

공작기계 구조형태계 설계전문가 시스템을 위한 추론 메커니즘 Inference Mechanism for Configuration Design Expert System of Machine Tools

박지형, 강민형, 차주현, 박면웅 (한국과학기술연구원, CAD/CAM 연구 센터)
Ji-Hyung Park, Min-Hyoung Kang, Joo-Heon Cha, Myon-Woong Park
(Korea Institute of Science and Technology, CAD/CAM research center)

ABSTRACT

As a part of the configuration design expert system of machine tools, inference mechanisms are constructed in this paper. In addition to procedural inference, the method of multivariable inference is considered as an efficient approach to deal with the cases of highly coupled condition. We propose a generalized multivariable inference procedure. The procedure is applied to the type selection module of the configuration design expert system of machine tools in order to demonstrate the efficiency and validity.

1. 서론

공작기계의 설계는 전문적인 설계 지식과 경험을 요하는 고도의 지적인 작업으로서 특히 역학적 해석이 필요함과 함께 표준 부품의 이용이 빈번하며 현재까지 축적되어 온 지식의 원용이 필수적이다. 따라서, 설계전문가 시스템의 적용에 의해 정형화된 반복 작업의 부담을 경감시킴으로써 설계 작업의 효율화와 신제품 개발 기간의 단축 효과를 얻을 수 있다.⁽¹⁾⁻⁽⁵⁾ 공작기계 설계전문가 시스템은 머시닝 센터의 설계 전과정, 즉 사용자 요구 사항으로부터 기종을 선택하고 전체적인 기하학적 구조를 결정하며 주축계, 구동계, 이송계 등의 기능적 단위들의 사양을 산출함으로써 세부 설계를 수행하고 각 단계의 설계 결과를 해석하여 설계 사항을 수정하는 과정들을 수행할 수 있어야 한다. 이를 위한 기초 연구로서 공작기계 설계를 위한 설계 지식으로부터 지식 베이스를 구성하기 위하여 공작기계 설계의 제반 활동에 관련된 추론 메커니즘을 고찰한다.

설계 전문가 시스템의 구축을 위해서는 설계 경험 및 노하우의 지식 베이스화가 필수적이다. 그러나 공작기계의 설계에 필요한 설계 지식들은 그 구성과 지식들 사이의 상관 관계가 매우 복잡하므로 단순한 규칙 베이스의 형태로는 효과적으로 표현하기 어렵다. 그러므로, 이러한 설계 지식들을 충분히 표현하기 위해서는 추론의 절차가 순차적 추론과 다중 변수 추론으로 구별되어야 한다.

순차적 추론은 IF ~ THEN 형식으로 표현되는 규칙에 의해 이루어지며 의사 결정 나무(decision tree) 또는 의사 결정 도표(decision table)에 의해 모델링할 수 있으므로 전통적인 지식 베이스 구성에 의해 용이하게 구현할 수 있다.

다중 변수 추론은 긴밀하게 연관된 여러 가지 변수를 동시에 고려하는 추론으로서 순차적 추론으로 환원될 수 없는 경우에 해당한다. 이 경우의 추론은 연관된 여러 가지 변수로 구성된 해공간에서 사용자 요구 사항을 가장 잘 충족하는 해를 찾아내는 것을 목표로 하며 사용자 요구 사항의 충족 여부를 평가하는 방법이 다중 변수 추론 메커니즘의 특성을 결정짓는다.

따라서, 본 논문에서는 다중 변수 추론을 위한 일반화된 메커니즘을 제안하고, 이를 순차적 추론과 조합하여 공작기계의 구조형태계 설계에 적용하여 그 유용성을 검증한다.

2. 다중 변수 추론 메커니즘의 일반화

변수의 개수가 m 개인 경우 각각의 변수를 v_1, v_2, \dots, v_m 으로 둔다. 이 경우 사용자 요구 사항은 다음과 같은 벡터로 표현할 수 있다.

$$\{r\} = (r_1, r_2, \dots, r_m) \quad (1)$$

이 때, r_i 는 v_i 에 대한 요구 사항이며 $\{r\}$ 의 값은 사용자가 입력하거나 이전 단계의 추론으로부터 얻는다.

추론의 결과 얻는 해는 v_1, v_2, \dots, v_m 이 생성하는 m 차원 해공간 $\{v\}$ 의 모든 점이 아니라 유한 개의 점 중 하나를 택함으로써 구한다. 이러한 가능한 해 집합을 S 라 둔다. 이 때, 가능한 해의 수를 n 이라 두면 S 는 다음과 같이 표시된다.

$$S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\} \quad (2)$$

변수 v_i 들의 비중은 균일하지 않은 경우가 일반

적이므로 다음과 같은 가중치 벡터 $\{w\}$ 를 정의하고 $\{r\}$ 과 마찬가지로 사용자가 입력하거나 이전 단계의 추론으로부터 산출되도록 한다. 이 때, w_i 는 v_i 에 대한 가중치를 나타낸다.

$$\{w\} = (w_1, w_2, \dots, w_m) \quad (3)$$

요구 사양 $\{r\}$ 에 대한 가능한 해집합 S 의 각 원소들의 적합도는 다음과 같은 행렬로 표현된다. 단, M_{ij} 는 요구 사양 r_i 에 대한 해 s_j 의 적합도를 나타내며 문제에 따라 달리 정의될 수 있다.

$$[M] = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & \dots & M_{1n} \\ M_{21} & M_{22} & \dots & M_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ M_{m1} & M_{m2} & \dots & M_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

해의 평가는 각각의 요구 사양에 대한 적합도를 가중치를 고려하여 종합적으로 판단해야 하므로 평가치 벡터 $\{e\}$ 를 다음과 같이 정의한다. 이 때, e_i 는 s_i 의 평가치를 나타내며 이 값이 클수록 좋은 해를 의미한다.

$$\{e\} = (e_1, e_2, \dots, e_n) \quad (5)$$

$$e_i = \sum w_j M_{ij}, \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (6)$$

(6)으로부터 $\{e\}$ 를 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\{e\} = \{w\}[M] \quad (7)$$

그러므로, (7)로부터 계산된 $\{e\}$ 에서 e_i 가 최대라면 s_i 가 최적의 해가 된다.

3. 적용 사례

머시닝 센터의 구조형태 설계는 Fig. 1에서 보인 바와 같이 기종 선정, 타입 선정, 형상 정의, 해석 및 평가의 4단계로 이루어진다. 기종 선정 단계는 설계할 머시닝 센터의 기종을 수평형 또는 수직형 중에서 선택하며 타입 선정 단계는 좀더 세분된 타입을 선택한다. 수직형과 수평형의 대표적인 타입을 Fig. 2와 Fig. 3에 각각 표시하였다. 형상 정의 단계에서는 베드, 컬럼, 새들, 테이블 등의 주요 부품의 치수를 결정하며 해석 및 평가 단계에서는 이상의 과정에 의해 생성된 공작 기계의 구조형태에 대하여 진동 및 변형 해석을 실시하여 형상의 제정을 위한 자료를 산출한다. 본 연구에서는 기종 선정 및 타입 선정 단계의 구현을 위한 추론 시스템을 개발하였다.

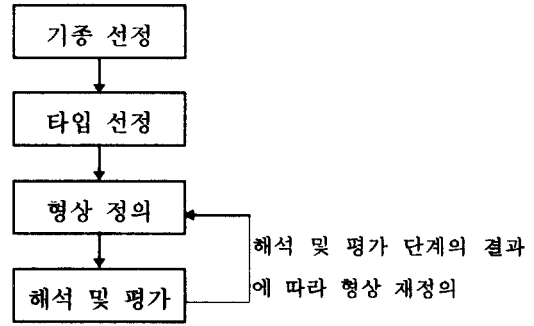


Fig. 1. Procedure of configuration system design

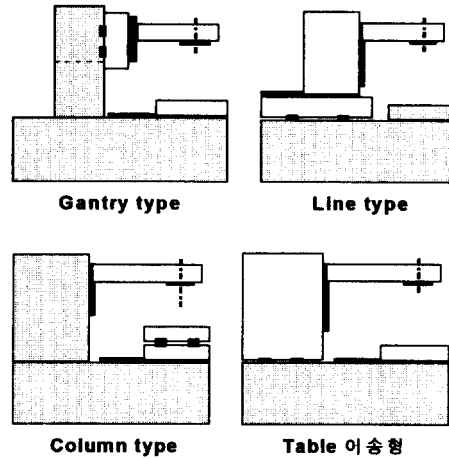


Fig. 2. 4 types of vertical machining centers

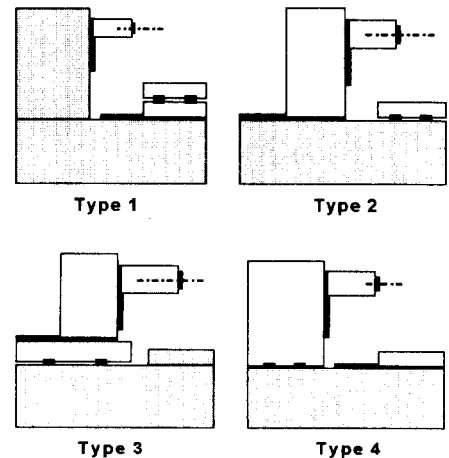


Fig. 3. 4 types of horizontal machining centers

기종 선정 단계는 단순히 다음과 같은 규칙에 따라 수행되므로 순차적 추론에 의해 구현할 수 있다.
IF '가공물 형상' = '소형 다면 가공물'

- THEN '기준' = '수평형' (8)
 IF '가공물 형상' = '박스형 단순 가공물'
 THEN '기준' = '수직형' (9)

Table 1. Evaluation rules for type selection; vertical machining centers

	Gantry	Column	Line	Table 이송형
강성	5	3	1	3
가격	1	3	5	3
자동화 적합도	4	3	5	4
가공 공간	1	3	5	3
절삭 능력	4	5	1	5
Load Capacity	4	3	5	4
칩 처리능력	3	3	5	3
확장성	3	3	5	3
점유 면적	3	3	5	3

Table 2. Evaluation rules for type selection; horizontal machining centers

	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
강성	3	5	3	1
가격	3	4	3	5
자동화 적합도	1	1	4	5
가공 공간	1	1	4	5
절삭 능력	5	5	2	1
Load Capacity	1	3	3	5
칩 처리능력	5	5	3	3
확장성	3	3	3	3
점유 면적	3	3	3	3

Table 1과 Table 2는 각각 수직형과 수평형 머시닝 센터의 타입 선택을 위한 평가 기준 및 각각의 타입들이 이 평가 기준들을 충족시키는 정도를 나타낸다. 충족도는 1에서 5까지의 정수로 부여되었으며 값이 클수록 평가 기준을 더 잘 충족시키는 것을 나타낸다. 이러한 평가 기준들은 서로 깊이 연관되어 있으므로 동시에 판단해야 하며 순차적 추론 과정으로 환원시킬 수 없다. 따라서 이 문제는 다중 변수 추론 기법에 적합한 경우이다.

타입 선정 단계에 다중 변수 추론 기법을 적용시키는 절차는 다음과 같다. 우선 변수들을 다음과 같이 정의한다.

- v_1 = 강성
 v_2 = 가격
 ...
 v_9 = 점유 면적 (10)

가능한 해공간은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$S = \{\text{gantry, column, line, table 이송형, type 1, type 2, type 3, type 4}\} \quad (11)$$

사용자 요구 사양 $\{r\}$ 과 가중치 $\{w\}$ 는 사용자에

의해 입력된다. Table 1과 Table 2에 표시된 평가 기준별 충족도는 행렬 $[P]$ 로 표시한다. $[P]$ 의 원소 p_{ij} 는 v_i 에 대한 s_j 의 충족도를 의미한다. 이 충족도는 사용자 요구 사양보다 작지 않은 것이 이상적이므로 적합도 행렬 $[M]$ 을 다음과 같이 계산한다.

$$M_{ij} = -[\max(r_i - p_{ij}, 0)]^k \quad (12)$$

여기에서 k 를 크게 하면 충족되지 않은 평가 기준을 엄격하게 배제하게 된다. 본 연구에서는 $k = 2$ 로 두었다.

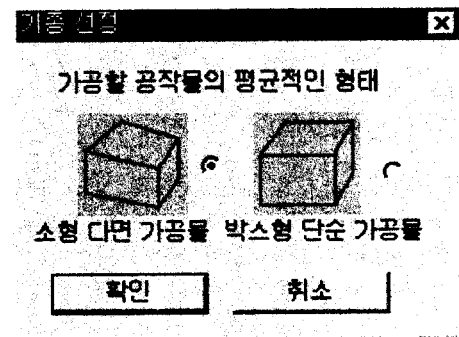


Fig. 4. Machine selection : horizontal or vertical

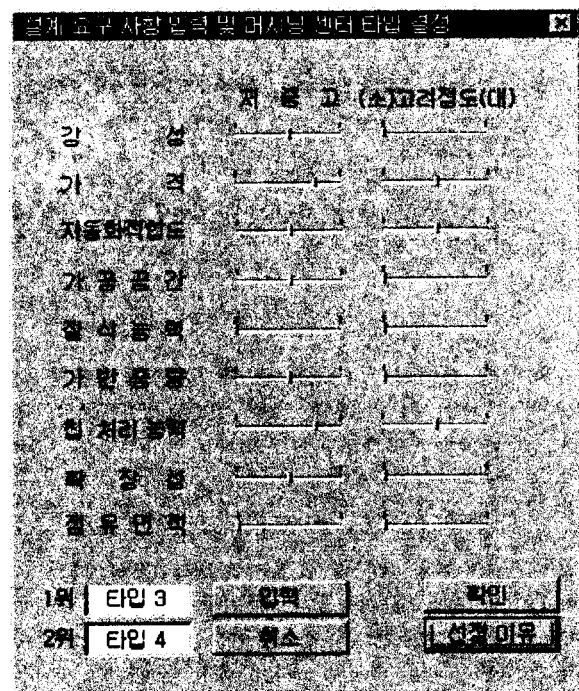


Fig. 5. Machine type selection

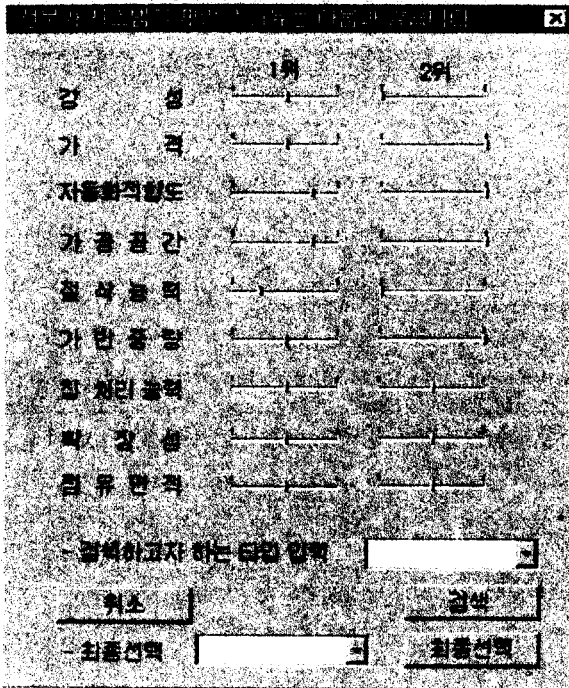


Fig. 6. Rule trace for type selection

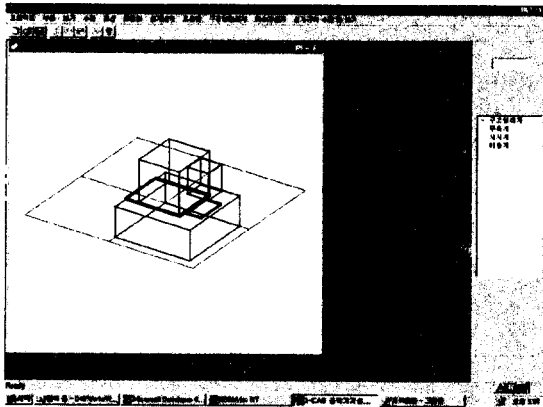


Fig. 7. Solid model of the selected machine type

추론 시스템의 실행 화면을 Fig. 4 ~ Fig. 6 에 보였다. Fig. 4 는 기종 선정 단계로서 가공할 공작물의 평균적인 형태에 따라 (8), (9) 식에 의해 수직형 또는 수평형 여부를 결정한다. Fig. 5 는 타입 선정 단계를 나타내며 사용자가 {r}과 {w}를 직접 입력하면 사용자의 요구 사양에 가장 적합한 타입 두 가지를 추천해준다. 이 때, 사용자는 '선정 이유' 버튼을 이용하여 Fig. 6 에 보인 규칙 확인 기능을 이용하거나 수동으로 타입을 설정할 수 있다.

기종과 타입 선정이 완료되면 형상 정의 단계에서 주요 부품의 치수를 결정한다. Fig. 5 에서 선정된

type 3 머시닝 센터의 형상을 Fig. 7 에 나타내었다. 형상 정의 단계는 순차적 추론과 다중 변수 추론으로만 구성되었으나 향후 제약 네트워크⁽⁶⁾를 이용하여 개선할 예정이다.

4. 결론

본 논문에서는 공작기계 설계 전문가 시스템의 구조형태 설계 과정의 일부로서 다중 변수 추론의 과정을 일반화하여 제안하였다. 또한, 일반화된 다중 변수 추론과 순차적 추론을 조합하여 이를 공작기계 기종 및 타입 선정 과정에 적용함으로써 긴밀하게 연관된 조건들에 의한 추론 과정에 다중 변수 추론 기법이 효과적임을 보였다.

향후 연구 과제로는 순차적 추론과 다중 변수 추론에 제약 네트워크를 추가하여 공작기계 설계전문가 시스템의 구조형태 설계 과정을 완성할 예정에 있다.

참고 문헌

1. 차주헌, 김종호, 박면용, 박지형, "지능형 공작기계 설계 지원 시스템 개발", '97 한국정밀공학회 추계학술대회, 1997
2. 차주헌, 박면용, 박지형, 김종호, "공작기계 기본 설계를 위한 지능형 설계 시스템 개발 (I) - 지능형 설계 시스템의 제안", 대한기계학회논문집 (A), 제 21 권 제 12 호, pp. 1304-1314, 1997
3. 車周憲, 横山正明, "機械系 CAD 支援のための一つの知識ベースシステム", 日本機械學會論文集(C編), Vol. 60, No. 579, p.3625, 1994.
4. Cha, J.H. and Yokoyama, M., "A Knowledge-Based System for Mechanical CAD", ICED'95, p.1382, 1995.
5. 新野秀憲, 伊東諄, "工作機械の構造創成方法 (第3報, 結合パターン-を用いたバリエーションデザイン方式による創成)", 日本機械學會論文集(C編), Vol. 52, No. 474, p.788, 1986.
6. 차주헌, 이인호, 김재정, "Simulated Annealing 을 이용한 제약 네트워크에서의 제약 충족 방식에 관한 연구", 한국정밀공학회지, 제 14 권, 제 9 호, p.116, 1997.