

知的人工物を用いた次世代ネットワークシステム -知的照明システムの構築による基礎的検討-

Next Generation Network Systems of Intelligent Artifacts -Fundamental Discussion by Simulation of Intelligent Lighting Systems-

富田 浩司 (知的システムデザイン研究室)

Koji TOMITA (Intelligent Systems Design Laboratory)

Abstract In this paper, we propose the new networking systems. Recently, the network systems have made rapid progress such as audio and visual systems, intelligent transfer systems and so on. However, most of them are a kind of the master-slave model. Our proposed system is the autonomous and distributed systems, and it is constructed with the intelligent artifacts that should have three components: sense, judge and act part. The whole network system has the same purpose and each intelligent artifact try to satisfy the purpose by itself. Therefore, the artifacts can do easily add or delete to the networking system and the system can be easily applied to the situation where some of the intelligent artifacts have troubles. The simulation of lighting systems is constructed for making clear the effect of the proposed system.

1 はじめに

最近のシステムは、インターネットの普及に伴って、「ネットワーク化」の関心が急速に高まっている。具体的には、家庭内機器をネットワーク化するホームネットワーク、人・道路・車両をネットワーク化するITS（高度道路交通システム）などがあり、既に Jini, Havi および UPnP などの自律分散型のネットワーク技術も提案されている。今後、全ての機器がネットワーク化される傾向にあり、様々なシステムの実用的な構成が検討されている。

本論文では、自律分散型システムを基本技術とした次世代ネットワークシステムについて述べる。具体的には、ネットワークに接続する機器を3章で述べる知的人工物にすることにより、それぞれが自律的に動作し、全体として与えられた目的に対して結果的に協調しあうというより知的な振る舞いを行うシステムについて提案する。

2 自律分散システム

自律分散システムは、オンラインにおける拡張性と保守性、ソフトウェアの生産性が優れ、柔軟なシステムが構築できるとしてFAの分野において実用化が始まっている⁽¹⁾。自律分散システムの最大の特徴として、個々の機器があるネットワークに対して容易に参入と離脱が実現できることが挙げられる。従来の通信では宛先として相手先を指定してデータを送り、さらにデータ内容もあ

らかじめ取り決めておく必要がある。自律分散型システムでは宛先を特定する代わりに、データをネットワーク全体に送り、各自が必要なデータのみを取り込んで処理する。

これらの特性により、自己の故障、保守等による部分停止を全体停止に波及させることなく、問題を局所化してシステムの機能を維持することができる。さらに、オンライン状況での調整と保守を可能としている。

3 知的人工物の定義と知的性質

ここで、本システムに用いる知的人工物についての基本的な考察を行う。

筆者の一人は、工学的人工物を対象にし、次のように知的人工物の定義を行った⁽²⁾⁽³⁾。「人工物が、使われる環境や利用の仕方に依存する多くのパラメータを持ち、これらの組合せにより、多様な利用者要望や使用環境に柔軟に対応できるように設計されているとき、センスした情報と与えられた知識や学習で得た知識を基に、適切な組合せを人工物自身が選択し、利用者の要望や環境に応じた最高の機能と性能を提供してくれるとき、その人工物は知的であり、その人工物は知能を持つと考える」と定義した。この定義に従うと、知的人工物は利用者を含む広義の環境条件の変化に対応して人工物自身のパラメータを自律的に変化させるために、その環境条件の変化をセンスするための各種のセンサ（認知）が必要である。次に、センサで得た情報を基に人工物の機能や性能

を最適化する計画を立て(判断),それに沿って人工物のパラメータを変化させること(動作)ができなくてはならない.すなわち,全ての知的人工物は知的性質としてこの3つの要素を持ち, Fig.1 で表すことができると考えられる⁽⁴⁾.

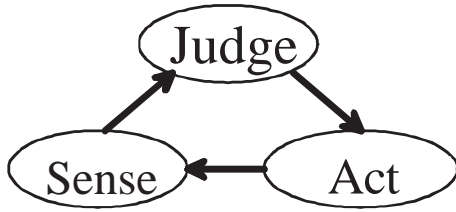


図 1: Behavioral dissolution of intelligent characteristics in artifacts.

例えば,光感知照明機器は,外の明かりをセンスしあらかじめ組み込まれている明るさの判断基準から,光束を調節する知的人工物である.現在では知的とは言えない自動ドアも,人をセンスし,人の有無の判断基準から,ドアの開閉を制御するため,知的人工物の一つであるといえる.

4 次世代ネットワークシステム

4.1 知的人工物ネットワークシステムの概要

我々が提案する次世代ネットワークシステムでは,ネットワークに接続する機器は3章で定義した知的人工物を用いる.そのため,主制御器がなくても,それぞれが自律的に動作し,結果的にネットワーク全体として与えられた目的に対して協調しあうことが可能となり,より,知的な振る舞いを行うことができる.これにより,これまで自律分散システムにはなかったある機器の故障,保守等による機能停止を他機器により補い,ユーザの満足を維持し続けることのできるシステムを目指す.本システム概念図を Fig.2 に示す.

本システムの特徴は,主制御器を持たず,部屋・建物等のネットワーク全体に対してユーザが要求する「目的」を常に与えておくことにある.知的人工物はネットワークに接続されると,各自が同じ「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,知的人工物が個々に持つ各種センサからセンスされた情報と生成された判断基準を基にそれぞれが自律的に動作する.実際は,各自が「目的」を満たすよう動作するだけであり,他の知的人工物と協調するのではないが,結果として,ネットワーク全体としてより知的に動作しているように見える.これにより,ネットワークに接続された知的人工物の数のみで「目的」を満たすように動作できると考えられる.

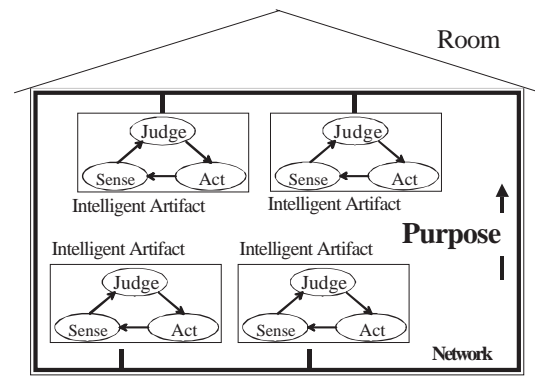


図 2: Conceptual diagram of networking of intelligent artifacts.

具体的には,ある建物において「部屋を快適にしる」という目的を与えると,接続されている知的照明,知的エアコンなどが例えば「部屋の温度を28度に維持し,人がいる所だけを明るくする」等の明るさの判断基準・温度の判断基準を自ら生成する.各知的人工物は部屋の温度が28度になるように,また人がいる所だけが明るくなるように動作し,部屋を快適にする.ある機器が故障した場合も,他知的人工物により対処することが可能となる.また,交通システムにおいては,多くの交通機器(知的人工物)をネットワークに接続しておくことにより,例えば「交通渋滞を避け」という目的を与えておくことで,各交通機器はユーザからの命令を待たず,信号機故障や交通事故時による交通渋滞を解消するように自律的にネットワーク内で対処することが可能となる.

4.2 ネットワークへの接続方式

4.1 節で提案した本システムを実現するためには,知的人工物におけるネットワークへの接続方法が重要となる.本システムでは主制御器が存在せず,各知的人工物が自律的に状況を判断しなければならないため,他の知的人工物の各種センサと動作情報を得る必要があり, Fig.3 のようにセンス部と動作部をネットワークに接続する方式をとる.

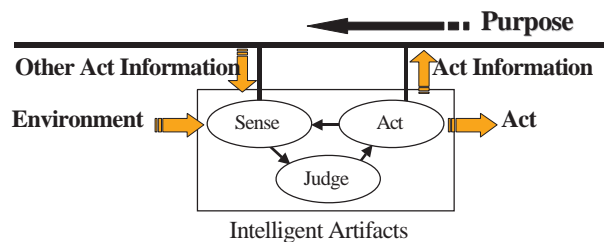


図 3: Networking method of intelligent artifacts.

ネットワークに接続された各知的人工物のセンス部

では、各種環境をセンサすると同時に、「目的」および他の知的人工物の動作情報を取り込む。判断部では取り込んだ「目的」から判断基準を生成し、環境と他の知的人工物の動作情報から「目的」に対する状態を判断する。動作部では、動作すると同時にその動作情報をネットワーク全体に送る。

4.3 知的人工物ネットワークシステムの有効性

本システムの有効性として、自律分散型システムを基本技術として用いているため、機器のネットワークへの参入・離脱が容易である、機器の故障によるシステム全体の停止を防ぐ、フレキシブルなシステムの拡張性が挙げられる。さらに、本システムの特徴は、与えられた「目的」に対して、現在ネットワークに接続されている知的人工物だけで満たすように動作できるため、自律分散システムにはない次のような有効性がある。

1. 1つの機器では不可能な作業を行うことができる。
2. ある機器の故障時に起こる機能低下を他機器によって柔軟に対応し、補うことができる。
3. 既存機器のみで新しい機能を生み出すことができる。

4.4 知的人工物ネットワークシステムの課題

まず、各種プロトコルの問題が挙げられる。すなわち、「目的」をどこからどのようなデータ形式で与えるのか、各知的人工物はどのように「目的」から目的に合った判断基準を生成するのか、各知的人工物の動作情報や位置情報をどのようにネットワーク全体に送るのか、などである。また、プロトコルの問題と依存関係にあるが、各種センサと他の動作情報のみで各知的人工物をどのように「目的」を満たすよう制御するかの自律動作の最適手法も課題の一つである。その他にも、各種センサの故障による誤り情報やネットワークに接続されている機器のみでは「目的」を満たせない場合における対処策などがあり、今後これらの問題を解決していく必要がある。

5 知的照明システムによる基礎的検討

ここでは、知的照明システムを用いて、提案する次世代ネットワークシステムの基礎的検討を行う。

5.1 問題設定

複数の知的照明機器（以下 知的照明）をネットワークに接続し、ネットワークに与えた「人がいる所（ $k_1 \sim k_m$ ）を X [lx] の明るさにせよ。」という共通の目的に対して、それぞれが自律的に動作し、結果的に全体としてより知的に振る舞うことができるかを見る。

Fig.4 にこの照明設計モデルを示す。ここで用いられる知的照明は人感知センサと明るさ感知センサの両方が備わっているものとし、各知的照明（ $a_1 \sim a_m$ ）は、各真

下（ $k_1 \sim k_m$ ）の人の有無と明るさ [lx] をセンサし、人の有無に合わせて調光することができる分散制御方式明るさ、熱センサ付連続調光タイプ⁵⁾を用いた。各知的照明の光度 I の調光パターンは $0 \sim 1,000$ [cd] である。

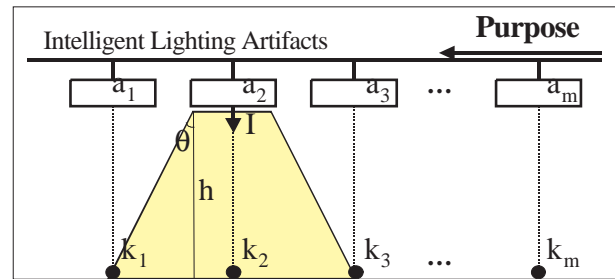


図 4: Lighting design model.

要求照度地点 $k_1 \sim k_m$ における各知的照明の照度 E_{amkm} は、照度計算において最も一般的な逐点法を用い、各知的照明と要求照度地点との角度 θ とその地点への光度 I により、次式のように求まる。式 (1) の

$$I_{\theta} = \cos \theta \quad [\text{cd}] \quad (1)$$

$$E_m = \frac{I_{\theta}}{h^2} \cos^3 \theta \quad [\text{lx}] \quad (2)$$

I は各知的照明の光源から要求照度地点方向への光度 [cd] を表しており、角度 θ が 60° 以上の場合は光が届かないものとし $I = 0$ とした。式 (2) の照度 E_{amkm} は水平面照度のことを指し、ここでは放線照度および鉛直面照度は考慮しないものとする。要求された照度地点の合計照度は用いた知的照明の照度 E_{amkm} の合計となる。

5.2 知的人工物（知的照明）の自律動作

今回用いた各知的照明では、自分の真下に人が来た場合に自らが持つ明るさセンサによって、その場所の各知的照明が照らす合計照度をセンサし、その情報をネットワークに送り、他知的照明はその情報（合計照度）のみから現在の「目的」の達成度を把握しなければならない。本システムでは主制御器を持たないため、他知的照明の動作あるいは自分がどのように動作すれば「目的」を達成できるのかについては誰もわからない。そこで、本システムではセンサした合計照度のみで「目的」を達成しなければならないため、今回用いた各知的照明の自律動作の最適化アルゴリズムを以下のようにした。

- 1) 各知的照明はネットワークに接続されると、自分の判断部を共通の判断基準に書き換える。実際は「目的」からそれぞれが目的に合った判断基準を生成するのであるが、これは今後の課題とし、今回は判断基準を予め、

各知的照明は共通の判断基準を持つとし、その判断基準を「人のいる所における現在の照度と前状態の照度との比較」とした。

2) ネットワーク化された各知的照明は一齐に、各々一度だけランダムに動作してみる(動作しなくても良い)。

3) 真下に人がいる知的照明は、2) 後の合計照度をセンシし、その情報をネットワーク全体に送る。

4) 各知的照明は3) の情報と共通の判断基準から、2) によって、「目的」への達成度が上がったかどうかを判断する。上がったならば、自分の動作が有効かどうか分からないが、知的照明全体としては「目的」に近づいているため、各知的照明はもう一段階上の動作を行う。下がったならば、再度2) の動作を行う。

5) 手順2) から4) の繰り返しにより、他の情報、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。

5.3 シミュレーション

5.3.1 シミュレーション 1

シミュレーション 1 では、1 つの知的照明では不可能な明るさを「目的」とした場合に、各知的照明が協力して「目的」を満たせるかを確認する。与えておく「目的」は「人がいる場所を 150[lx] にせよ」とし、用いた知的照明は 5 個、被照面から知的照明までの高さ h は 3[m] とした。

その結果、様々な調光パターンがあるが、必ず「目的」を満たせることが確認できた。その一例を Fig.5 に示す。Fig.6 は Fig.5 の状態に至るまでの各知的照明の動作を示している。横軸は各知的照明の動作した回数であり、縦軸の主軸は人がいる所の明るさ、第 2 軸は知的照明の光度を表している。



図 5: Situation of intelligent lightings of simulation 1.

この例では、5.2 節で定義した最適化アルゴリズムにより、まず知的照明 a_4 が点灯、続いて a_2 が点灯し調光する。しかし、この 2 つの知的照明のみでは「目的」を満たすことができず、結局、Fig.5 に示すように、全ての知的照明が点灯した状態で「目的」を満たした。

次に、人が 2 人いると仮定し、同じシミュレーションを行った。与えておく「目的」は「1 人目 (k_1) の場所を 150[lx]、2 人目 (k_2) の場所を 100[lx] (誤差 ± 5 [lx]) に

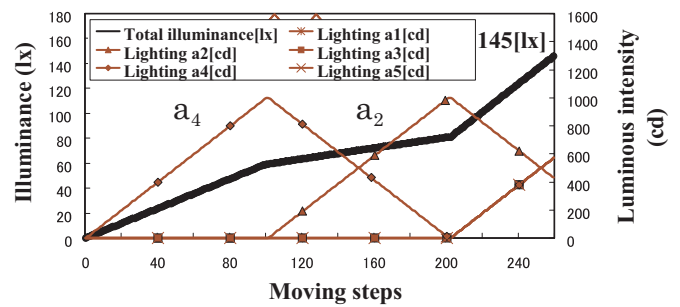


図 6: Relation between the moving steps, the illuminance and the luminous intensity of Simulation 1.

せよ。」とした。その結果、対象人数 1 人の場合と同様、様々な調光パターンがあるが、必ず「目的」を満たせることが確認できた。その一例を Fig.7, Fig.8 に示す。

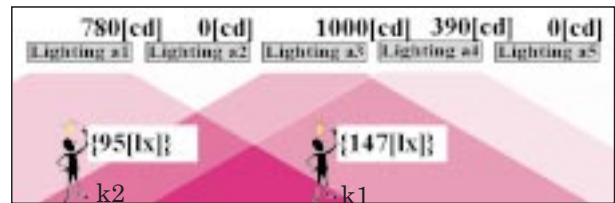


図 7: Situation of intelligent lightings of simulation 1.

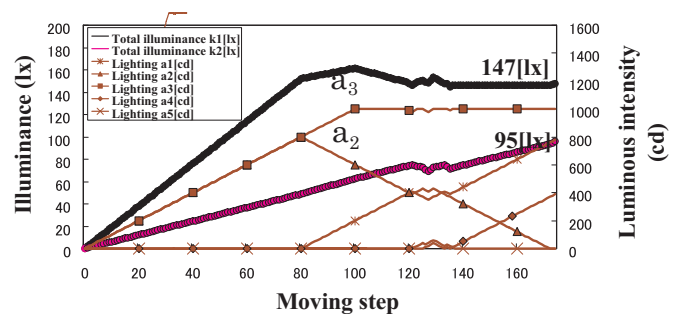


図 8: Relation between the moving steps, the illuminance and the luminous intensity of Simulation 1.

この例では、まず知的照明 a_2, a_3 が点灯している。しかし、この 2 つの知的照明のみでは、要求照度地点 k_1 の「目的」を満たすが、要求照度地点 k_2 の「目的」を満たせない状態になる。ここで最適化アルゴリズムにより、残りの知的照明が点灯、調光し始め、2 つの「目的」を同時に満たすように動作し、Fig.7 の状態になった。

このように、実際は他の知的照明の動作情報は知らず、各知的照明で協調しあっているのではないが、システム全体で 1 つの知的照明では不可能な明るさである「目的」を満たすことができた。

5.3.2 シミュレーション 2

シミュレーション 2 では、ある知的照明が故障した場合による機能低下を残りの知的照明によって柔軟に対応し、与えられた「目的」を満たし続けられるかを確認する。設定として、シミュレーション 1 の対象人数 1 の場合 (Fig.5) において、知的照明 a₂ が故障した場合を仮定した。

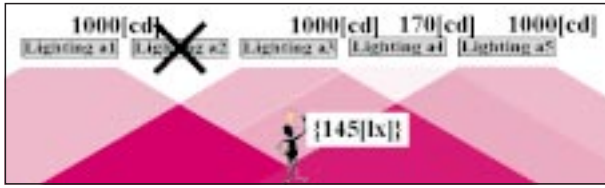


図 9: Situation of other intelligent lightings of simulation 2.

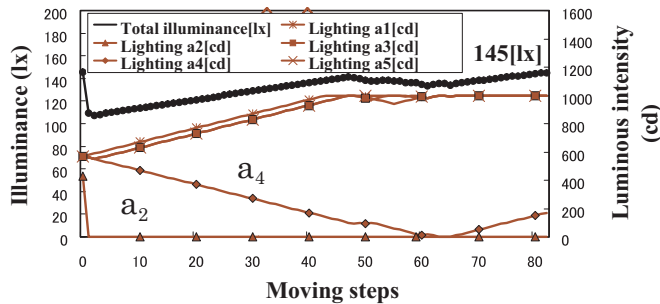


図 10: Relation between the moving steps, the illuminance and the luminous intensity of simulation 2.

Fig.9, Fig.10 から分かるように、知的照明 a₂ の故障した時点で人のいる場所の明るさは下がるが、すぐに残りの知的照明が、最適化アルゴリズムにより「目的」を満たすように調光していることがわかる。この他にも様々な対処パターンがあったが、必ず「目的」を満たし続けることができ、機器の故障時に起こる機能停止を他機器によって柔軟に対応し、補えることが確認できた。

6 結論

提案した次世代ネットワークシステムは、自律分散システムの技術を用いたものであり、新たに個々の機器を知的人工物とすることにより、全体としてより知的な作業を行うことのできるシステムである。

特徴として、機器のネットワークへの参入・離脱が容易である、機器の故障によるシステム全体の停止を防ぐ、フレキシブルなシステムの拡張性が挙げられる。さらに、1つの機器では不可能な作業を行うことができる、

機器の故障時に起こる機能低下を他機器により柔軟に対処できる。

知的照明システムにおいて極めて簡単な「目的」、判断基準および最適手法を用い、本システムの特徴である、1つの機器では不可能な作業を行える、ある機器の故障を他機器によって柔軟に対応できることが確認できた。

しかしながら、実現には多くの課題を解決しなければならず、特に各種プロトコルの問題、自律動作の最適手法の問題などがあり、今後の課題となる。今回は知的照明システムにおける基礎的検討を行ったが、今後はビル管理システム、交通システムなどの大規模なシステムにおいて本システムの有効性を検証していく。

参考文献

- [1] 豊田武二 『ビルの統合管理』(電設工業, 1997)
- [2] M.Miki and T.Kawaoka 『Design of Intelligent Artifacts』(A Fundamental Aspects, Proc.JSME International Symposium on Optimization and Innovative Design(OPID97), 1997)
- [3] 三木 『知的な人工物の設計』(日本機械学会誌, 1996)
- [4] 三木, 廣安, 香西 『知的人工物におけるシステム知能の水準について』(日本機械学会講演会論文集, 1998)
- [5] 松下公嗣 『最近の照明設計手法』(電設工業, 1997)