

TM-0186

物理法則に基づいた
定性的推論

大木 優, 古川康一

August, 1986

©1986, ICOT

ICOT

Mita Kokusai Bldg. 21F
4-28 Mita 1-Chome
Minato-ku Tokyo 108 Japan

(03) 456-3191~5
Telex ICOT J32964

Institute for New Generation Computer Technology

物理法則に基づいた定性的推論

大木 優、古川康一

(財団法人 新世代コンピュータ技術開発機構)

1. はじめに

人工知能の目標の1つに、人間に近い能力を持ったコンピュータの実現がある。しかし、このためには人間の種々の能力をコンピュータ上に実現しなくてはならない。そのような人間の能力の1つに「理解」する能力がある。人間の多くの能力、問題解決や学習などは理解した上で行なわれていると考えられ、コンピュータに問題解決や学習を行なわせる場合も対象領域を理解する能力を実現した上で行なうべきであろう。コンピュータが対象とすると思われる領域の中で、物理の世界は、応用上重要な対象領域の1つであると考えられる。物理の世界での理解の第1歩は、ある時刻の物の関係を把握できること、及び次の時刻で何が起きるかを予想できることと考えることができる。ここでは、コンピュータに物理の世界を理解させる研究の第1ステップとして、物理法則に近い知識を使い、与えられた初期情報から物理システムの状態の時間的遷移を推測する推論システムについて考える。

人間が物理の世界を究極的に理解しようと思ってもquarkの世界以降、まだ説明がつけられていないので究極的に理解することはできない。ここでは理解のレベルを物理の教科書などに書かれている物理法則に留め、本推論システム(以降Qupras:Qualitative Physical Reasoning System(仮称)と呼ぶ)は、物理法則に基づいて

- (1)物理システムを構成するオブジェクト(物)間の関係、
- (2)次の時刻に系全体として何が起るかの状態の遷移、を推測する。

Quprasは、①物理法則、②オブジェクト(物)、の2つの知識を使って、定性的推論(1)(2)を行ないながら、オブジェクト間の関係や状態の遷移を推測する。

2. Qupras

2.1 Quprasの構成

Quprasは大きく分けて表現部と推論システムからなる。表現部はオブジェクトと物理に関する知識を表現しており、推論システムはオブジェクトと物理の知識を使ってオブジェクト間に成り立っている物理や次に何が起るかを推論する。表現部と推論システムの概略構成を図1に示す。

オブジェクトの表現は適用条件と関係式から成り、適用条件はオブジェクトが存在するための存在条件に相当する。また、関係式はオブジェクトが存在する時に成り立つ物理量(オブジェクトの属性値)に関する関係式である。物理法則の表現はオブジェクトと適用条件、関係式から成り、オブジェクトは物理法則が適用されるために必要なオブジェクトを示している。適用条件は物理法則が適用されるための適用条件であり、関係式は物理法則の式そのものに対応する。

推論システムは大きく分けて定性的推論を行なう部分と数式評価を行なう部分とから成る。ここで言う定性的推論は、2つの推論から成る。1つはある時刻(又は時間区間)の物理の

世界の状態を見つける(propagate)推論で、もう1つは時間的に変化する量を見つけ、与えられた事実を更新する(predict)推論である。

物理法則は一般に定量的な式で記述されているため、Quprasでは従来の定性的推論と異なり、定性的にも定量的にも式を評価することを可能にした。そのため、数式評価は関係式を定性的及び定量的に評価する。定量的に数式を評価する利点は、定性的な量の扱いの欠点を避けることができることである。それは、すべての量を定性的に扱うとすると、定量的な値がわかっている場合でも定性的に取り扱うため、情報をわざわざ捨てることがあり、情報の欠落より次の状態を推測(predict)することのあいまいさが増すことがあることである。また、物理現象を理解する上でも、定量的な扱いを必要とする場合がある。例えば、電池を理解していると、懐中電灯などで電池を直列に2倍に増やすと懐中電灯の明るさが2倍になることを容易に推論できるようになる。

2.2 Quprasの表現のシンタックス

Quprasの表現には、オブジェクトと物理法則を表現する以外に初期状態を決定する表現プリミティブから成る。適用条件で記述できるものは、2つの物理量の関係及びtermで表わされた事実である。物理量はオブジェクトの属性値として表現される。関係には等号(=)、不等号(<,>)、符号のみ等しい(=:), 符号が異なる(<:>), 大小関係(>,>=,<,<=)などを指定できる。関係式として記述できる式は、物理法則の式に対応し、適用条件での記述に比べて右辺に一般の数式を記述できるように拡張されている。オブジェクトのインスタンス(特定されたオブジェクト)はPrologの変数で表わされ、属性値を示す場合は、属性名@インスタンス変数、で表わし、部品(part)を表わす場合は、部品名!インスタンス変数、で表わす。また、属性値の時間微分はddt(属性値)と記述する。

表現部	(1)オブジェクト:物の表現 ① 適用条件 ② 関係式 (2)物理法則の表現 ① オブジェクト ② 適用条件 ③ 関係式
	(1)定性的推論 ① propagate ある時刻の物理現象の状態を見つける。 ② predict 変化する量を見つけ、事実を更新する。 (2)数式評価 関係式を定性的定量的に処理する。

図1 Quprasの構成

2.3 Quprasの処理概要

Quprasでは、実行効率を上げるために、2.2で述べた表現形式を中間形式に変換し、推論システムに入力する。推論システムは、中間形式に変換された初期状態の事実(facts)を基にpropagateとpredictの推論を行なう。propagateでは、与えられた事実を満足するようなオブジェクトとオブジェクト間に成り立っている物理法則を見つける。これは、与えられた事実を使って物理法則やオブジェクトの適用条件が成立するかを調べることによって行なわれる。また、predictでは、propagateで求めた状態から時間的に変化する属性値を捜し、その中から今まで適用条件が成立していなかった、物理法則などの適用条件が新しく成立する可能性のある値を見つける。その値は次の時刻での属性値の値や範囲となる。その次に、これらの値や値の範囲を基にして、最初に与えられた事実を更新する。そして、これらの処理を次の状態が生成できなくなるまで繰り返す。propagateやpredictでの適用条件の評価などには数式評価ルーチンを使う。なお、QuprasはPrologで実現されている。

3. 例及び実行結果

簡単な物理系であるボイラを例にして、Quprasの表現及び実行結果について説明する。ここで考えるボイラは、熱源の上にコンテナがあり、その中に水が入っているような簡単なものである。ボイラ自体は図2の(1)のように記述され、ボイラはコンテナと熱源から成り、コンテナは熱源の上にあることや、熱源の温度はコンテナの融点よりも高いことなどが関係式として表わされている。このボイラに係る物理の知識は全部で7つあり、例えば、熱源とコンテナ間の熱移動の物理法則は図2の(2)の形で表わされている。これは、コンテナが熱源の上にあり、熱源の温度がコンテナの温度が高かったならば、コンテナの熱の時間的変化はその温度差と符号が同じであることを表わしている(詳しい式が分からないため、物理法則が定性的に表現されている)。実際にボイラの挙動を推測するには、初期状態での水の容量が正であるとか、水の温度が10度であるとか、などの初期状態としての事

```
objects boiler:Boiler
  parts_of
    Container - container ;
    Heat_source - heat_source ;
  relations
    on(container!Boiler,heat_source!Boiler) ;
    melting_point@container!Boiler <
      heat_temperature@heat_source!Boiler ;
end.
```

(1) オブジェクト"ボイラ"の記述

```
physics heat_flow
  objects
    Container - container ;
    Heat_source - heat_source ;
  conditions
    on(Container,Heat_source) ;
    heat_temperature@Heat_source >
      temperature@Container ;
  relations
    ddt(heat@Container) :=:
      heat_temperature@Heat_source -
      temperature@Container ;
end.
```

(2) 物理"熱移動"の記述

図2 ボイラに関する記述

初期状態

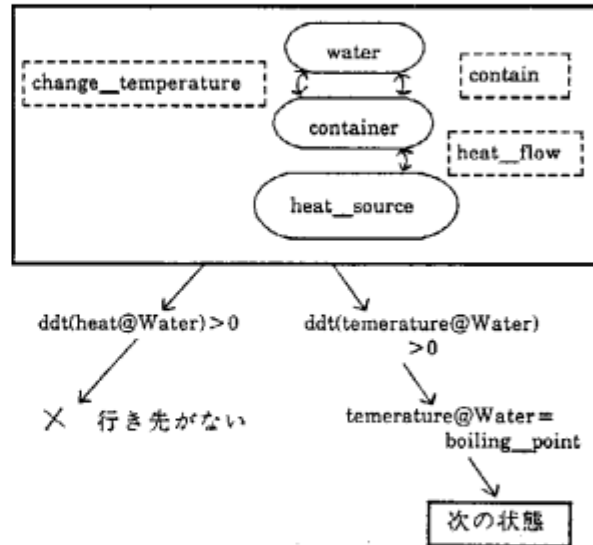


図3 ボイラの状態遷移

実が必要である。これらの初期状態の事実はinitial_stateを使って設定される。初期状態の事実や関係式は定量的以外に定性的に表わしてもよい。

図2のような知識を使って、Quprasは、各状態のオブジェクトの関係を把握して、次の状態を予測する。図3に、初期状態でのオブジェクト間の関係及び時間的に変化する物理量とその物理量変化した値を示す。図に示すように初期状態では、3つのオブジェクト(丸で囲ってある)があり、それらのオブジェクトの間にはheat_flowなどの物理法則(点線で囲ってある)の関係があることを推論する。このような関係がわかると、時間的に変化する物理量を求めることが可能となる。初期状態ではtemperature@Waterとheat@Waterが時間的に変化する物理量であることがわかるが、heat@Waterは変化する先の値がわからないため、次の状態を予測できない。一方、temperature@Waterは、変化する先の値が水の沸点であることがわかり、次の状態では、水の温度は10度ではなく、沸点となる。そして、Quprasは、水が沸点に達した後、すべての水が蒸発し、最後にコンテナの温度が融点に達することを予測する。

4. おわりに

本稿では、物理の世界をコンピュータに理解させる第1ステップとして、定性的推論を使い、物理法則に近い記述を基にしてオブジェクト間に成り立つ物理法則や次に何が起こるかを推論するシステムについて述べた。今後、記述能力の向上を図り、物理システムの故障診断等に応用していきたい。

参考文献

- 1) de Kleer, J. and Brown, J.S. : A Qualitative Physics Based on Confluence, Artificial Intelligence 24, 7-83, 1984
- 2) Forbus, K.D. : Qualitative Process Theory, Artificial Intelligence 24, 85-168, 1984