

自動販売機コラム割当問題

申請中 東京商船大学 *伊藤志保 ITO Shiho
01108010 東京商船大学 久保幹雄 KUBO Mikio
非会員 東京商船大学 スイキウン SHI Qiyun
00000000 東京商船大学 宮本裕一郎 MIYAMOTO Yuichiro

1 はじめに

近年の情報通信機器の高性能化と廉価化により、ベンダーによる在庫管理 (vender managed inventory/resupply:VMI) およびその発展形である自動補充 (automatic/profile resupply:AR) のニーズが高まっている。ここでは、清涼飲料水の補充に対する自動販売機のコラムへの最適な割当を考える。

2 問題の定義

以下の仮定をする。

1. 各製品は、自動販売機ごとに決められた一定のスピードで消費されている。1日あたりの製品の消費量 (需要量) は自動販売機ごとに決まっており、自動販売機における製品 p の需要量を1日あたり D_p (本/日) と記す。
2. 製品が品切れの場合には、ペナルティ費用 (品切れ費用) がかかる。自動販売機に対する製品 p の品切れ費用を L_p (円) と記す。
3. 製品を在庫した場合には、在庫費用がかかる。自動販売機に対する製品 p の在庫費用を H_p (円) と記す。
4. 自動販売機は、複数の種類のコラム (保管場所) をもつ。自動販売機におけるコラムの種類を K とし、その添え字を $1, 2, \dots, k, \dots, |K|$ と表す。コラムは保管できる製品の数で区別され、種類 k のコラムの保管可能な製品数をコラムの容量とよび、 C_k (本) と記す。
5. 自動販売機の種類 k のコラム数は既知とし、 S_k (本) と記す。

6. コラムは1種類の製品しか保管できないが、コラムにどの製品を保管しておくかは自動販売機ごとに自由に定めることができる。

7. 運搬車が製品を補充する際には、コラムの容量の上限まで在庫レベルを引き上げる。

以上に基づいて、総費用を最小にするコラム割当を目的とする。

3 コラム割当モデルの定式化

本節ではコラム割当問題を定式化する。入力データとして、以下のパラメータを追加する。

F : 補充 (配送) の固定費用 (円 / 回)

定式化のために以下の変数を導入する。

x_{pk} : 製品 p に割り振った種類 k のコラムの数

I_p : 製品 p の在庫量 (本)

B_p : 製品 p の品切れ量 (本)

T : 補充 (配送) 周期 (サイクル時間) (日)

定式化は以下のようになる。

$$\text{最小化: } \frac{F}{T} + \sum_p \frac{H_p I_p(x_{pk}, T)}{T} + \sum_p \frac{L_p B_p(x_{pk}, T)}{T},$$

$$\text{条件: } \sum_p x_{pk} = S_k, \quad \forall k,$$

$$0 \leq x_{pk} \leq S_k, x_{pk} \in \mathbb{Z},$$

$$T > 0, T \in \mathbb{Z}$$

ここで、

$$I_p(x_{pk}, T) = \begin{cases} \frac{C_k^2 x_{pk}^2}{2D_p} & (x_{pk} \leq \frac{D_p T}{C_k}) \\ C_k x_{pk} - \frac{D_p T^2}{2} & (x_{pk} > \frac{D_p T}{C_k}) \end{cases}$$

$$B_p(x_{pk}, T) = \begin{cases} D_p T - C_k x_{pk} & (x_{pk} \leq \frac{D_p T}{C_k}) \\ 0 & (x_{pk} > \frac{D_p T}{C_k}) \end{cases}$$

である。

T を固定すれば、一般化割当問題の変形になる。しかし目的関数には x_{pk}^2 があり、 x_{pk} の 2 次式となるので一般の数理計画ソルバーに入力できない。

4 パターン生成による定式化

前節のままでは数理計画ソルバーで求解することが困難である。本節では、異なった定式化を用いることによって解決を試みる。

製品に割当可能なコラムの集合の可能なパターンを列挙して、集合分割問題の類似問題を生成する。

コラムの組み合わせをパターンとよぶ。より正確には、パターンとは、コラムの種類 K の部分集合をさし、すべてのパターンの集合 J は集合 K のべき集合 2^K となる。パターン $j (\in J)$ に含まれるコラムの集合を K_j と記す。製品 p に割当可能なパターンの集合を J_p と書く。もちろん $J_p \subseteq J$ である。

入力データとして、以下のパラメータを追加する。

a_{jk} : パターン j にコラム $k (\in K_j)$ が含まれている回数。補充時における製品 p の在庫量 (売れ残り量) の上限 (本)

$COST_{pj}(T)$ (円): 製品 p に割り振るコラムの集合をパターン j に決めたときの費用。

簡単な計算の結果 $COST_{pj}(T)$ は、 $a_{jk} \leq \frac{D_p T}{C_k}$ のとき

$$H_p \sum_{k \in K_j} \frac{C_k^2 a_{jk}^2}{2D_p} + \sum_{k \in K_j} (D_p T - C_k a_{jk}),$$

$a_{jk} > \frac{D_p T}{C_k}$ のとき

$$H_p \sum_{k \in K_j} \left(C_k a_{jk} - \frac{D_p T^2}{2} \right)$$

となる。

前節とは異なる変数 X_{pj} を導入する。

X_{pj} : 製品 p にパターン j のコラムを割り当てるとき 1, それ以外するとき 0 の 0-1 変数。

定式化は以下ようになる。

$$\text{最小化: } \frac{F}{T} + \sum_{p,j} \frac{COST_{pj} X_{pj}}{T},$$

$$\text{条件: } \sum_{j \in J_p} X_{pj} = 1, \quad \forall p,$$

$$\sum_p \sum_{j \in J_p} a_{jk} X_{pj} = S_k, \quad \forall k$$

この定式化は、整数計画問題なので一般の整数計画ソルバーの適用が可能である。

5 タブーサーチ

前節の定式化は整数計画問題なので、数万台の自動販売機への適用は困難である。よって、本節ではより高速なタブーサーチを提唱する。簡単のため、すべてのコラムは異なる属性をもつものと仮定し (言い換えれば $S_k = 1$ と仮定し)、各コラムをちょうど 1 つの製品に割り当てるものとする。

タブーサーチにおける移動操作は、現在コラムを割り当てている製品を、別の製品に割り振りを変えることによって生成される。このとき、移動させたコラムが、しばらくの間再び同じ製品に割り当てないようにタブーリストの中身 (属性) を定義する。

6 まとめと今後

本稿では、実務で生じた問題を整数計画問題へ定式化し、実用的な時間内で解方法を提案した。また、多数の自動販売機を考慮すると高速な解法が必要であり、タブーサーチを提唱した。今後の課題として、今回求めたコラム割当を基盤として自動販売機への補充に対する応用が考えられる。具体的には、VMI および AR をサポートするためのシステムの核となる在庫運搬経路問題などがある。

謝辞

本研究を進めるにあたり御協力いただいた富士電機 (株) に感謝いたします。