

不定期便に対応したパイロット乗務スケジュールリング

4 G-3

田島 玲 味園 真司

日本アイ・ビー・エム株式会社 東京基礎研究所

はじめに

パイロットの乗務スケジュールリング（以下、クルースケジュールリング）とは、与えられた航空機の運航ダイヤから、それらを過不足なくカバーするパイロットの勤務パターン（以下、ペアリング）を作成する問題（図1）であり、従来多くの研究がなされている（例えば、[1, 2, 3, 4]）。そのほとんどは全ての便が毎日飛ぶと仮定してコンパクトに表現した問題のみを解くものだった。しかし近年、顧客の満足度向上のため多くの不定期便が運航されており、スケジュールリング時に明示的に扱うことが求められつつある。この論文では、整数計画法と補助グラフを用い、そうした不定期便に対応した手法を示す。また、航空会社より提供された現実のデータを使った検証も行なう。

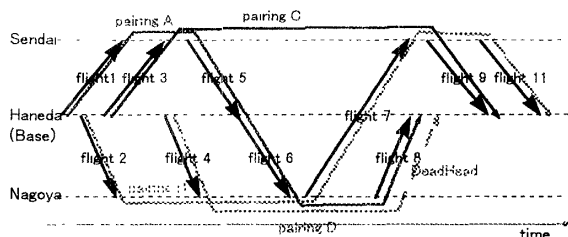


図 1: 運航ダイヤのペアリングによるカバー

クルースケジュールリングとは

主な目的はコスト、特にパイロットの労働力（人日で評価する）を最小にするスケジュールリングを作成することである。各ペアリングは、パイロットの本拠地となる空港から開始し、同じ空港で終了する2泊3日以内の勤務パターンで、最大乗務時間等、様々な労働制約を満たしたものでなければならない。また、無駄な待機時間の少なさ等、効率上の要請や、宿泊費等の支出はコストとして評価される。図1の例では、A,B,C,Dの4ペアリングのコストの合計が全コストとなり、すべて日帰りペアリングのため4人日が必要となる。ペアリングDのフライト8の様に、移動のため乗務せずに便乗するケースも多い。これをデッドヘッドと呼ぶ。一般に、ク

ルースケジュールリングは以下のように集合分割問題として定式化される ([5])。

$$\begin{aligned} & \text{最小化} && \sum_{j=1}^n c_j x_j && (1) \\ & \text{s.t.} && \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = 1 && \text{for all } i = 1, \dots, m \\ & && x_j \in \{0, 1\} && j = 1, \dots, n \end{aligned}$$

$$x_j = \begin{cases} 1 & \text{ペアリング } j \text{ が採用される} \\ 0 & \text{採用されない} \end{cases}$$

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{ペアリング } j \text{ がフライト } i \text{ を含む} \\ 0 & \text{含まない} \end{cases}$$

c_j はペアリング j のコスト。ペアリングの候補数は n 、フライトの総数は m とする。

この問題を解くこと自体 NP 困難であるが、実際には制約行列の列、すなわちペアリングの候補を如何に生成するかが重要となる。

アプローチ (定期便)

本論文では、ペアリングに関する制約の大半が1日分の行程（以後、パス）に対するものであることに注目し、

1. 全ての実行可能なパスを列挙する
2. 複数のパスを連結することでペアリング候補を生成し列生成法に用いる

というアプローチを取る。列生成法（例えば [6]）は繰り返し線形緩和問題を解き、その双対変数を指標として解を改善する可能性の高い新たな列を追加していく枠組である。一般に列生成時に解く部分問題の困難さが問題となるが、我々のアプローチでは、パスの列挙の際に制約を考慮済みであるため、列の生成は指標上良いパスをつなぎ合わせるだけでよく、効率的に行なえる。また、構造化されているため制約の変更にも柔軟に対応できるという利点もある。

アプローチ (不定期便)

(1) の定式化で不定期便に対応するには、

行：フライト → フライト+運航日

列：ペアリング → ペアリング+運航日

と行列を拡張する必要があるが、(航空会社には一般的な) 1ヶ月単位のスケジューリングにおいては、行、列ともに最大 30 倍の規模になりうる。これは非現実的なサイズであり、一方で「定期便については従来通りに解き、不定期便のみ拡大した問題を解く」という方式では十分な質の解を得られない。そこで、

1. 定期便について従来の定式化で解く
2. 不定期便を 1の結果のスケジューリングに挿入する
3. 2で余った不定期便につき、拡大した定式化で解く

という方法をとる。さらに、1の前に、潜在的に挿入を受け入れやすい候補のコストを調整して低くしておくことにより、挿入を促進することが可能である。この調整は、前述のパス列挙とハッシングを組み合わせることにより効率的に実現可能である。

不定期便の挿入方法

図 2 にあるように、基本的には余裕のあるペアリングに押し込む形をとるが、微妙な制約の食い違いにより、何段階かの玉突きをして始めて挿入可能なケースもある(例では 2 段階)。より多くの不定期便を挿入するには、共存可能な挿入の集合を求める必要がある。これは、ペアリングと不定期便を節とし、挿入可能な組合せを枝で表現した補助グラフ上でパスを求める問題として表現できる(図 3)。

実験結果

航空会社より提供された、1996 年度のダイヤのうち特に不定期便の多い月のデータを用いて実験を行なった。計算はすべて IBM RS/6000 model 990 上で行ない、実用上の見地から、1時間程度で計算を終了するよう調整されている。結果の比較を表 1 に示す。人日、コストともに航空会社のスケジューリング担当者を上回る結果を得ることができた。人手による作業では実行可

◆ 往復便の挿入

$B \langle FR_1 \rangle A_1 \langle FR_2 \rangle A_2$
 $\rightarrow B \langle FR_1 \rangle A_1 \langle FR_2 \rangle A_2 \langle FL_1 \rangle A_3 \langle FL_2 \rangle A_2$

◆ テムヘッドの置き換え

$A_1 \langle DH_1 \rangle A_3 \langle FR_3 \rangle B$
 $\rightarrow A_4 \langle FL_3 \rangle A_3 \langle FR_3 \rangle B$
 $\rightarrow A_4 \langle DH_2 \rangle A_3 \langle FL_4 \rangle A_3 \langle FR_3 \rangle B$

◆ 多段階挿入

Pairing 1: $B \langle FR_1 \rangle A_1 \langle FR_2 \rangle B \langle FR_3 \rangle A_2 \langle FR_4 \rangle B$
 Pairing 2: $B \langle FR_1 \rangle A_3 \langle FR_3 \rangle B$
 \downarrow
 Pairing 1: $B \langle FR_1 \rangle A_1 \langle FR_2 \rangle B \langle FL_1 \rangle A_4 \langle FL_2 \rangle B$
 Pairing 2: $B \langle FR_1 \rangle A_3 \langle FR_3 \rangle B \langle FR_3 \rangle A_2 \langle FR_4 \rangle B$

図 2: 挿入のバリエーション

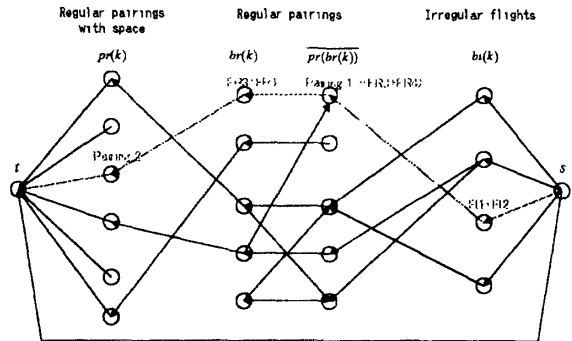


図 3: 挿入のための補助グラフ

能性を優先に進めるため、特にコスト面で差がついている。

おわりに

実行可能バス列挙、列生成法、不定期便の挿入というアプローチに基づくクルースケジューリングの手法を提案した。プロトタイプでは、航空会社で実際に使われたデータを対象に、制約条件、モデル化等を簡略化することなくスケジューリングを行ない、経験を積んだスケジューリング担当者を上回る結果を残した。

表 1: 結果比較

	航空会社スタッフ	プロトタイプ
延べ人日	3226 (107×30+16)	3188 (106×30+8)
コスト	102.1	100.0

参考文献

- [1] Anbil, R., E. Gelman, B. Patty, and R. Tanga. (1991). "Recent advances in crew-pairing optimization at American Airlines," *Interfaces* 21, 62-74.
- [2] Anbil, R., R. Tanga, and E. L. Johnson. (1992). "A global approach to crew-pairing optimization," *IBM Systems Journal* 31, 71-78.
- [3] Desrochers, M., and F. Soumis. (1989). "A column generation approach to the urban transit crew scheduling problem," *Transportation Science* 23, 1-13.
- [4] Lavoie, S., M. Minoux, and E. Odier. (1988). "A new approach for crew pairing problems by column generation with an application to air transportation," *European Journal of Operational Research* 35, 45-58.
- [5] Hoffman, K. L., and M. Padberg. (1993). "Solving airline crew scheduling problems by branch-and-cut," *Management Science* 39, 657-682.
- [6] 伊理正夫, 今野 浩, 刀根 薫. (1995). 最適化ハンドブック, (株) 朝倉書店