1997年度日本オペレーションズ・リサーチ学会
秋季研究発表会

組立工場における部品搬送スケジューリング

01108834 京都工芸繊維大学 *軽野 義行 KARUNO Yoshiyuki
01100884 京都工芸繊維大学 木瀬 洋 KISE Hiroshi
京都工芸繊維大学 小林 範之 KOBAYASHI Noriyuki

1．はじめに

組立工場では，製品の組立に必要な多種多数の部品を，いくつかの部品工場からトラック輸送によって納入させていることが多い．部品工場から届けられた部品は，トラックの運転手によって台車に載せられ，納入エリアとよばれる一画に運び込まれる．ある組立工場の納入エリアには，第1から第$\ell(\geq 1)$までのℓ本の納入レーンが設けられており，各台車は納入エリアに運び込まれてくると同時に，それらの内のいずれか一つの納入レーンに置かれる．組立工場は，部品工場に対して部品の納入時刻を指定できるので，各台車の納入エリアへの到着時刻は既知であると考えてよい．納入レーンに置かれた台車は，牽引車の運転手（以下，作業者とよぶ）によって牽引車に連結され，組立ラインに沿って配置された部品棚へと運ばれる．作業者が，台車に載せられている部品を，部品棚に搬入するために要する時間は，その台車の作業時間とよばれ，それは台車によって異なる．牽引車がいくつかの台車を連結して納入エリアを出発し，部品を部品棚に搬入しながら規定の牽引コースを走行し，再び納入エリアに戻ってくるまでの所要時間を，その周回の周回時間とよぶ．これは，牽引コースの一周あたりの走行時間に，その周回で連結した台車の作業時間和を加えたものになる．

作業者が適当に台車を選んで連結していくような，いわば作業者まかせの部品搬送では，周回によってそれら周回時間のばらつきが大きく，作業進度の把握が困難，また場合によっては，牽引車が渋滞するなどの問題が生じやすい[1]．そこで本論文では，周回時間ができるだけ平準化されるように，どの台車をどの周回で運ぶかを決定する部品搬送スケジューリング問題を考察する．ここでは，この問題を一つの組合せ最適化問題に定式化し，それに基づいて遺伝的アルゴリズムを適用した近似解法を提案する．

問題の定式化にあたり，組立工場では，(1) 台車の到着が計画期間中のある一時に集中しないように部品納入時刻を指定する，また，(2) 牽引車の納入エリアの出発時刻の間隔を一定にする，というような努力があらかじめなされているものと仮定する．さらに，牽引車は，最初の出発時刻までに第1レーンに置かれた台車全てを最初の周回で牽引し，つぎの出発時には第2レーンに置かれた台車を全て牽引し，同様にして，第ℓレーンまでの牽引を行う．その間にも台車は次々に到着してくるので，第ℓレーンの台車の牽引後は，再び第1レーンの台車を牽引し，これを最終周回まで繰り返す．

この問題で求められるのは，各周回時間ができるだけ均等になるように，到着した台車をℓ本の納入レーンに振り分けることである．上述の前提条件から，この台車の納入計画の決定と同時に，各台車が搬送される周回，および，その納入エリアからの搬送開始時刻も決定されることが分かる．

なお，組立工場内には，部門別に，いくつかの納入エリア，および，それぞれに対応する牽引コースが設けられていると考えられるが，部品搬送スケジューリングは各牽引コース毎に行われるものとし，ここでの定式化も一つの牽引コースを対象とする．

2．問題の定式化

問題の入力は次の通りである．対象とする牽引コースの納入レーン数をℓ本とする．計画期間を$[0,\Gamma)$とし，その間に納入エリアに運ばれてくる台車の集合を$J=\{j \mid j=1,2,\cdots,n\}$とする．各台車$j\in J$の納入エリアへの到着時刻を$r_j$，また，それに載せられた部品を，部品棚に搬入するために必要な作業時間を，h_jで表す．牽引車の納入エリアからの出発時刻の間隔は$\Delta(>0)$，牽引コースの一周あたりの走行時間は$D(>0)$とする．第k周回目の搬送開始時刻を$t=k\cdot\Delta\ (k=1,2,\cdots,m)$とすると，総周回数$m$は

$$m=\lfloor\frac{\Gamma-\Delta}{\Delta}\rfloor \tag{1}$$

で与えられる．ここで，$\lfloor * \rfloor$は$*$を越えない最大の整数を表す．また，時刻$t=\Gamma$以後の搬送は行わないとしている．さらに，台車の到着時刻r_jに対しては，$0\leq r_1\leq r_2\leq\cdots\leq r_n<(m-\ell+1)\times\Delta$を仮定する．

一方，出力は次の通りである．求めるべき各台車$j\in J$の納入エリアからの搬送開始時刻をt_jとし，それら全体を$\boldsymbol{t}=(t_1,t_2,\cdots,t_n)$で表す（$t_j$は必ず$\Delta$の整数倍の値をとることに注意）．$\boldsymbol{t}$が決定すると，第$k$周回目に牽引される台車の集合

$$S_k=\{j \mid t_j=k\cdot\Delta, j\in J\} \quad (k=1,2,\cdots,m) \tag{2}$$

および，その周回の作業時間和

$$H_k=\sum_{j\in S_k} h_j \quad (k=1,2,\cdots,m) \tag{3}$$

も決まる．よって，第k周回目の周回時間は$H_k + D$である．

また，各台車$j \in J$を置く納入レーン番号x_jは，

$$x_j = \left\{ \left(\frac{t_j}{\Delta} + \ell - 1 \right) \bmod \ell \right\} + 1 \qquad (4)$$

で計算できる．逆に，この(4)式と後述する制約条件(7)式より，$\boldsymbol{x} = (x_1, x_2, \cdots, x_n)$ から t を得ることも出来るので，以下では，ある部品搬送スケジュールを $\boldsymbol{x}$ で表す．

目的は各周回時間の平準化であるが，牽引コースの走行時間は一定であるから，それは各周回の作業時間和の平準化と等価である．本論文では，それらの分散

$$\sigma_{\boldsymbol{x}}^2 = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^{m} (H_k - \bar{H})^2 \qquad (5)$$

を最小化すべき目的関数とする．ここで，$\sigma_{\boldsymbol{x}}$は部品搬送スケジュール$\boldsymbol{x}$に対する作業時間和の標準偏差，$\bar{H}$は周回あたりの作業時間の平均値

$$\bar{H} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^{n} h_j \qquad (6)$$

である．

なお，この問題では，以下のような2つの制約条件を考慮する必要がある．まず，ここでは納入レーン数がℓ本であることから，各台車は，納入エリアに到着してからその時刻を起点として，遅くとも第ℓ周回目には牽引されなければならない．したがって，各台車$j \in J$の搬送開始時刻t_jは，

$$t_j \in \{ \lfloor \frac{r_j}{\Delta} \rfloor \times \Delta + i \times \Delta \mid i = 1, 2, \cdots, \ell \} \qquad (7)$$

を満たさなければならない．また，牽引車を一定時間間隔Δで納入エリアから出発させるので，各周回時間は，

$$H_k + D \leq \Delta_{max} \qquad (k = 1, 2, \cdots, m) \qquad (8)$$

を満足する必要がある．ここで，Δ_{max}は許容最大周回時間と呼ばれるある与えられた定数である．対象とする牽引コースの牽引車が1台ならば，$\Delta_{max} \leq \Delta$でなければならない（この場合は$\bar{H} + D \leq \Delta$を仮定する）．牽引コースの牽引車が$p(\geq 2)$台の場合は，少なくとも，$\Delta_{max} \leq p \cdot \Delta$を満たす必要がある．制約条件(7)式および(8)式を満たさない部品搬送スケジュール$\boldsymbol{x}$は，実行不可能なスケジュールであるという（この定義に従うと，任意の問題例に対して，少なくとも一つの実行可能なスケジュールが必ず存在するとは限らない．しかし，現実には，特に(8)式のみが満たされないならば，その時点以後では牽引車の出発時刻を少し遅らせて実行される）．

3．遺伝的アルゴリズムの適用

本論文では，遺伝的アルゴリズム[2]（以下，GAと略記）に基づいた近似解法を提案する．GAにおいて，ある部品搬送スケジュール$\boldsymbol{x}$を表現するために，染色体行列$W = \{w_{ij}\}$ $(i = 1, 2, \cdots, \ell; j = 1, 2, \cdots, n)$を用いる．ここでは$w_{ij} \in \{0, 1\}$とし，もし$w_{ij} = 1$ならば$x_j = i$（すなわち，納入レーン$i$に台車$j$を置く）を表すものとする．

親となる行列W_AとW_Bからの，子W_Cの生成は，一様交叉[3]によって行う．この交叉法では，まず，$\{0, 1\}$をランダムに発生させて，nビットのマスクmask (mask[j] $\in$ $\{0, 1\}$) を作成する．そして，mask[j]=0となる各jに対してはW_Aの第j列を，一方，mask[j]=1となる各jに対してはW_Bの第j列を，それぞれW_Cの第j列にコピーする．このとき，親となる行列の全ての列$j \in J$に対して，$\sum_{i=1}^{\ell} w_{ij} = 1$が満足されていれば，子の行列でもそれは必ず満たされる．したがって，ここで与えた部品搬送スケジュールの表現を用いることによって，提案するGAは，初期集団の全ての解が(7)式を満たしていれば，その探索過程で生成される部品搬送スケジュールも全て必ず(7)式を満足するという性質を持つ（なお，ここでは染色体を行列として説明したが，実際のプログラムにおいては一次元配列によって実現できる）．

提案手法の有効性や諸設定に関する数値実験結果の詳細については当日報告させていただく予定であるが，検討した$n = 200$の殆どの例題において，提案手法は，周回時間の標準偏差を，台車1台あたりの平均作業時間程度にすることが出来ている．また，$\sigma_{\boldsymbol{x}}^2$の最小化を図る探索過程において，(8)式も次第に満たされていく傾向が見られている．

4．おわりに

本論文では，組立工場における部品搬送スケジューリング問題を一つの組合せ最適化問題に定式化し，GAに基づいた近似解法を提案した．この定式化がより現実的な（例えば，台車の到着時刻に遅れが生じるような）状況を表現できるように，また，提案手法がそれに対応できるように，さらなる改善を図っていくことが今後の検討課題である．

なお，本研究の一部は，文部省科学研究補助金の援助を受けている．

参考文献

[1] 福山，浅原，冨森：構内物流支援システム；生産スケジューリングシンポジウム'95講演論文集，システム制御情報学会，(1995)，pp.19-24.

[2] L. デービス　編：遺伝アルゴリズムハンドブック（嘉数，他　共訳）；(1994)，森北出版.

[3] 柳浦，茨木：順序問題における遺伝的交叉法に対する一考察；電気学会論文誌C，114-6(1994)，pp.713-720.