$k=1$かつ$n\geq 1$のとき，$WFM(R4)=2n-2$が求まる．

G＝L3の場合：$G=R3$の場合と異なり，停止を余儀なくされる台車が存在するが，そのような台車の有向最短路の区間数は$M_{\max}$にならないことが示せ，$R3$の場合と同様の結果を得る．

G＝L4の場合：$k\neq 1$であれば$L3$の場合と同様の結果が得られ，$k=1$で$n=2$または3のとき$WFM(L4)=4$が求まる．そして$k=1$で$n\geq 4$の場合には，まず$n+2$単位時間かかる場合が存在することが示せ，次に，ある移動方法の決定法を示し，それに従えば$n+2$単位時間以内で移動完了できる移動方法が得られることが示せるので，$WFM(L4)=M=n+2$となる．

4．情報受信範囲の解析

分散運行制御では，各台車が同一プロトコルで動作し，限られた範囲の台車情報のみを保持して全体として効率良く搬送を行う．このとき，情報を得る範囲を情報受信範囲と定義し，情報受信範囲と効率に関する解析を行った．その情報を得る際には台車間で通信を行うが，その通信は1単位時間で1回のみとし，その内容は実用上自然なものに限定している．また，進行方向への情報受信範囲をI_f区間，同じく後方への情報受信範囲をI_b区間とし，当該台車の存在区間を0区間目とする．そして，同一区間への複数台車の同時進入を避けるために，$I_f\geq 2$と規定する．更に，以下ではNを台車数として，$N\geq 2$の場合を考える．

4.1 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

無向木の場合には$I_f=2$，$I_b=0$となる．一方，一般の強連結グラフの概念を有向辺と無向辺の混在を許して拡張したグラフ（拡張強連結グラフと定義）では，一部またはすべての台車が停止した状態が永久に続くデッドロックが生じるので，$N-1$区間の情報を得ることが必要十分である．

4.2 最適搬送を実現するために必要十分な情報受信範囲

最適搬送を，優先度1位の台車の待ち・退避時間を最小化する搬送法と定義した上で，最適搬送を実現するために必要十分な情報受信範囲を解析した．基本的な考え方のみを示す．まず，1本の辺上を左から$N-1$台，右から1台が中央へ向かって移動していて，$N-1$台の台車の各台車間には1区間ずつの空き区間がある状況を考える．この時，最左端の優先度1位の台車が停止しないための条件を考慮するとI_bが得られる．また，1本の辺上を左から$N-2$台，右から2台が中央へ向かって移動していて，$N-2$台の台車の各台車間には1区間ずつの空き区間がある状況を考える．この時，最右端の優先度1位の台車が停止しないための条件を考慮するとI_fが得られる．

5．今後の課題

無向辺を骨格とした形状下の最悪移動完了時間の解析，分散制御における各台車の情報受信範囲と効率のトレードオフの解析，等が挙げられる．

参考文献

[1] 穴吹，尾脇，崎山，中路，片江，電磁鋼板精製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，増山，山川，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(A)，Vol. J 78-A，No.10，pp. 1341-1347（1995）．