6T−9

マルコフ計画法による最適巡回保守計画システムの開発

綛 宜史
(株)CRC総合研究所

野末 尚次
(財)鉄道総合技術研究所

1 はじめに

時間とともに劣化する多数の部品からなるシステムの保守計画問題は多くの分野で発生し、取り扱いが非常に難しいとされている。このような問題は基本的には確率過程であり、マルコフ過程により取り扱われている。マルコフ過程を用いた定常的な取り替え政策に対してはマルコフ計画法がある。しかし現実の取り替え政策は資源や労働時間などの制約により非定常的な政策となるため従来のマルコフ計画法では取り扱えない。

本研究では、非定常・非線形問題へも拡張したマルコフ計画法によるスケジューリングシステムを開発した。まず劣化現象をマルコフ過程で表現し、劣化の進行や危険な状況の発生確率およびその期待値を計算し取り替え期限とコストを求める。そしてこれらの指標に基づいてコストの最小化を目的とした取り替えスケジュール問題を制約充足問題に定式化して制約論理言語を用いて解く。

本稿では、部品の取り替え計画の概要と本システムの有効性について報告する。

2 問題の性質

本研究における保守計画問題の前提は次のようなものである。システムが複数の部品から構成されており、すぐに取り替えなければならないほど劣化している。さらに時間が経過すると部品の状態は確率的に劣化し、事故が発生したり突然状態が悪くなる確率が増大する。保守コストや保守に必要な人員は系ごとに異なり、状態によっても異なる。また特定の状態では数に限りのある消耗品を使用するマイナーメンテナンスが必要である。

また計画期間に関して、最悪の状態に達する確率・事故が発生する確率・マイナーメンテナンス期間が一定値を越える確率が許容値内であるという制約条件を満たさねばならない。さらに、作業人数や作業日程などの労働条件も考慮する必要がある。

これらの条件をすべて満たす計画の中で部品の取り替えにかかる費用が最小となるものを求める。

Development of Optimal Maintenance Scheduling System based on Markov Model and Constraint Logic Programming
Norifumi Kase
CRC Research Institute,Inc.
2-7-5 Minamisuna,Koto-ku,Tokyo,136,Japan
Naotugu Nozue
Railway technical Research Institute
2-8-38 Hikaricho,Kokubunji,Tokyo,185,Japan

3 各部品における保守期限とコスト

取り替え期限は、それに関するすべての制約条件を満足する最大日数とする。最悪の状態に達する確率や事故が発生する確率などが許容値内である日数は確率現象をマルコフモデルで定式化して求めることができる。

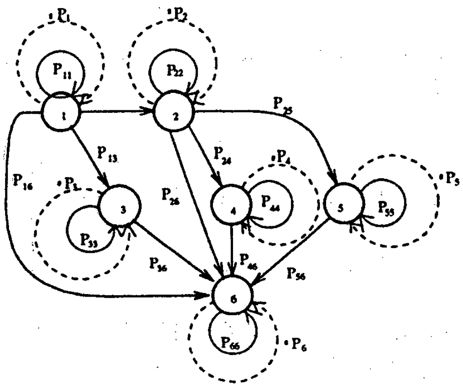

図 1: 確率的に劣化する系の状態遷移図

部品の取り替え時刻の期限 T は、それぞれの条件から求めた取り替え期限の最小値となる。一般に M 個の条件から求めた取り替え期限を t_1, t_2, $\ldots, t_M$ とすると、

$$T = \min[t_1, t_2, \ldots, t_M]$$

である。

次に時刻 0 から時刻 T までのオペレーションコストの期待値を各時刻 n について求める。時刻 n におけるオペレーションコストの期待値 $\bar{c}(n)$ は、時刻 n で部品が状態 i である確率を $\pi_i(n)$、状態 i の部品が n 時間で状態 j になる確率を $\phi_{ij}(n)$、状態 i でのオペレーションコストを c_i とすると、

$$\bar{c}(n) = \sum_{i=1}^{N} \pi_i(n) \sum_{j=1}^{N} \phi_{ij}(n) c_j$$

と表される。

4 制約充足問題への定式化

変数の集合 $Z = \{x_1, x_2, \cdots, x_N\}$ とそれぞれの変数の範囲 $D = \{d_1, d_2, \cdots, d_N\}$、そして変数間の制約の集合 C が与えられており、C を満足するような Z の解を求める問題を制約充足問題 (CSP 問題) と呼ぶ。

最適巡回保守計画問題は CSP 問題に定式化できる。系の総数を N とすると変数の集合 Z は各系の取り替え作業開始日を表す変数

$$S = \{Start1, Start2, \ldots, StartN\} \tag{1}$$

の集合となる。各変数の領域は、取り替え計画の期限

$$T_1, T_2, \ldots, T_N \tag{2}$$

であるから、$Start_1$,$Start2$,...,$StartN$ の取り得る値の領域 D は

$$D = \left\{ \begin{array}{l} D_{Start1} = \{1, 2, \ldots, T_1\} \\ D_{Start1} = \{1, 2, \ldots, T_2\} \\ \cdots \\ D_{Start1} = \{1, 2, \ldots, T_N\} \end{array} \right\} \tag{3}$$

と表される。変数間の制約 (順序関係や資源の制限) は、関数や不等式として表される。

5 制約論理プログラミング

CSP 問題は解の候補がすべての変数の取り得る値の組合せの個数だけ存在し、明確なアルゴリズムがないものが多いために一般に制約を満たす解を求めることが非常に困難である。制約論理プログラミングとは、論理プログラミング手法によって解を探索しながらコルーチンや制約伝播によって制約を満足しない値を変数の範囲から削除し問題空間を劇的に狭める手法である。本システムでは CSP 問題を制約論理プログラミング言語 CHIP によって解いた。またその結果を表示するために CHIP に付属している GUI 構築ツールを用いて出力インターフェースを作成した。

論理プログラミングによる解法は、常に今まで求めた解の中で一番良いものを表示するため最適解でなくともよい場合はその解を採用することができる。また、進捗状況によって計画を変更したい場合も、変更したい部分を指定することによって簡単にリスケジューリングが可能である。

6 シミュレーションと結果

15 の系が分布している場合の保守計画のシミュレーションを行った。それぞれに対して作業日ごとのコストと作業人数、作業日の開始日の期限を設定した。また、いくつかの作業日に順序関係を持たせた。解のある場合は約 10 分で準最適解に到達し、解が存在しない場合は数秒で処理が終了した。

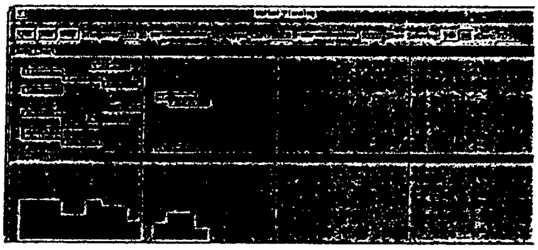

図 2: シミュレーション結果

7 まとめ

確率的に劣化する系が複数分布している場合の保守計画問題は、マルコフモデルと制約論理プログラミングを用いて簡単に定式化できる。また、開発したシステムは解の有無の高速な判定が可能であり、解が存在する場合の最適化も短時間で実行できることを確認した。

参考文献

[1] 緫, 野末;“マルコフ計画法による最適巡回保守計画システムの開発” ; 電気通信大学大学院情報システム学研究科 1994 年度 修士論文