

氏名	じょーんじらー とっさぽんさんばん JANEJIRA TOSPORNAMPAN
学位の種類	博士（農学）
学位記番号	甲第389号
学位授与年月日	平成17年 9月22日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	Water Resource Systems Planning and Management using Optimization and Artificial Intelligence Techniques （最適化と人工知能による水資源システム計画と管理）
学位論文審査委員	（主査） 喜多威知郎 （副査） 石井将幸 北村義信 野中資博 西山壯一

### 学位論文の内容の要旨

The aim of the present research is to achieve efficiency approaches for water resources planning and management by developing and applying various optimization techniques. The area of problems under the research includes optimization of multiple reservoir system operation for different problem formulations and optimization of least cost design of water distribution networks.

#### 1. Historical data analysis of a multiple reservoir system

The historical reservoir operation records of the Mae Klong system in Thailand, which is selected as a case study for the present research, are initially presented and discussed. The analysis result suggests that the existing rules should be revised to improve the system performance. Optimization technique is recommended to determine optimal policies or effective operating rules to obtain the maximum net benefit in long-term operation.

#### 2. Optimization techniques for operation of a multiple reservoir system

The optimization techniques used in the study include both conventional optimization techniques and heuristic optimization techniques. The traditional optimization technique used in the study is the discrete differential dynamic programming (DDDP). Three major representatives of heuristic-based optimization methods used in the study include genetic algorithms (GAs), simulated annealing (SA), and tabu search (TS).

At first, a combination of a GA and a DDDP (called GA-DDDP) is proposed and developed to optimize the operation of the multiple reservoir system. The demonstration is carried out through application to the Mae Klong system. The objective of optimization is to obtain the

optimal operating policies by minimizing the total irrigation deficits during a single critical drought year. The performance of the proposed algorithm is compared with the modified GA proposed in the study as well. The results show that the combination algorithm provides optimal solutions within a short time. The GA is able to produce satisfactory results that are very close to those obtained from GA-DDDP but it spent much more computation time to get the precise results.

SA algorithm is developed to investigate its performance for the optimization problem of the operation of a multiple reservoir system. The developed model is illustrated by a test application to a benchmark ten-reservoir problem that has been solved previously in the literature. For this problem, SA shows ability to provide the better result than those obtained from other techniques. The model is then applied to the Mae Klong system in which the objective function is formulated to minimize the irrigation deficits during three years. The performance of the SA is compared with that of the GA developed for the same problem. The results show that the SA is more efficient than the GA in the obtained results and computation time. The results obtained from these applications have proved that the SA is capable of addressing a large and complex problem.

Lastly for the reservoir problem, the combination of a DDDP and an artificial neural network (ANN) is proposed to derive a general operating policy for a multiple reservoir system operation. ANNs are originally studied in the framework of artificial intelligence (AI). The demonstration of the combination algorithm is carried out through application to the Mae Klong system also. The obtained results show that the combination model performs satisfactorily on deriving a reservoir general operating policy.

3. Optimization techniques for the least cost design of water distribution networks  
A new procedure by using heuristic algorithms to obtain the least cost based on the split-pipe design is proposed. The performance of the proposed procedure is demonstrated through solving the three well-known problems of water distribution network taken from the literature. A SA and a combination approach of a GA and a TS are proposed to solve these networks. SA and GA-TS provides very promising solutions. The solutions obtained from both SA and GA-TS are found to be the lowest-cost solutions yet presented in the literature for all test problems. However, performance of the GA-TS is little better than the SA for the design problem of water distribution network.

### 論文審査の結果の要旨

現在、タイでは、産業の発展や人口および農地面積の増加に伴い水需要が増加しているが、これらに対して安定した水供給を可能にすることが要求されている。そこで、本研究では複数の貯

水池を中核として運用される貯水池群システムにおける各貯水池の合理的な運用方針を策定するために、近年、様々な分野への適用が試みられ、その有用性が認識されている発見的探索法を貯水池群システムに適用する手法および古典的な最適化手法と組合せる手法を提示し、実在する貯水池群システムに適用してその有用性を検証した。さらに、管路網に発見的探索法を適用する手法を提示し、その有用性についても検証した。

本論文で得られた結果を要約すると以下のようになる。

#### 1. 貯水池群システムへの最適化手法の適用手法の提示およびその検証

本研究の検証に利用する貯水池群システムは、タイのメクロン川流域に実在する2貯水池を中核する。各貯水池は多目的ダムであるが、灌漑用水の供給が最も重視されている。本貯水池群システムの各貯水池は、シミュレーションモデルから導かれた時期的変動を考慮した複数のルールカーブに基づく運用方針に従って運用されている。1985年から2001年の16年間に観測されたデータが利用可能であった。

##### (1) GA-DDDP による最適化

古典的な最適化手法である離散微分動的計画法 (Discrete Differential Dynamic Programming: 以後 DDDP) と発見的探索法である遺伝的アルゴリズム (以後 GA) の組合せによる最適化手法を導き、その効果について検証した。DDDP は古典的な DP が持つ「次元の呪縛」を緩和するために開発された手法であり、設定された試行経路近辺に限定して反復計算を実行するきわめて高い計算効率を有する手法である。しかし、対象とするシステムに課された制約条件をすべて満たす初期試行経路を設定することが要求されるが、この設定がきわめて困難である。逆に、GA は初期条件の設定に関する制約は緩やかであるが、正確な解を求めるには膨大な計算量が要求される。そこで、両者の欠点を相互に補完するために、これらを組み合わせた GA-DDDP を開発し、上記データのうち、最も厳しい渇水年であった1998年を対象に本手法を適用した。同時に GA 単独による最適化も行い、両者の結果を比較した。評価関数は、灌漑用放流量の制限量の総和の最小化とした。得られた評価関数の値は、両者で非常に近接したものであったが、計算に要した時間は GA-DDDP は GA 単独の場合の約 10% であり、計算効率が非常によいことが判明した。

##### (2) 焼きなまし法 (Simulated Annealing: 以後 SA) による最適化

GA-DDDP は計算効率が非常に良い手法であるが、DP に基づく手法であるため、大規模なシステムへの適用には自ずから限界がある。そこで、大規模なシステムへの適用が容易であるにもかかわらず、貯水池群システムの最適化への適用例が少ない発見的探索法の一つである SA による最適化手法を提示し、その有効性について検討した。まず、適用可能性およびその精度について検証するために、過去の文献で成果が発表されている 10 貯水池からなるベンチマークテストに適用し、結果を比較したところ、近接した値が得られたので、適用可能であることが示唆された。次いで、上記データのうち、1998年を含む1997年4月から2000年3月の3年間について、最適化を行った。GA による最適化も実行し、得られた結果を比較したと

ころ、両者に相違はなかったが、計算時間に関しては SA に利点があった。SA は取り扱いが容易い手法であるが、パラメータの設定に非常に敏感であり、性能はパラメータの設定に依存することが判明した。

(3) DDDP と人工神経網 (Artificial Neural Network: 以後 ANN) の組合せによる最適化 ANN はシステムの要素の関係やその相互作用を捉えるのが難しい複雑なシステムの同定に有効な手法である。貯水池群の過去のデータから GA-DDDP による最適化を行った結果を出力とし、貯水池群システムのデータを入力として、システムの同定を行い、一般的な貯水池操作ルールを導いた。ただし、得られた結果は試行的なシミュレーション結果であり、さらなる研究が必要であることが示唆された。

## 2. 管路網に発見的探索法を適用する手法の提示およびその検証

管路網の構築に当たって、割り管設計に基づいて最小費用を決定するために、発見的探索法およびその組合せによる手法を提示し、過去の文献で多く引用されているモデル性能の評価のための 3 つのベンチマークテストに適用し、それらのモデルの有用性について検証した。

SA、タブーサーチ (Tabu search: 以後 TS) と GA の組合せ (GA-TS)、TS による最適化手法を提示し、ベンチマークによる検証を行った。SA と GA-TS から得られた最適解が良好なものであったが、若干、GA-TS のほうが優れた値を示した。

以上のように、本論文は、最適化手法の適用により水資源を有効に利用するための方策を決定するための手法を提示し、その検証を行ったものである。逼迫した水資源問題の緩和に資することが期待され、学位論文として十分な価値を有するものと判定した。