1D－7　機器配置システムの設計のための制約論理型言語*

漆島賢二　鶴島 彰　長谷川高志　斎藤宗昭
セコム(株) セコムIS研究所

1 はじめに

我々が開発を行なっている警備機器選択配置エキスパートシステム ESSPL [鶴島88] の機器配置部を構築するために制約論理型言語 CONTA [1] の開発を行なっている。本発表では、設計型問題を解くシステムを構築するための言語 CONTA についての概要を述べる。

2 警備機器配置問題

我々が開発を行なっている警備機器選択配置エキスパートシステムとは顧客物件の建屋情報をもとに、コスト最小化・安全性最大化・誤報率最小化という3つの目的間のトレードオフを考えながら、警備システムの構成決定を支援するシステムである。

警備機器の配置問題とは機器仕様にもとづく設置上の制約と建屋・家具等の位置・形状による制約から設置可能な範囲を求めることである。

制約は以下に示すように数量的情報で表現される。
「設置高さは床面から $2m \sim 3.5m$ 」 $\Rightarrow 2 < x < 3.5$
「設置角度は $30° \sim 90°$ 」 $\Rightarrow 30° < \theta < 90°$

制約の多くは、大きさや位置や角度といった数量的な情報を含むものであって、ルール的な表現よりは数式を用いる方がわかりやすく、扱いやすいので有効である。

制約論理プログラミングでは上記の様な制約を手続きを意識することなく宣言的に表現でき制約の解決は処理系にまかせることができる。

このために、配置設計の有効な手段となる。

3 CONTA 開発方針

機器配置システムを構築するために制約論理型言語に要求されることは、

- 少なくとも非線形方程式、線形不等式を制約式として扱い、これらの制約式を能動的に解決する機構をもつ言語である。
- Logic Programming の自然な拡張であるような表現にする。

以上のことを目標に制約論理型言語 CONTA の開発を行なっている。

4 特徴

4.1 さらに広い領域を扱う制約論理型言語

工学の分野では数多くの関数が用いられるのでシステム構築には、能動的に処理される制約式の領域が広いほど記述力が向上される。CONTA では、非線形方程式と線形不等式という広い領域の式を制約として扱い、解くことが可能である。

4.1.1 CONTA の扱う領域

CLP language として CONTA の扱う代数式の領域を以下に定義する。S を群の有限集合、F を関数記号の集合、C を制約記号の集合、P を predicate の集合、V を変数の集合とすると、以下のように表現される。($\mathcal{A}$ は代数的数の集合である。)

$$
\begin{aligned}
S &= \{\mathcal{A}\} \\
F &= \{\times : \mathcal{A}\mathcal{A} \to \mathcal{A}, + : \mathcal{A}\mathcal{A} \to \mathcal{A}, \\
&\quad\ - : \mathcal{A}\mathcal{A} \to \mathcal{A}, / : \mathcal{A}\mathcal{A} \to \mathcal{A}\} \\
C &= \{=, <, >, >=, <=\} \\
P &= \{\ \_ \text{で始まらない文字列}\ \} \\
V &= \{\ \_ \text{で始まる文字列}\ \}
\end{aligned}
$$

4.1.2 非線形方程式で表される制約の処理

非線形方程式は Buchberger アルゴリズム [相場89] を用いて処理され、簡約化される。これは、多項式におけるグレブナ基底を求めるアルゴリズムあるが、グレブナ基底は制約の最も簡約化された形としての条件を満足するので、このアルゴリズムを制約解決機構として用ることが可能である。

他の方程式制約解決機構には置換法(消去法) [川村87] がある。置換法は、述語 freeze により遅延評価を行ない、値を求めることが可能になるまでその評価を遅延するという手法である。

この手法は単一化の拡張により実現できるので Prolog に対して最も自然な方程式制約解決機構であると思われるが TAO の Logic Programming で使用可能なスタック領域は限られているため、バックトラックを比較的多く必要とするような解決機構を用いることはできない。

そこで遅延評価機構を必要としない Buchberger アルゴリズムを採用した。

---

*Constraint Logic Programming Language for the Design of the Senser Positioning System
Kenji URUSHIMA, Akira TSURUSHIMA, Takashi HASEGAWA, Muneaki SAITOH
SECOM Intelligent Systems Laboratory, SECOM Co.,Ltd.

[1] CONstraint logic programming language in TAo

4.1.3 線形不等式で表される制約の処理

線形不等式の処理には、代表的なアルゴリズムである Shostak により開発された Sup-Inf 法 [Shostak77] を用いた。

これは線形連立不等式の各変数の上限値と下限値を求め、求められた上限と下限の間に矛盾があるかどうか調べることにより不等式を解くアルゴリズムである。

4.2 整数、実数の取り扱い

CONTA の制約解決系は、扱っている式が小数値を含むまでは、以下のように係数の計算は全て分数として扱っている。

```
;; 複素数のかけ算
(assert (c_mult (c _R1 _I1) (c _R2 _I2) (c _R3 _I3))
        (_R3 = _R1 * _R2 - _I1 * _I2)
        (_I3 = _R1 * _I2 + _R2 * _I1))

Tao>(cgoal (c_mult (c r i) (c 10 50)(c 20 50)))
((i = -5 / 26)
 (r = 27 / 26))

Tao>(cgoal (c_mult (c 5.2 2) (c r i)(c 3.4 5.6)))
((i = 0.62722)
 (r = 0.95161))
```

問題を定式化した表現においては式の係数が整数や分数となることが多いので、結果として返される制約集合は分数あるいは整数の係数でないと、その式の持つ物理的意味がイメージできないので上記の手法を用いた。

5 CONTA の構成

CONTA の構成は図 1 のように示される。

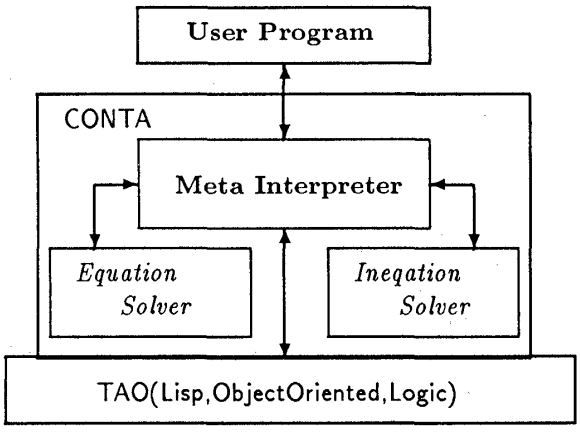

図 1: CONTA の構成

5.1 CONTA のプログラムの評価

CONTA はマルチパラダイム言語 TAO の Logic Programming を用いて記述されたインタープリタである。

インタープリタの制御を行なう部分 (メタインタープリタ) は、CONTA で記述されたプログラムを評価し、方程式のセットと不等式のセットを生成しこれら 2 つの制約集合を制約解決系が操作しやすい形 (正準型) に変換する。TAO の Logic Programming では一般の Prolog 処理系のように演算子順位文法の reader を持たないので、このような処理を行なう必要がある。

そして、不等式制約集合が空ならば、制約集合は非線形方程式制約解決系に渡され、方程式制約集合が空ならば、制約集合は線形不等式制約解決系に渡され、両者が空でないならば、方程式制約集合が非線形方程式制約解決系に渡され、その結果が不等式の制約集合を満足するか評価しユーザに制約集合を提示する。

制約集合が両者とも空ならば制約評価系は真を返す。

6 おわりに

非線形方程式の制約解決に Buchberger アルゴリズム、線形不等式の制約解決に Sup-Inf 法を用いた制約論理型言語 CONTA の TAO/ELIS 上での実現を試みた。

今後の課題として以下の項目が考えられる。

1. 現状では代数を扱う関数として四則演算のみに限定した非線形方程式と線形不等式の解決機構を用いているが 、工学的な知識を扱うには三角関数や対数関数など様々な関数を扱える必要がある。そこで、さらに強力な制約解決アルゴリズムの開発を行う。
2. 警備機器選択システムでは、コスト、安全性などのトレードオフを考えた多目的推論を行なっている。これには線形計画法を応用した推論方式が用いられている。不等式を扱う制約論理型言語では線形計画問題のより自然な記述が可能であると思われるので適用していきたい。

機器選択配置システムの評価によってフィードバックされる要求をもとに CONTA を改良を進めていく予定である。また、制約論理型言語は様々な分野での応用が期待されるので設計問題以外にも適用していきたい。

参考文献

[鶴島 88] 鶴島、斎藤. 機器選択配置エキスパートシステムの設計. In 第 37回 情報処理学会全国大会 (後期) 講演論文集, 1988.

[川村 87] 川村、大和田、溝口. CS-Prolog: 拡張単一化に基づく CONSTRAINT SOLVER. In *Proc. of The Logic Programming Conference '87.*

[相場 89] 相場. 制約論理型言語 CAL について. In 人工知能学会誌 *Vol 4, No.3 1989, p304-p307.*

[Shostak77] R. E. Shostak. On the SUP-INF Method for Proving Presburger Formulas. Journal of ACM, No.24, 1977, p529.