

Universal Abduction Studio の開発 (第 10 報)

— 対話型進化的計算法に基づく仮説的な設計知識の生成手法の提案 —

東京大学 ○森本憲悟, 首都大学東京 下村芳樹, 北海道大学 吉岡真治
国立情報学研究所 武田英明, 東京大学 上田次次

Development of Universal Abduction Studio (10th report)
The University of Tokyo Kengo MORIMOTO, Tokyo Metropolitan University Yoshiki SHIMOMURA
National Institute of Informatics Hideaki TAKEDA, Hokkaido University Masaharu YOSHIOKA
The University of Tokyo Kanji UEDA

It is important to unify different knowledge groups, which exist independently, and to extend knowledge gradually in order to obtain creative design solutions that are not obtained only with the existing design knowledge. With the aim of development of "Universal Abduction Studio", which is a system supporting creative design, we propose a method for creating hypotheses through interactions between designer and machine. We develop a prototype system and demonstrate that the system can create new ideas.

はじめに

著者らは設計における創造性の理解とその計算機による支援を目的とする研究を行っており, その一環として統合的推論環境 Universal Abduction Studio (UAS) [1]の構築を目指している. 本研究では創造的設計を, 「ある設計問題において, その設計対象に関する領域知識だけでは解決できないような課題が発生した場合, それまで対象としていた領域知識とは異なる領域の知識を発見し, その両者を統合的に用いることにより課題を解決する設計」と定義する. 設計者が設計において異なる領域知識の中から課題に有効な知識を発見することは難しい. それを困難にしている理由として, 設計者の持つ知識が少数の領域に集中していることや, ほとんどの場合で異なる領域の知識がそのまま課題に適用可能な形で存在していないことが挙げられる. そのため潜在的に適用可能な異領域知識の探索および適用可能な形への変換を支援する必要がある.

そこで本稿では異なる領域の知識から潜在的に適用可能な知識を探索し, その知識から課題に対して適用可能な仮説的知識を生成する手法を提案する. また本手法を実装したプロトタイプシステムを構築し, その有効性を検証する.

仮説的知識生成手法

アナロジーによる生成

提案する手法は知識生成のためにアナロジーを利用する. アナロジーは属性や構造, 高次の関係の類似からよく知る領域 (ベース) の事柄をよく知らない領域 (ターゲット) の事柄に当てはめて行う推論である.

アナロジーにおいて重要なプロセスが写像と正当化である. 写像ではベースとターゲット間に適切な対応関係を生成し, ベースの要素をターゲットに転写する. その結果として仮説的な知識が得られる. 正当化では写像で得られた仮説的な知識が妥当であるかを判断する. なお正当化を経る前の妥当性の保証されない知識を仮説的知識と呼ぶことにする. アナロジーの主な計算可能モデルとして構造写像モデル[2]や多重制約モデル[3]が挙げられるが, これらは主に写像における対応関係の生成に関する知見を与えるものであり, その結果生成される仮説的知識の評価, つまり正当化に関してはほとんど言及していない. 創造的設計のための知識統合を支援するためには, 生成された知識が設計者に対して異なる視点を与えるものかどうかを評価する仕組みが必要になる.

対話型進化的計算法によるインタラクション

以上を踏まえ本稿では, 知識統合プロセスに設計者を評価系として組み込み, 創造的設計に必要な知識を生成する手法を提案する.

本手法は課題や不完全な知識として与えられるクエリ (処理要求) をアナロジーのターゲットとして捉え, これをアナロジー理論を用いて補完することで, 問題解決に有効な仮説的な知識を作り出す. なおアナロジーのベースとなる知識は領域毎に知識ベースに蓄えられているものと仮定する.

本手法は対話型進化的計算法 (IEC : Interactive Evolutionary Computation) [4]の一つである対話型遺伝的アルゴリズム (IGA : Interactive Genetic Algorithm) に基づいて仮説的知識を生成するためのものである. EC (Evolutionary Computation) とは生物の進化のメカニズムをまねてデータ構造を変形, 合成, 選択する手法であり, 主なものとして遺伝的アルゴリズム (GA : Genetic Algorithm) や遺伝的プログラミング (GP : Genetic Programming) が挙げられる. IEC は人間の主観的評価に基づいてシステムを最適化させる技術であり, 評価関数を人間に組み込んだ EC 技術であり, IGA は GA を対話型に拡張したものである. 本手法ではユーザを仮説的知識の生成過程に評価系として積極的に計算機とインタラクションさせることにより, 創造的設計を導くために有効な仮説的知識の生成を図る.

仮説的知識生成プロセス

本手法は以下の六つのプロセスからなる (図 1).

- (1) クエリの入力
- (2) 領域の選択
- (3) 対応関係の生成
- (4) 対応関係の評価
- (5) 仮説的知識の生成
- (6) 仮説的知識の評価

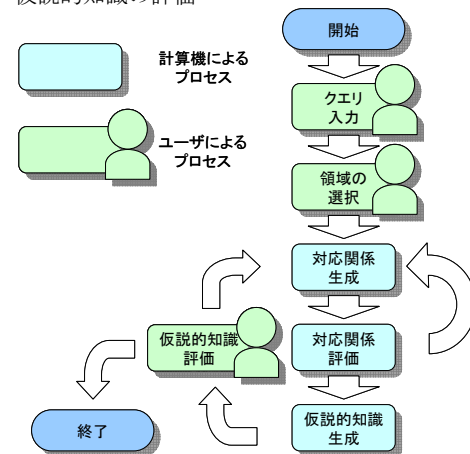


図 1 仮説的知識生成プロセス

まずユーザは課題としてクエリを作成し入力する. 次にユーザはアナロジーのベースとなる領域を選択する. 実際には領域ごとの知識ベースを選択する. その後, 計算機が対応関係の生成・評価, 仮説的知識の生成を行い, 複数の仮説的知識を提示する. ユーザは提示された仮説的知識を評価し, 得られた仮説的知識に応じて終了もしくは再計算を選択する.

知識・クエリの表現

本手法で扱う知識は「命題とその有向の関係による記述」とする. 設計に利用される形式知[5]には設計手順や因果関係, 機能展開[6]のようにこの形式で記述できるものが少なくない. 命題は内部構造を持っており, 対象と述語, 属性, 修飾子に

よって構成される。「対象」はモノを、「述語」は対象同士の関係を表し、対象と述語の関係は格によって指定される。「属性」は対象の持つ属性を表し、「修飾子」は対象および述語の文脈的・付加的な性質を表す。図2は3DCADを用いた自動車用ホイールキャップの設計手順の一部を示した知識例である。命題から伸びる破線領域の要素は、その命題を構成していることを表す。

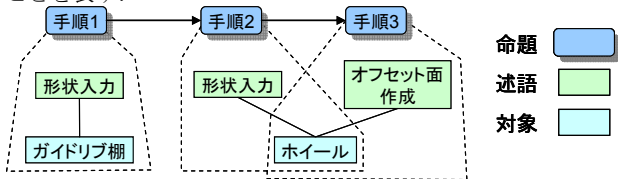


図2 知識例(設計手順)

上記のように知識を定義すると、アナロジーの「高次の関係は保持される」[2][7]という観点から知識生成は演繹型、アブダクション型、帰納型の三つの形態に大別することができる。クエリは命題およびその関係によって記述され、推論対象の命題およびその推論形態が指定される。図3はクエリの「命題1」と「命題2」がそれぞれ知識の「命題A」と「命題B」に対応する場合のそれぞれの補完の様子を示したものである。演繹型では対象とする命題の後件部が、アブダクション型では対象とする命題の前件部が、帰納型では対象とする命題間の関係がアナロジーの転写によって補完されている。

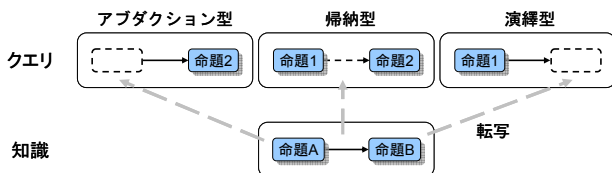


図3 知識生成の三形態

対応関係生成と評価

対応関係生成プロセスではクエリと知識ベースに蓄えられている知識の要素間に対応関係を生成する。そして評価プロセスでは対応関係の評価値を計算する。全体の評価値はアナロジーに関する評価値とユーザ評価の予測値の重み付き和として表現される。ユーザ評価の予測値とは、対象の対応関係から生成される仮説的知識が後述の仮説的知識評価プロセスでユーザから高評価を得るかどうかを予測した値である。予測値を導入することにより、単純にクエリと類似した知識との対応関係だけでなく、ユーザが高い興味を示す可能性の高い対応関係を生成することが可能となる。

対応関係生成と評価のプロセスはGAによって実装され、一つの個体はクエリと一つの知識との間の対応関係を表す。対応関係は構造写像理論に基づき一対一対応で、同じ種類の要素間のみの対応を許すものとする。また命題、対象、述語のみを対応付けるものとする。

対応関係生成プロセスにおいて、初期個体はクエリの要素と知識ベースからランダムに選出された知識の要素との間のランダムな対応関係である。個体は評価プロセスで評価値が決定される。終了条件が満たされない場合は、対応関係生成プロセスに戻り、評価値をもとに選択が行われ、GAオペレータ(突然変異, 交叉)の結果、次世代の集団が生成される。このサイクルにより、評価値の高い対応関係が数多く生成される。

後述のプロトタイプシステムではアナロジーに関する評価値として対応付けられた要素の概念距離や属性の類似、構造的な一貫性など定式化可能な指標を利用した。ユーザ評価の予測値には後述の仮説的知識評価プロセスで過去に高評価を得た対応関係との類似度を用い、終了条件は世代数で、GAのサイクルに入る前にユーザが適宜設定できるようにした。

仮説的知識生成

仮説的知識生成プロセスでは対応関係を表す個体から指定された推論形態に合わせて仮説的知識を生成する。一つの個体からは一つの仮説的知識が生成される。

プロトタイプシステムでは知識に独自にタグ付けされた自然言語による知識の内容に関する記述を付加した。生成され

る仮説的知識はグラフ構造の他に、元になった知識の記述を変換した、人間に可読な記述によって構成される。

仮説的知識評価

仮説的知識評価プロセスでは前プロセスで生成された仮説的知識がユーザに提示され、それらをユーザが評価する。

ユーザの満足する仮説的知識が得られれば終了となり、仮説的知識の検証や利用へと進む。満足する仮説的知識が得られなければ再び仮説的知識生成プロセスに戻る。前述のようにここで評価は対応関係の評価に反映される。

プロトタイプシステムでは前プロセスで生成された自然言語による記述と対応関係、類似度、評価予測値が提示され、評価は2段階評価とした。

仮説的知識生成手法の検証

前述の仮説的知識生成手法を実装したプロトタイプシステムを開発し、その効果を検証した。

ここでは例題としてサービス設計[8]における機能展開の知識を利用して、仮説的知識生成を試行した。仮説的知識の評価画面を図4に示す。本検証の結果、設計者はプロトタイプシステムとのインタラクションを通して、仮説的な設計知識を獲得可能であることを確認した。

仮説的知識の選択



図4 仮説的知識の評価画面

結論

本稿では創造的設計を支援するための仮説的知識生成手法を提案した。また本手法を実装したプロトタイプシステムを開発し、有効な仮説的知識が生成可能であることを示した。

参考文献

- [1] 下村芳樹, 坂井宏充, 野間口大, 吉岡真治, 武田英明, 富山哲男: Universal Abduction Studio の開発 (第1報) -Universal Abduction Studio の基本構想-, 2003 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, p. 22 (2003).
- [2] Gentner, D.: Structure-Mapping: A Theoretical Framework for Analogy, Cognitive Science 7, pp. 155-170 (1983).
- [3] Holyoak, K. J. and Thagard, R.: MENTAL LEAPS Analogy in Creative Thought, the MIT Press (1995).
- [4] Takagi, H.: Interactive Evolutionary Computation: Fusion of the Capacities of EC Optimization and Human Evaluation, Proceedings of the IEEE, Vol. 89, No. 9, pp. 1275-1296 (2001).
- [5] Nonaka, I. and Takeuchi, H.: The Knowledge Creating Company, Oxford University Press (1995).
- [6] Shimomura, Y., Yoshioka, M., Takeda, H., Umeda, Y and Tomiyama, T.: Representation of Design Object Based on the Functional Evolution Process Model. In Journal of Mechanical Design, Vol. 120, the American Society for Mechanical Engineering (ASME), pp. 221-229 (1998).
- [7] Winston, P. H.: Learning and Reasoning by Analogy, CACM, Vol. 23, No. 12, pp. 689-703 (1980).
- [8] 坂尾知彦, 渡辺健太郎, 野間口大, 下村芳樹: サービス工学に基づくサービス CAD システムの構築 (第2報) -サービスのモデリング手法の提案-, 2003 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, pp. 33 (2003).