

知的人工物におけるシステム知能の水準について

On the Level of Systems Intelligence in Intelligent Artifacts

三木光範（同志社大） 廣安知之（同志社大） 香西隆史（同志社大院）

Mitsunori MIKI, Tomoyuki HIROYASU, Takashi KOZAI,

Doshisha University, Tatara-Miyakodani 1-3, KyoTanabe-shi, Kyoto

Recent artificial systems and equipment have been gaining intelligence or smartness, but the fundamental characteristics of such intelligence have not been clarified yet. Systems intelligence is the word for representing the intelligence built in intelligent artifacts, and it is different from the human intelligence. This paper deals with the consideration on the levels of the systems intelligence. Industrial patent database is used to investigate the levels, and it is found that there are 3 levels in the system intelligence according to the hierarchy of the sense-judge-act behaviors.

Keywords: intelligent artifacts, level of systems intelligence, smartness, design methodology

1. はじめに

最近のシステムは「感性化」、「インテリジェント化」、そして「共同化」の度合いを強めつつある⁽¹⁾。中でもインテリジェント化の流れは電子デバイス技術と情報処理技術の驚異的な発展に伴って最も進んでいると思われる。

このような人工物の知的化に関し、著者らは人工物に必要な知的性質の基本的な考察を行った⁽²⁾⁽³⁾。その結果、人工物の知的性質、すなわち知能は、人工物の機能や性能と並ぶ基本的な属性であり、それは人工物におけるパラメータを変化する環境に合わせて調節し、人間にとってより高い効用をもたらすために人工物に付与される属性であると考えられる。簡単に言えば人工物の運用と管理を自動化する能力であり、別の観点では人工物の環境インタフェースの高度化であるともいえる。

本論文では、知的人工物を設計する際に重要であると考えられる知的性質の水準について論じる。

2. 知的人工物の定義と知的性質

人工物 (artifacts) は人為的に作られた「もの」の総称である。本研究では、その中でも、建物、機械、自動車、航空機、計算機、通信網などといった工学的人工物を対象とする。これらの人工物は明確な目的を持ち、その機能や性能が評価できるからである。

筆者の一人はこれらの工学的人工物の知的性質に関する定義を、「人工物が、使われる環境や利用の仕方によって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ると定義

し、その人工物は知能を持つと考える⁽²⁾」と定めた。

この定義に従うと、マイコン制御の電気釜（人間に代わり火加減を調整）、ニューロ洗濯機（汚れの度合いを自動検出）、人間の入退出や窓側の明るさに応じ電灯のON/OFFを制御しているようなインテリジェント照明、利用形態に応じ柔軟に通信網構成を変化させることのできるインテリジェントネットワークなどは知的人工物であるといえる。また、一般的に知能という言葉は人間が持つような高度な知能を考えるが、本研究においてはどんなに単純でもここで定義した機能は知能であると考えられる。たとえば、バイメタルで構成される単純な温度調節器も一つの知的性質であり、これを備えた人工物は、それによってより高度な運用・管理ができていならば知能を有していると考えられる。

人工物が利用者を含む広義の環境条件の変化に対応して自身のパラメータを自律的に変化させるには、その環境条件の変化をセンスするための各種のセンサが必要である（認知）。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。この3つの要素はFig. 1で表すことができる。

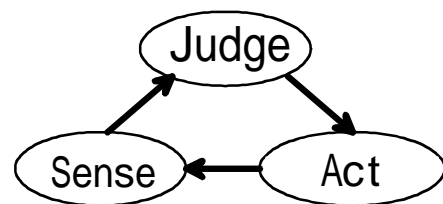


Fig. 1 Behavioral dissolution of intelligent characteristics in artifacts.

これら3つの要素の組合せが知的性質の発現機構であることはすでに多くの研究で述べられている⁽⁴⁾。しか

しながら、この図で表されるものは人工物の知的性質の挙動的分解であり、知的性質を発現する機構の構造要素の分解ではない。たとえば、サーモスタットは温度変化に対応して装置のスイッチを制御する機器であるが、そこには温度変化をセンスする要素とスイッチを動作させる要素はあるが、判断する要素は陽には存在しない。この場合、判断する要素はサーモスタット全体に分散的に埋め込まれていると考えることができる。

こうして、判断する動作要素は単独の電子デバイスである必要はなく、しかも外見的に判断という動作が認められるならば判断要素そのものが個別要素として存在していなくてもよい。これは人工知能とは大いに異なる点である。しかも、この場合の判断という動作は内部の状態を指すのではなく、外見的でよい。人間が見て、あたかも考えているような動作をすればそれで判断動作と考えることができる。ここでは、このような知能を一般的に定義される知能⁽⁵⁾と区別するためにシステム知能と呼ぶことにする。

3. 知的人工物の知能水準

人工物の知的性質の水準、すなわち、賢さは、判断動作のための基準の設定を階層構造として考えることができる。

センサによって得られた環境変化に関する情報を基に人工物のパラメータを変えるには判断のための基準が必要である。この基準が人工物の設計者もしくは利用者によって与えられる知的人工物はもっとも水準の低いものと考えることができる。これをレベル-0 とする。レベル-0 では与えられた判断基準が1通りしかなく固定的であるともいえる。たとえば、光の透過量に従ってその色を変化させるサングラスは、光の透過量と変化する色との判断基準が一通りであるので、レベル-0 の知的人工物であると考えられる。また、汚れセンサを有する全自動洗濯機でも、判断基準が一通りしかない場合には、レベル-0 の知的人工物であると考えることができる。

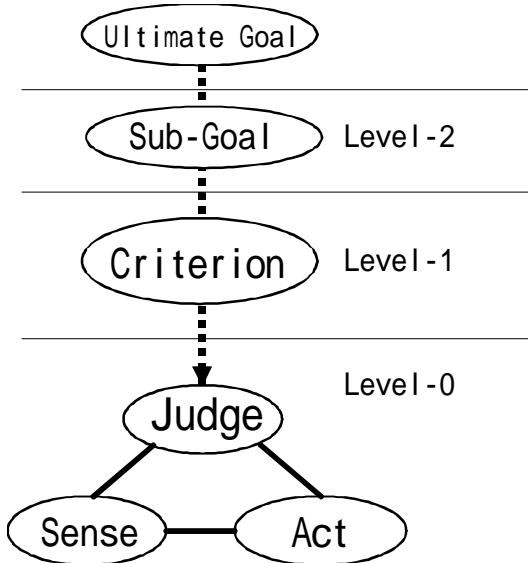


Fig. 2 Goal and criterion of intelligent attributes

もし、設計者や利用者が与える人工物の下位の目標によって、複数ある判断基準の中から適切な判断基準が自

動的に導出あるいは選択されるのであれば、その知的人工物はレベル-1 とする。また、学習機能を持った知的人工物は、学習により判断基準を複数個作成し使い分けると考えることから、レベル-1 の知的人工物である。

さらに、設計者や利用者が上位の目標を与えれば、複数ある下位の目標の中から適切な下位の目標が自動的に導出あるいは選択されるならその知的人工物はレベル-2 と考えることができる。この関係をFig. 2に示す。この階層構造が妥当なものであるかどうかを検証するために、時節に示すように知的人工物に関する資料を収集し、解析および検討を行った。

4. 具体例の解析

4.1. 調査資料の収集

本研究では、解析する資料対象として特許データベースを利用している。具体的には、特許庁発行の広報や企業発行の技術情報をインターネット上で情報を公開し提供している野村総合研究所による特許情報・技術情報サービス「NRI サイバーパテントデスク」⁽⁶⁾を利用し、公開特許を検索対象としてキーワード検索することにより情報を収集している。検索は、知的、賢い、自動、環境、適応、判断などの知的人工物のキーワードによって行っている。本検索によって、文献番号、筆頭 IPC、名称、出願人、特許内容の記述された明細書を得ることができる。

4.2. 調査例

人工物の知的性に関する特許を約 20 件収集し、詳しい解析を行った。ここではその中から 5 件について示す。

【例 1】 LV 0 環境調和ケーブル(実開平 5-73818)
 知的化の目的：ケーブルの色を可変にすることで、環境変化に調和する。

判断基準：気温変化。

知的性質の動作：気温変化を認知し、あらかじめ組み込まれている気温と色との判断基準から、適切な色に変化する。

解析：この知的人工物は、その物質特性を利用して環境変化を認知し、それに適した動作をとる。その判断基準は固定的であり、またただ一つである。このことから考えて、レベル-0 の知的人工物に分類できる。

【例 2】 LV-0 ガラス熔解層の温度制御システム(特開平 7-118022)

知的化の目的：ガラス熔解層内の温度を一定に保つ。従来の温度制御システムでは、熱伝達に遅延が生じ、安定化させることは困難である。したがって、熔解層内の温度を一定に保つことが目的である。

判断基準：熔解層温度と外部雰囲気温度

知的性質の動作：熔解層温度や外部雰囲気温度を槽窓温度の変動要因パラメータとして取り込み、あらかじめ定義された制御ロジックを用いてプロセス制御という動作をとる。

解析：知的性質の動作からもわかるように、判断基準となるパラメータを認知し、あらかじめ定義された制御ロジックにより判断し、プロセス制御という動作をとる。その制御ロジックは組み込まれたもので、状況に応じて使い分けられることはない。これは、プロセス制御はきわめて複雑な動きは行われるであろうが、知的性質としてはレベル-0 であると考えられる。

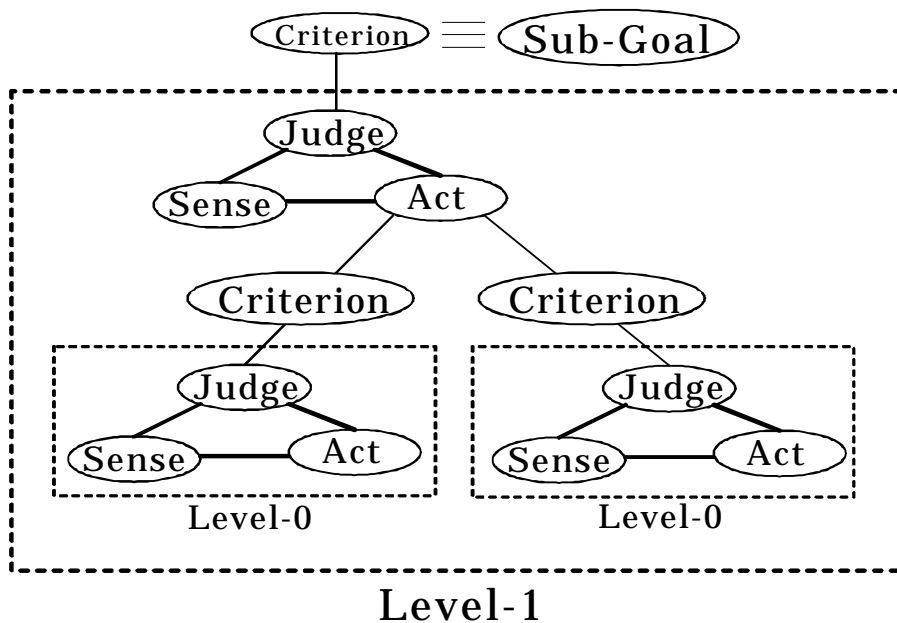


Fig. 3 Structure of level-1 intelligent systems

【例3】LV-0 アンチロックブレーキ装置(特開平9-267734)

知的化の目的: タイヤのブレーキ性能はスキッドする寸前が最も高い。そのため従来の自動車には、この状態を自動的に保持するシステムとして、ABS装置が搭載されている。しかし、ABS装置の電子制御部は温湿環境の厳しい車両のエンジンルーム無いに設置されるので、電子制御部の回路に結露が生じるという問題があった。そこで、この結露を自動的に検知し、結露の発生を防ぐ。

判断基準: プリント回路基盤上の結露

知的性質の動作: プリント回路基盤上の結露を検知し、ヒータによりこれを自動的に消滅させる。

解析: 人工物従来の目的である制動性能と操舵安定性という目標とは異なり、ABS装置自身の耐故障性を向上させるための知的性質を付加した人工物である。知的性質を並列化し、人工物の効用増やした人工物の例である。

【例4】LV-1 人体の温度調節器(特開平9-187473)

知的化の目的: 人体に直接冷却または加熱することで最適な温度調節を長時間にわたって提供する。

下位の目標: 人体に最適な温度を提供する。

判断基準: 人体の発汗量, 体温, 外気温

知的性質の動作: ユーザによってあらかじめ設定された目標温度を、外気温を検知することで人間の健康及び安全性を考慮して目標温度を再設定し、この目標温度が満足できるように動作する。

解析: 外気温に従い判断基準を変化させることで適切な動きをとる、レベル-1の知的人工物の例である。与えられた目標温度を単純に満足させるのではなく、外気温を考慮した最適温度に再設定して、冷却動作を行うところに、レベル-1の知的性が存在する。

【例5】LV-1 学習型ビデオカメラ(特開平5-137057)

知的化の目的: ビデオカメラ自身に学習能力を持たせることで、撮影環境や撮影被写体を判断する能力を向上させ、ユーザの好みにあった映像を得る。

下位の目標: 撮影時により高度な撮影を行う。

判断基準: 撮影環境や被写体の判断

知的性質の動作: 撮影素子が光信号を認知し、撮影環

境または被写体の種類を判断し、判断結果に応じて撮影環境や被写体に最適となるように信号処理回路の処理パラメータを制御する。

解析: 学習を用いて、あらかじめ組み込まれている判断基準を変化・追加するレベル-1知的人工物の例である。下位の目標を満足するために、あらかじめ用意されている判断基準を導出あるいは選択し、かつ学習を用いてその判断基準をよりユーザの好みに合わせた形に変化させ、撮影が最適となる動作を取っている。

4.3. 解析結果

例1, 例2, および例3の人工物では、判断基準は1種類で、かつ人間が直接与える。このため、レベル-0の知的人工物であると考えられる。一方、例4および例5では判断基準が変化する。例4では、センスした人体の発汗量, 体温, および外気温を基に最適な冷却方法を選択し、その後はそれに基づいて冷却動作が行われ、引き続きセンスする発汗量, 体温および外気温に関する判断を基に冷却動作の制御が行われる。すなわち、センスする環境ファクタは同じであるが、最初はレベル-1に相当する冷却方法の最適な選択のために用いられ、その後レベル-0の知的動作のために用いられる。これに対して、例5では、レベル-1に相当する最適な方法を決定するための動作とその方法を用いて、レベル-0の撮影動作を制御する動作とが連続して行われている。

これらの考察からわかるように、例4および例5で示した人工物はレベル-1の知的人工物と考えることができ、しかもレベル-1に相当する知的動作、すなわち最適な方法を決定する動作およびそのための環境ファクタのセンスが必要になることがわかる。またこうしてセンスされた情報から、最適な方法を決定する動作を選択するための判断も必要となる。このため、Fig. 2で示した構造はより詳細に考えるならば、Fig. 3のようになると考えられる。この図で示されるとおり、レベル-1の知的人工物では下位の目標が与えられたときに、判断基準を導出あるいは選択するために、認知・判断・動作のサイクルを持ち、動作の結果として判断基準を導出あるいは選択する。そして、導出あるいは選択された判断基準

を満足させるために、認知・判断・動作のサイクルを持つ。なお、レベル-0における動作はたとえば冷却や信号処理といった物理的な動作となるが、レベル-1における動作は最適な方法の選択であり、同じ動作といってもレベルによってその内容は大きく異なる。

一方、例2であげたシステムでは、温度調節のためのメカニズムはかなり複雑である。しかしながら、この動作要素が仮に知的なメカニズムを含んでいたとしても、システム全体の目標から考えれば、単なる動作要素にすぎないと考えられる。たとえば、最近の自動車には、きわめて知的な機構が多く含まれている。ABS（アンチロックブレーキシステム）やVSC（ヴィークルスタビリティコントロール）はそのよい例であろう。しかし、自動車全体で見ると、それらは単なる車輛制御システムの一部であり、自動車自体のシステム知能のレベルが高いことにはならない。したがってここで議論したシステム知能の水準は、そのシステムの直接の目標を基準にして考える必要がある。

また解析結果から、レベル-1にいくつかの種類が存在し、さらに分類が必要と考えられる。すなわち、下位の目標を基に複数の判断基準から最適な判断基準を選択するもの、学習により判断基準のパラメータを連続的に変化させるもの、やはり学習により新たな判断基準を発見し導出するもの、これら3つを組み合わせたもの、が存在しているようである。これについては、調査資料が不足しているために今後の課題とする。

現在までの調査では、レベル-0の知的人工物がその多くを占めている。これらの人工物を人間にとってより有効となるレベル-1の知的人工物にするには、複数個の判断基準を持つ必要がある。たとえば、例2で述べたガラス熔解層においては、融解するガラスの材質によって熔解層内の温度を変化させるなど、判断基準を増加させることが必要となるであろう。

また、これまでの調査ではレベル-2の知的人工物は見あたらなかった。第3節でも述べたように、レベル-2の人工物は設計者や利用者が上位の目標を与えれば、複数ある下位の目標の中から適切な下位の目標が自動的に導出あるいは選択するものである。つまり、人工物を操作するユーザの意図を推測して、人工物自身が下位の目標を設定するようなものが考えられる。たとえば、自動車であれば、運転者の運転パターンや路面状況から、運転者が経済性を追求して走行しているのか、機敏な動作を望んでいるのかなどの違いを見分け、それに応じて適切な知的動作を行うようなものが考えられる。将来的にはこのようなレベル-2の知的人工物が出現するものと考えられる。

一方、本研究の調査結果によれば、現在の知的人工物には、知能を階層的構造にするのではなく、並列構造にするものが多く見られた。これは、付加価値として新たな目標を持たせた場合に起こることである。たとえば、例2では、ABS装置を制御する電子制御部のプリント回路上に起こる結露を防ぐことで、ABS自身の信頼性向上を果たしているが、これはABS本来の自動車の制動制御とは異なる目標である。このように、旧来までの目標とは異なった目標を新たに持たせた人工物では、その知能水準が向上したとは考えられない。真に利用者にとって利益を与える人工物は、その知的水準が十分に向上することが必要である。

5. 結言

本研究では、知的人工物のシステム知能の水準について考察を行った。ここでの考察は、あるレベルからあるレベルへと変化するための普遍的な法則を導き出すことがその目的である。それによって、知的人工物を設計する上で、設計者に適切な指標を与えることができ、容易に知的人工物を設計することができる。と考える。

ここでの考察から、次のようなことが考えられる。

- 知的人工物は3つのレベルからなる知能水準を持ち、判断基準の導出あるいは選択方法により、レベル-0、レベル-1およびレベル-2となる。
 - レベル-1の知的人工物は判断基準を選択あるいは導出するために、上位の認知・判断・動作の3要素が必要である。
 - 学習手段を持つ知的人工物は判断基準を追加変更できることから、レベル-1のシステム知能の水準を持つ。
- なお、レベル-1の知的人工物には、判断基準の生成および選択に関しての分類が存在すると考えられる。これについては今後の課題とする。

参考文献

- (1) 西田, システムのフロンティア, 機誌, 98-921(1995), p.74
- (2) M.Miki and T.Kawaoka, Design of Intelligent Artifacts:A Fundamental Aspects, Proc.JSME International Symposium on Optimization and Innovative Design(OPID97), pp1701-1707, 1997-9
- (3) 三木, 知的な人工物の設計, 機誌, 99-928(1996),p.173-176
- (4) Albus, J.S., IEEE Transactions on Systems,Man,and Cybernetics, 21-3, (1991), 473-509
- (5) ベンジャミン B.ウォールマン, 知能心理学ハンドブック p193-194, 田研出版, 1992
- (6) 野村総合研究所, NRI サイバーパテントデスク, <http://www.patent.ne.jp/>
- (7) <http://www.robotics.is.tohoku.ac.jp/robomec98/program.html>