

知的ネットワークシステムにおける資源追加削減法の適用

Intelligent network system used a method of Distributed Optimization by Resource Additon and Reduction

村上 美緒

Mio MURAKAMI

Abstract:

In this paper, an autonomous distributed system constructed with an intelligent artifacts is proposed. Generally, this kind of system has been using a method of learning. However, this method does not have an ability to optimize a problem with an autonomous control. So in this paper, DORAR(Distributed Optimization by Resource Additon and Reduction), which is a new optimization method for the minimization of the total resource of systems in parallel distributed environment, is applied to an intellectual network system.

1 はじめに

最近のシステムは、自動車や電化製品などの「インテリジェント化」「ネットワーク化」の関心が急速に高まりつつある。そこで、この2つの観点から具体的なネットワークシステムの構成方法として提案されたものが、知的な人工物をネットワーク化した自律分散型のネットワークシステム(以後知的ネットワークシステム)である。この知的ネットワークシステムは、今までの研究では学習を用いて実現されてきた。しかし学習の場合、得られる解が試行ごとに異なり、必ずしも最適解が得られるとは限らなかった。この問題点を解決するために、最適化問題を解ける手法が必要である。そこで離散システムの最適設計問題を並列分散的に解く並列分散最適化アルゴリズムである資源追加削減法という全く新しい手法を知的ネットワークシステムに適用する。そして、本発表では、資源追加削減法を用いた知的ネットワークシステムの有効性について検証する。具体的には知的照明システムを構築し、その検討を行う。

2 知的ネットワークシステム

知的ネットワークシステムとは、SENSE, JUDGE, ACTの構造を持つ知的人工物を複数ネットワーク化した自律分散型のシステムである (Fig.1) このシステム

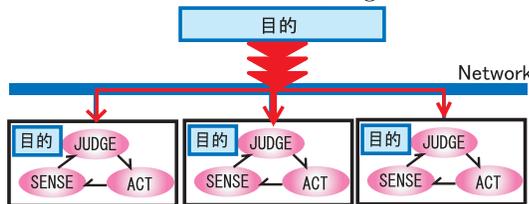


Fig. 1 知的ネットワークシステム

の特徴は、主制御器を持たずに、ネットワーク全体に対してユーザが要求する「目的」を与えるだけで、後は接

続された各知的人工物はその目的を取り込み、その目的に合った判断基準を自ら生成する。そして、それぞれの知的人工物が個々に持つ各種センサからセンスした情報と生成した判断基準をもとに自律的に動作する。このとき、各自は目的を満たすように動作し、他の知的人工物と協調はしない。ただし、結果としてネットワーク全体で、より知的に動作しているように見えるのである。

3 資源追加削減法

離散システムの最適設計問題を並列分散的に解くための方法として提案された資源追加削減法 (Distributed Optimization by Resource Additon and Reduction: DORAR. 以下, DORAR) について説明する。

3.1 対象問題

DORAR法が対象とする問題は、設計変数が連続的な実数値をとる離散要素からなるシステムの最適化問題である。各要素は資源を有し、その関数として種々の機能が表現される。目的は、システム全体として必要な資源の最小化であり、それは各要素の資源の和で表される。また、システムには要求される機能が制約条件で表される。これらの制約条件を複数の局所制約条件と複数の全体制約条件に分類することにより自律分散処理を実現する。設計変数は各要素の資源とする。

3.2 アルゴリズム

DORAR法は、システムを構成する離散的な各要素が、要素に関する情報を頼りに、要素の持つ知識のみで自律的に挙動し、その結果としてシステム全体がより最適な方向へ近づくという考えである。アルゴリズムを以下に示す。

- (1) 局所制約条件に関する資源余裕を評価する。
- (2) 全体制約条件に関する資源余裕を評価する。

- (3) 上の資源余裕の最小値を各要素の臨界資源余裕とし、これを削減する。(資源削減処理)
- (4) 各要素に一定の微少な資源を追加する。(資源追加処理)
- (5) 上記を繰り返すことにより最適解を得る。

4 知的ネットワークシステムへのDORAR法の適用

本節では、知的ネットワークシステムの観点から、DORAR法の役割について説明する。

4.1 定式化

DORAR法を用いるためには、問題設定を定式化しなければならない。そこで、ここでは知的ネットワークシステムにおいて、DORAR法で用いられる局所制約条件、全体制約条件、目的関数のそれぞれの設定の仕方について示す。

- 局所制約条件
 - 各要素にそれぞれ課される条件。自身以外の要素に対して把握する必要のない条件。
- 全体制約条件
 - システム全体として満たす条件を設定。知的ネットワークシステムにおける「実現させる目的」に該当するもの。
- 目的関数
 - 知的ネットワークシステムにつなげる各要素がもつ資源で最小化させるもの。

4.2 判断基準

次の状態に移るための各要素の動作の判断基準は、DORAR法の見積もり・削減の過程で自律的に獲得される。各要素がどのくらいの資源削減を行えるか(行動選択)は、各要素の動作に対する環境からの現在の状況に応じて距離を見積もり自律的に各要素は資源の削減量を判断していく。知的照明システムの例では、設定した目的よりも実際明るければ各ライトは、自律的にその余分な明るさを削減していき、逆に設定した目的よりも実際の明るさが暗ければ、自律的に足りない明るさを追加する方向で資源の削減追加を行っていくことが可能である。そのため、DORAR法によって最適な動作が自律的に判断して行えるしくみとなっている。

4.3 知的ネットワークシステムにDORARを適用することのメリット

DORAR法を適用した知的ネットワークシステムのメリットを以下に2点である。

1. 自律制御で最適化問題をとくことが可能である
知的ネットワークシステムにおいて目的を満たしていく過程で、DORAR法をもち目的関数により、結果的に

に資源最小化の最適化問題を解くことになり、自動的に最適解を得られることが可能である。

2. 学習する必要がなく、その場の環境に応じて自律的に判断することが可能である。

DORAR法は、学習を用いないため、学習なしでシステムを実現することができる。このことは、判断基準を学習によって自動生成される場合、その判断基準が獲得されるまで時間を要していたが、DORAR法では、その場で環境に応じて判断基準を得るメカニズムをもつため、解の収束が早くなることを意味する。

5 知的照明システム

知的照明システムは、複数の知的照明機器(以下、ライト)をネットワークに接続したもので、ネットワークに目的を与えることで、各ライトはこの目的を満たすように動作をする。ここでは、「(複数の)指定した位置を $X[lx]$ の明るさにせよ」という共通の目的を与えることにする。各位置には、照度センサ(以下、センサ)を設置する。以下Fig.2に知的照明システム概念図を示す。

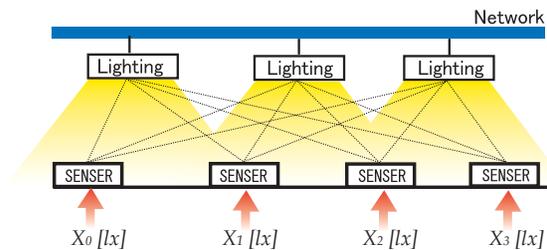


Fig. 2 対象問題設定概念図

5.1 定式化

DORAR法を適用するために、問題設定に応じて定式化を行った。

$$\begin{cases} \text{目的関数} & \min(\sum_{i=1}^n I_i) \\ \text{局所制約条件} & I_i \geq 0 \\ \text{全体制約条件} & \sum_{i=1}^n \frac{\cos^4 \theta}{h^2} I_i - A_j^c \geq 0 \end{cases} \quad (1)$$

各ライトの光度における要求照度地点(照度センサのある場所)への照度は、照度計算において逐点法を用いた。 $i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m$ とする。 n はライトの個数を表し、 i はライトの番号を、 m はセンサの個数を表し、 j はセンサの番号を表す。また I は各ライトの光度、 h はセンサからライトまでの高さ、 θ は各ライトと各センサの成す角度、 A^c は各センサの指定する照度(定数)である。Fig.3に各記号の説明を示す。これは、ライトが2つ、センサが2つの場合を表している。ここで $E_{ji} = \frac{\cos^4 \theta}{h^2} I_i, E_j = \sum_{i=1}^n E_{ji}$ とする。 E_{ji} は、ライト i の光度 I_i におけるセンサ S_j への照度を表す。 E_j は、全ライトの光度から得られるセンサ S_j への照度を表す。つまり、センサ S_j の現在の照度である。

各要素をライトとすると設計変数は、各ライトの光度である。局所制約条件には、各ライトの出す光度は、非負であること、全体制約条件には、各位置にあるセンサを指定した照度の範囲にあることを設定している。このため指定した位置の数が全体制約条件の数になる。また目的関数は、各ライトの光度の和を最小にする。

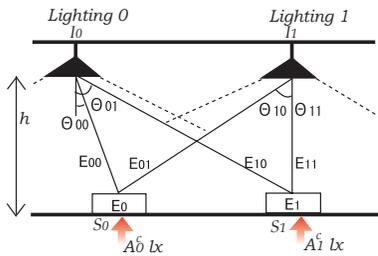


Fig. 3 定式化における記号の説明

5.2 知的照明システムの光度最小化問題

知的照明システムの光度最小化問題とは、あるライトに複数の制約条件を与えた時に、最小光度の知的照明システムを設計することであり、省エネルギーで実現することを可能にする。制約条件として、知的照明システムの目的の明るさを満たすことを考える。ここでは、まず資源削減処理についての手順を具体的に説明する。各ライトは、システムに関する全体制約条件をもとにそのライトの光度の余裕を評価し、責任係数を乗じたものをそのライトの全体資源余裕とする。ゆえに、ライト i の全体資源余裕 $R^{iG(k)}$ は、以下の式で表される。

$$R^{iG_j(k)} = \alpha_i^{(k)} \frac{G_j^{(k)}}{\left(\frac{\partial G_j^{(k)}}{\partial R_i}\right)} \quad (2)$$

ここで i はライトの番号、 j はセンサの番号、 k は繰り返し数である。 $G_j^{(k)}$ で、現在の環境情報を受け取る。よって現在の環境を SENSE する部分であり、各照度センサの現在の照度をさす。責任係数や感度は、各ライト毎に所有する情報である。責任係数は、 $\alpha_i^{(k)}$ で表され、 $1/N$ (要素の数) の値である。また $\partial G_j^{(k)} / \partial R_i$ は感度を表す。これを頼りに資源余裕の見積もりを行い、削減のための行動選択にうつる。そして、各ライトが全ての全体制約条件と資源余裕の見積もりを行う。全てのライトは、他のライトの情報は把握しないで、自律的に臨界資源余裕を求める。そして、各要素が臨界資源余裕だけ自身の資源を削減し、次に資源追加処理を行う。このフローチャートを Fig.4 に示す。これを繰り返すことにより最適解を得る。

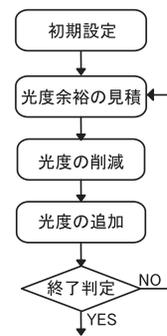


Fig. 4 照明問題の DORAR 法

5.3 DORAR 法を適用した知的照明システムのアルゴリズム

ここで DORAR 法を用いて知的照明システムを構築し検証することにする。

5.4 アルゴリズム

それぞれのライトは、知的ネットワークシステムに接続されていることから SENSE, JUDGE, ACT が備わっていないといけない。そして、この動作を DORAR 法を適用すると、各ライトの動作アルゴリズムは Fig.5 のようになる。

1. 各要素ごとに初期設定をおこない目的をとりこむ。
2. これらの設定により影響される環境計算を行い、その情報が各要素ごとに SENSE される。環境計算とは、各要素が動作することにより外部環境に与える影響を計算するものである。
3. SENSE された現在の環境状態が、与えられた目的を満たしているか判断 (JUDGE) する。
4. ACT を行う。ここでは、DORAR 法の資源余裕の見積もり、資源削減、資源追加の動作のみを行う。
5. 得られた新しい状態が目的を満たせば終了する。満たされなければ、再び 2 に戻り SENSE, JUDGE を行い、目的が満たされるまで続ける。この手順の繰り返しにより、他の要素の情報や自分の動作の有効性がわからなくても、知的照明全体で目的を満たすように動作することができる。

ここで、ユーザーが行わなければならないことは、目的をネットワークに与えることと複数のライトとセンサを設置することである。

5.5 DORAR 法を適用した知的照明システムの実験

今回の実験では、ネットワークに与えられた目的が満たせるか、また 1 つの知的照明では物理的に不可能な明るさを目的として与えた場合に、各知的照明が協力して目的を満たせるかについて検証する。ライトや照度セン

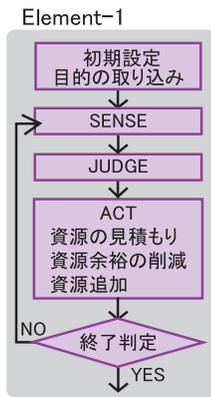


Fig. 5 知的ネットワークにおける各要素の動作アルゴリズム

サの位置、ネットワークに与える目的をそれぞれ変えて実験を行った。ここでは、ライト3つと照度センサ3つを設置した時 (Fig.6) を示す。ネットワークには「S0地点を 300[lx], S1地点を 500[lx], S2地点を 100[lx]の明るさにせよ」という目的を与える。各ライトとセンサの位置のパラメータは、1つのライト (LIGHT 0) を基準として向かって右方向が正方向、向かって左側を負の方向とした。また、各ライトの初期光度を 0[cd], ライトとセンサの高さを 3[m], 資源追加量を 100 に設定し実験を行った。この実験結果を Fig. 7, Fig. 8 に示す。

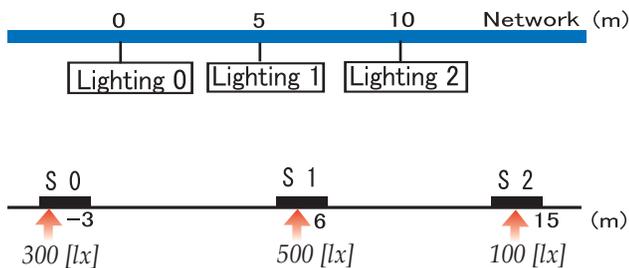


Fig. 6 環境設定

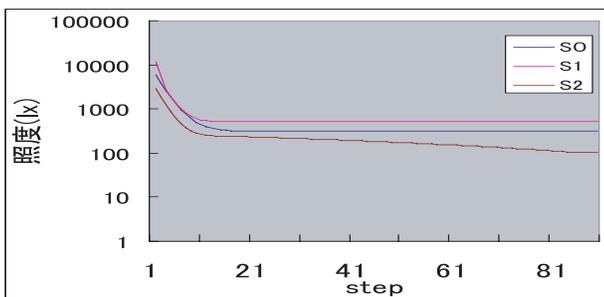


Fig. 7 試行回数と各センサの照度

Fig.7 は、各センサの試行回数と各センサの照度の関係を示したもので、各センサが目的に到達するまでの様子を表す。横軸に試行回数、縦軸に各センサの照度を示す。S(0) は、センサ 0 の照度、S(1) は、センサ 1 の照度、

S(2) は、センサ 2 の照度の動き指す。Fig.7 をみると、はじめは各センサとも 0[cd] からスタートするが、一旦各センサとも照度を増した後、それぞれ減少し、S0, S1 の目的が満たされた後、S2 の目的が満たされ、80 ステップで全てのセンサが、与えられた目的である「S0 地点を 300[lx], S1 地点を 500[lx], S2 地点を 100[lx]の明るさにせよ」が達成されたことがわかる。

これが、最適解であるかを確認するために、Fig. 8 に試行回数と光度の和の関係を示す。横軸に試行回数、縦軸に各ランプの光度の和を示す。Fig. 8 を見ると分かるように、試行回数を重ねるごとに各ライトの光度の和が小さくなっていく。80 ステップからその値が最小値に達しており、システム全体として満たされた目的を、各ライトの光度が、全ライトの光度和の最小値になるように解を得ていることが分かる。

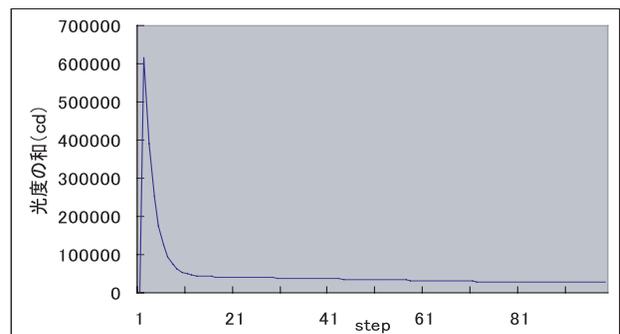


Fig. 8 試行回数と光度の和

6 考察

前節の結果より、DORAR 法を適用した知的照明システムは、良好な解を得ることが出来た。ライトとセンサの設置を変更した場合でも、全ての目的は満たされた。よって学習を用いずに DORAR を用いて知的ネットワークシステムを実現できることを確認した。また得られた結果は、全て光度の和の最小値で得られており、成功していることを確認した。ゆえにまだ基本的なことしか行っていないが、知的ネットワークシステムに最適化問題を取り入れるために、DORAR を用いることの有効性も確認された。

7 今後の課題

- 以上の結果を加味して、今後の課題を示す。
 - 各ライトとセンサを 2 次元に配列させる
 - 故障に対応できるシステムをつくる。
 - 責任係数の与え方について検討する。

参考文献

- 池田。資源の追加と削減に基づく並列分散最適化アルゴリズムの収束性の検討。修士論文
- 富田。知的ネットワークシステムの構築-強化学習を用いた知的照明システム。修士論文