

IV-251

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 Ver. 2

東北大学 学生員○久永健一郎

東北大学 正 員 稲村 肇

東北大学 正 員 徳永 幸之

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。そこで筆者ら²⁾はニューラ
ル・ネットワークを簡単な航空機材スケジューリン
グ問題に適用し、その実用性を検討している。本稿
は規模を拡大したネットワークに対する適用可能性
について検討を行ったものである。

2. ニューラル・ネットワークにおける定式化

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として
利用する旅客による利益と乗り継ぎ便として利用す
る旅客による利益増加分の和とする。ニューラル・
ネットワークへの適用に際し、運航利益最大化を目
的関数とする制約条件を含んだ 0-1 の 2 次の最小化
問題として定式化を行う。

筆者らは前稿²⁾において空港運用時間 8 時～20 時
に対し 2 時間間隔で出発可能とするスケジューリン
グ問題に適用している。本稿ではより実際的な問題
へ拡張するために出発可能時間間隔を短縮した問題
を考える。このとき新たに各空港間の飛行時間の相
違に対する考慮が必要となる。それに応じて到着時
間を加味した飛行の連続性の確保や回送時間の不足
などによる同時運航不可能なフライト案の組合せに
対しても配慮が必要となる。このような問題の簡単
な例として、出発可能時間間隔 1 時間に対し飛行時
間 1 時間もしくは 2 時間のフライトで構成されるス
ケジューリング問題に適用し、評価関数を拡張する。

式(4)に拡張した評価関数とその展開によって定義
されるユニット間の結合の重み ($W_{ij, mn}^k$) 及び各

ユニットの入力バイアス (I_{ij}^k) を示す。

$$\begin{aligned} \phi = & + \frac{A}{2} \sum_k (\sum_i \sum_j X_{ij}^k - 1)^2 \\ & + \frac{B}{2} \sum_k \sum_i \sum_j \sum_m \sum_n R_{ij, mn}^k X_{ij}^k X_{mn}^k \\ & - \frac{C}{1} \sum_k \sum_i \sum_j p_{ij}^k X_{ij}^k \\ & - \frac{D}{2} \sum_k \sum_i \sum_j X_{ij}^k (\sum_m q_{mi}^k T_{mi} X_{mi}^{k-T_{mi}} + \sum_n q_{jn}^k X_{jn}^{k+T_{ij}}) \\ = & \text{Const.} \\ & - \sum_k \sum_i \sum_j [+ A * \{ \tau_{ij} (1 - \delta_{ki}) + 1 \} + C * p_{ij}^k] X_{ij}^k \\ & - \frac{1}{2} \sum_k \sum_i \sum_j \sum_m \sum_n [- A * \{ \delta_{i, k-1} (1 - \delta_{ki}) \tau_{mn} \\ & + \delta_{ik} (1 - \delta_{mi} \delta_{nj}) (1 + (1 - \delta_{kf}) \tau_{mn} \tau_{ij}) \\ & + \delta_{i, k+1} (1 - \delta_{kf}) \tau_{ij} \} + B * R_{ij, mn}^k \\ & + D * \{ \delta_{i, k-T_{mi}} \delta_{in} p_{mj}^k \\ & + \delta_{i, k+T_{ij}} \delta_{jm} p_{in}^k \}] X_{ij}^k X_{mn}^k \\ = & \text{Const.} - \sum_k \sum_i \sum_j I_{ij}^k X_{ij}^k \\ & - \frac{1}{2} \sum_k \sum_i \sum_j \sum_m \sum_n W_{ij, mn}^k X_{ij}^k X_{mn}^k \end{aligned} \quad (4)$$

ただし、

X_{ij}^k : k 時 i 空港発 j 空港行きのフライト案

運航する場合は 1、運航しない場合は 0

k, l : 出発時刻を表す添え字

i, j, m, n : 空港を表す添え字

K : $K = k - T_{ij} + 1 \sim k$

$R_{ij, mn}^k$: X_{ij}^k と X_{mn}^l が同時運航可能な場合 0、
同時運航不可能な場合 1

T_{ij} : i - j 間の飛行時間 ($T_{ij} = 1$ or 2)

p_{ij}^k : k 時 i 空港発 j 空港行きの運航利益

q_{jn}^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

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1 & (i=j) \\ 0 & (i \neq j) \end{cases}, \quad \tau_{ij} = \begin{cases} 1 & (T_{ij}=2) \\ 0 & (T_{ij}=1) \end{cases}$$

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項は直行便として利用する旅客による運航利益を表す目的関数、第4項は乗り継ぎ利用による運航利益の増加分を表す目的関数となっている。

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、1時間毎に8時から18時まで出発可能とした。また、飛行時間は仙台－青森、新潟－青森間を2時間、他は1時間とした。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³⁾を基に算出し、直行便として利用する旅客による運航利益を求めた。乗り継ぎ利用旅客は仙台－秋田－青森、新潟－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加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）

発 \ 着	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

各ユニットの初期値は各フライト案の直行便の運航利益を全フライト案の運航利益の総和で除した値を用いた。最適解への収束性を高める方法として秋山ら⁴⁾の提案したガウシアンマシンを採用した。また、ネットワークの状態変化はパラメータ間の比に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。

$$A(t) = B(t) = 1.5 + 0.5 \cos((\pi/10) \cdot t) \quad (5)$$

$$C(t) = 3.0 + 0.5 \sin((\pi/2.5) \cdot t) \quad (6)$$

$$D(t) = 7.0 - 0.5 \sin((\pi/2.5) \cdot t) \quad (7)$$

図-1はニューラル・ネットワークによる20回の試行で得られた解（スケジュール）の内の上位2例である。スケジュール1-a)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る。本適用例における実行可能なスケジュールの総数は概算で約 4.2×10^8 通りである。その内の任意に抽出した 10^3 通りのスケジュールの運航利益のヒストグラムを図-2に示す。スケジュール1-b)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。

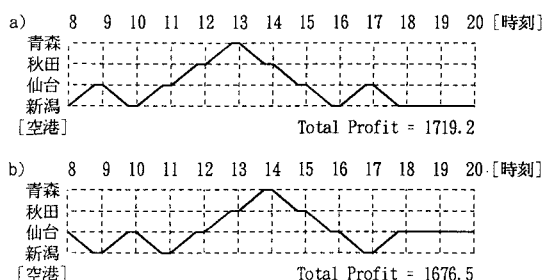


図-1 ニューラル・ネットワークによって得られるスケジュールの例

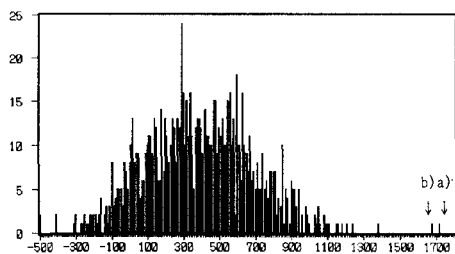


図-2 任意に抽出したスケジュール（ 10^3 通り）の運航利益（千円）のヒストグラム

<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) 久永, 徳永, 稲村: 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, 東北支部技術研究発表会講演概要, pp446-447, 1993
- 3) 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
- 4) 秋山, 山下, 梶浦, 安西, 相磯: ガウシアンマシンによる組合せ最適化, 電子情報通信学会技術報告, MBE-88-183, 1989