

IV-22

ニューラル・ネットワークの航空機材スケジューリングへの適用

東北大学 大学院 学生員 〇久永 健一郎

東北大学 工学部 正 員 徳永 幸之

東北大学 工学部 正 員 稲村 肇

1. はじめに

航空機材のスケジューリング決定問題には主に数理計画法による最適化手法が提案されている。それらは一般的に規模の拡大に対して計算量が指数関数的に増大するという問題点がある。Hopfieldら¹⁾の提案したニューラル・ネットワークはそのような問題に対してかなりよい近似解をしかも効率よく与えることが知られている。そこで本研究ではニューラル・ネットワークの航空機材スケジューリングへの適用を試み、その実用性を検討する。

2. ニューラル・ネットワークにおける定式化

Hopfieldはユニット i （多入力・1出力多分岐の計算素子）からユニット j への結合の重みを W_{ij} として以下のような状態変化を行った場合、エネルギー関数 E が極小となるようなある状態に落ち着くことを示した。

$$u_i = \sum_j W_{ij} X_j + I_i \quad (1)$$

$$X_i = \frac{1}{2} \left\{ 1 + \tanh \left(\frac{u_i}{\mu} \right) \right\} \quad (2)$$

$$E = -\frac{1}{2} \sum_i \sum_j W_{ij} X_i X_j - \sum_i I_i X_i \quad (3)$$

ただし、 u_i : ユニット i の内部状態

X_i : ユニット i の出力

W_{ij} : ユニット i からユニット j への結合の重み ($W_{ij} = W_{ji}$, $W_{ii} = 0$)

I_i : ユニット i の入力バイアス

μ : ユニットの感度パラメータ

本研究では各フライト案が実現した場合の航空会社の運航利益が最大となるスケジュールを設定することを目的とする。ここで運航利益は直行便による利益と乗り継ぎ旅客による利益の増加分の和とする。

定式化に際し、空港運用時間を適当な間隔で分割し、航空機はこの各時間断面においてのみ出発できるものとする。ここで、フライト案を変数（ユニット）とし、次のように設定する。

$$hX_{ij}^k = \begin{cases} 1 & (\text{機材を割り当てる}) \\ 0 & (\text{機材を割り当てない}) \end{cases}$$

ただし、

h : 機材、 k, l : 出発時刻

i, m : 出発空港、 j, n : 到着空港

本稿では1機材のスケジューリング ($h=1$) に対して定式化を行う (X_{ij}^1)。よって式(4)のようにエネルギー関数を拡張する。

$$E = -\frac{1}{2} \sum_k \sum_i \sum_j \sum_m \sum_n W_{ij, mn}^k X_{ij}^k X_{mn}^k - \sum_k \sum_i \sum_j I_{ij}^k X_{ij}^k \quad (4)$$

次に、制約条件を考慮した目的関数を式(5)のように定式化する。

$$\begin{aligned} \phi = & + \frac{A}{2} \sum_k (\sum_i \sum_j X_{ij}^k - 1)^2 \\ & + \frac{B}{2} \sum_k \sum_i \sum_j X_{ij}^k (\sum_m \sum_n X_{mn}^{k-1} + \sum_n \sum_m X_{mn}^{k+1}) \\ & - \frac{C}{1} \sum_k \sum_i \sum_j p_{ij}^k X_{ij}^k \\ & - \frac{D}{2} \sum_k \sum_i \sum_j X_{ij}^k (\sum_n q_{ijn}^k X_{mn}^{k-1} + \sum_n q_{ijn}^k X_{mn}^{k+1}) \end{aligned} \quad (5)$$

ただし、

p_{ij}^k : k 時 i 空港発 j 空港行きの運航利益

q_{ijn}^k : k 時 i 空港発 j 空港經由 n 空港行きの乗
り継ぎ利用による利益増加分

第1項は各時間断面に1機材のみ配置する制約条件、第2項は飛行の連続性に対する制約条件、第3項は直行便の運航利益の総和を表す目的関数、第4項は乗り継ぎによる運航利益の増加分を表す目的関数となっている。

また、飛行の連続性に対する制約と母空港帰還に対する制約より、出発可能時間断面総数 F に対して

$$X_{ij}^{F+1} = X_{ij} \quad (6)$$

とする。

目的関数（式(5)）とエネルギー関数（式(4)）と

の係数比較により結合の強さ (W_{ij}^k, m_n) と入力バイアス (I_{ij}^k) を決定する。

$$W_{ij}^k, m_n = -A \delta_{ki} (1 - \delta_{in} \delta_{jn}) - B (\delta_{i, k-1} (1 - \delta_{in}) + \delta_{i, k+1} (1 - \delta_{jn})) + D (\delta_{i, k-1} \delta_{in} p_{m, j} + \delta_{i, k+1} \delta_{jn} p_{j, n})$$

$$I_{ij}^k = +A + C p_{ij}^k \tag{8}$$

ここで、 δ_{ij} はクロネッカーのデルタである。

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1 & (i = j) \\ 0 & (i \neq j) \end{cases}$$

3. 適用例と考察

東北地方の航空ネットワークに本モデルを適用する。空港は青森、秋田、仙台、新潟の4空港とし、機材はYS-11型1機（座席数 64）を用いるものとする。空港運用時間は8時から20時とし、2時間毎に出発可能とした。1日の潜在需要は表-1のように仮定した。各時刻毎の需要は鬼柳らの研究²⁾を基に算出し、直行便の運航利益を求めた。乗り継ぎ利用旅客は仙台-秋田-青森間にのみ発生するものと仮定した。これによる運航利益の増分は乗り継ぎ便が運航された場合、対応する直行便の潜在需要の50%が乗り継ぐと仮定して算出した。

表-1 空港間潜在需要（人/日）

空港	青森	秋田	仙台	新潟
青森	0	157	168	131
秋田	150	0	168	130
仙台	176	184	0	247
新潟	133	138	239	0

今回は各ユニットの初期値を0.2以下の乱数とし、最小値への収束性を高めるために感度パラメータを徐々に減少させていく方法（シャープニング）を用いた。また、ネットワークの状態変化はパラメータ間の比に大きく影響を受けることから、以下のようにパラメータを変化させる。同時に目的関数のパラメータを比較的大きく設定し、制約を満たさない解への収束に関しては感度パラメータを再び上昇させることによって局所解からの回避を図った。ただし、 t は状態変化のサイクルとする。

$$A(t) = B(t) = 1.5 + 0.5 \cdot \cos((\pi/10) \cdot t) \tag{9}$$

$$C(t) = 3.0 + 0.5 \cdot \sin((\pi/2.5) \cdot t) \tag{10}$$

$$D(t) = 7.0 - 0.5 \cdot \sin((\pi/2.5) \cdot t) \tag{11}$$

図-1、2はニューラル・ネットワークを用いて得られた解（スケジュール）の一例である。スケジ

ュール1は総当たり計算により最適解（運航利益最大のスケジュール）に一致していることがわかっていいる。その運航利益は 881.4（千円）である。図-3に実行可能な全スケジュールの運航利益のヒストグラムを示す。スケジュール2もかなりよい近似解であることがわかる。規模を拡大した場合にも同程度の近似解への収束性が得られれば、マンマシンシステムに対しても最適解もしくは複数の近似解を得ることができる。

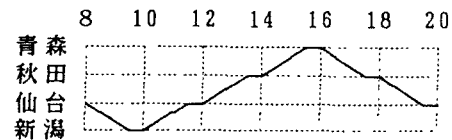


図-1 スケジュール1 (Profit=881.4)

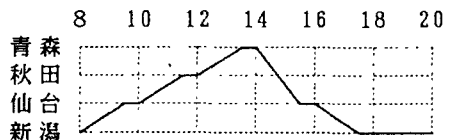


図-2 スケジュール2 (Profit=771.8)

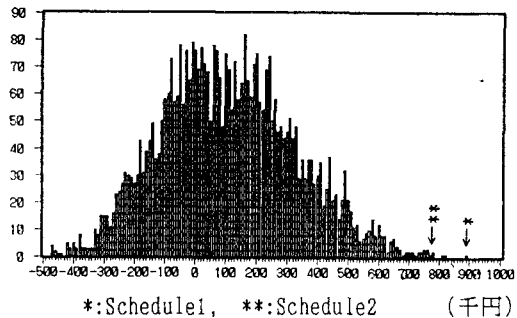


図-3 全スケジュールの運航利益のヒストグラム

<参考文献>

- 1) D.W.Tank & J.J.Hopfield: "Neural Computation of Decisions in Optimization Problems", Biol. Cybern. 52, (141-152), 1985
- 2) 鬼柳, 徳永, 稲村: 整数2次計画法による航空機材のスケジューリングモデル, 土木計画学研究・講演集, No.15, pp.597-602, 1992
- 3) 平野広美: 「Cでつくるニューラル・ネットワーク」, パーソナルメディア, 1991
- 4) 麻生秀樹: 「ニューラルネットワーク情報処理」, 産業図書, 1988