

CAD 데이터 모델들간의 의미거리 계산을 통한 파라메트릭 번역기의 체계적 개발

김준환*, 문두환**

Systematic Development of Parametric Translators by Measuring Semantic Distance between CAD Data Models

Junhwan Kim* and Duhwan Mun**

ABSTRACT

For the robust exchange of parametric CAD model data, it is very important to perform mapping rightly and accurately between different CAD models. However, data model mapping is usually performed on a case-by-case basis. This results in the problem that mapping quality fluctuates very widely depending on the abilities of developers. In order to solve this problem, the concept of semantic distance is adapted and applied to the translation of parametric CAD model data in order to measure the difference between different CAD models quantitatively in a computer-interpretable form and systematize the mapping process.

Key words : data model mapping, ontology, parametric data exchange, semantic distance

1. 서 론

제품 개발 주기 단축을 위해 서로 다른 CAD 시스템들 간이나^[1] 서로 다른 엔지니어링 도메인간^[2,3]에 제품 정보를 교환하기 위한 많은 연구들이 이루어졌다.

CAD 데이터의 교환에 관한 초기 연구들은 경계표현(B-rep) 데이터의 교환에 초점을 두었으나, 최근에는 형상 이외에 모델링 이력, 특징형상, 매개변수 등의 파라메트릭 정보를 교환하기 위해 필요한 중립 모델의 개발과 교환 방법이 중요해 지고 있다. 이와 관련하여 제품 데이터의 교환에 관한 국제 표준인 ISO 10303 STEP(STandard for Exchange of the Product model data)에서는 경계표현 데이터 뿐만 아니라 제약 조건, 파라미터, 설계이력 등의 자원을 제공하는 응용 프로토콜인 AP(Application Protocol) 203 Ed.2(제2판)이 개발되었다^[4].

경계표현 데이터 교환의 경우, 형상(geometry) 및

위상(topology)에 관한 용어(term)들의 의미적 차이가 시스템들간에 존재하지 않는다. 예를들어, 직선(line)과 같은 엔티티는 시스템마다 세부 속성은 다를 수 있으나, 한 CAD 시스템에서 직선인 엔티티는 대부분 다른 CAD 시스템에서 직선으로 번역된다. 대신에 경계표현 데이터 교환의 주요 연구 대상은 시스템마다 허용하는 공차 수준이 서로 달라서 발생하는 수치 오류 문제였다.

반면에 매개변수화된 특징형상 기반 CAD 데이터 변환의 경우, 특징형상, 제약조건, 파라미터 등의 파라메트릭 데이터의 의미 자체가 시스템마다 서로 달라 데이터를 전송하는 CAD 시스템(sending CAD system)과 데이터를 받는 CAD 시스템(receiving CAD system)간에 엔티티 매핑 작업의 신뢰성을 확보하는 것이 중요하다.

엔지니어링 데이터의 의미 불일치 문제에 대한 해결 방안으로 온톨로지를 활용하는 방법이 여러 연구자들에 의해서 제안되었다. Posada는 의미의 단순화를 통하여 서로 다른 엔지니어링 도메인에서 데이터를 교환하기 위해서 온톨로지를 사용하였다^[5]. 이윤숙 등은 CAD 시스템들 간의 특징형상 데이터의 상호운용성 향상을 위해서 설계 특징형상 온톨로지를 구축

*정회원, (주)나눔디지

**교신저자, 종신회원, 워워테크놀로지(주)

- 논문투고일: 2006. 05. 30

- 논문수정일: 2008. 12. 26

- 심사완료일: 2009. 03. 05

하였다⁶⁾. Patil 등의 최근 연구는 온톨로지 기반의 제품 데이터 의미와 지식의 교환에 관한 연구이다¹⁰⁾.

본 연구에서는 파라메트릭 CAD 데이터 번역기 설계의 핵심이 서로 다른 데이터 모델들간의 매핑에 있다고 보고 매핑 작업의 체계화를 위해서 의미거리 (semantic distance) 개념을 적용하여 CAD 데이터의 객체들이나 명세들간의 의미의 차이를 컴퓨터가 이해할 수 있는 형식(notation)에 따라 정량적으로 표현하는 방법을 제안한다. 또한 파라메트릭 CAD 데이터 번역기 개발을 위해 데이터 모델들 간의 매핑을 수행하는 과정에서 발생하는 대표적인 모델간 불일치의 경우를 의미거리를 이용하여 설명하고 그 해결책에 대해서 실제 사례 중심으로 논의한다.

의미거리에 관한 연구는 언어의 단어, 문장의 의미 거리에 관한 연구들이 대부분이며, 초기에는 관련 된 단어들간의 그래프 형태로부터 해당 단어의 깊이를 사용하여 의미거리를 정의했고¹¹⁾, 최근에는 수학적 방법을 사용하여 문장간에 의미거리를 구하거나¹²⁾, 서로 다른 온톨로지 간에 의미 유사성을 구하는 연구들이 진행되었다¹³⁾. 이러한 자연어 처리 분야의 의미거리 관련 연구들은 제품 정보 응용에 적합하지 않기 때문에, 본 연구에서는 관계 명세간의 의미거리¹³⁾ 이론을 사용한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2절에서는 의미거리 방법론에 대해서 간략히 소개한 후, 제 3절에서는 Pro/E, SolidWorks, STEP 파트 55와 파트 108의 데이터 모델의 사례를 통해 관계 명세간의 의미거리 이론을 적용하여 서로 다른 CAD 데이터 모델 간의 의미 불일치 정도를 계산하는 방법을 제안한다. 제 4절에서는 Pro/E를 중심으로 Pro/E와 SolidWorks의 파라메트릭 STEP 번역기- STEP 파트 55, 108, 111의 데이터 모델들¹⁴⁻¹⁶⁾을 준수하는 전·후처리기- 구현 과정에서 제안하는 방법을 활용한 결과에 대해서 소개하고 제 5절에서 결론을 맺는다.

2. 의미거리 방법론

본 절에서는 클래스의 재사용을 위해 사용되는 소프트웨어 공학의 방법론 중 하나인 의미거리 방법론의 개념을 Milli가 정의한 연산자¹³⁾에 기반하여 설명한다.

소프트웨어 A와 B에서 이름이 같은 컴포넌트나 클래스- 분 연구 범위에서는 CAD 시스템의 특징형상, 파라미터, 제약조건 등의 파라메트릭 데이터 요소를 의미합-의 의미가 완전히 같다면, 두 시스템에서 해당

컴포넌트의 매핑은 정보의 손실 없이 직관적으로 이뤄진다. 그러나 일반적으로 컴포넌트의 기능 정의, 용어 정의, 속성 정의 등이 다르기 때문에 컴포넌트의 이름이 유사하더라도 일대일 대응을 시키면 정보의 손실이나 오류가 발생한다. 따라서 두 컴포넌트들간의 정확한 매핑을 위해서는 먼저 두 컴포넌트들이 얼마나 차이가 있는지를 알아야 하고 이 차이를 정량적으로 표현한 것이 의미거리이다.

관계 명세는 집합(set) S와 S의 원소들 사이의 관계 (relation) R로 구성되고, (S, R)과 같이 표현한다. 집합 S에서 두개의 관계 A와 B가 주어졌을 때, 이들의 곱 A°E (간단히 AB로도 표기)는 식 (1)과 같이 정의된다.

$$A^{\circ}B = \{(a, b) | \exists t: (a, t) \in A \wedge (t, b) \in B\} \quad (1)$$

관계 A의 여관계(complement relation)는 식 (2)와 같이 정의된다. 그리고 L이라 표기되는 집합의 보편적 관계(universal relation)는 집합의 모든 원소들을 정의역(domain)과 치역(range)으로 같은 관계로 식 (3)과 같이 정의된다.

$$\bar{A} = \{(s, s') | (s, s') \notin A\} \quad (2)$$

$$L = S \times S \quad (3)$$

관계 A와 관계 B가 식 (4)와 같이 관계 B가 관계 A보다 정의역이 크거나 같고 (AL ⊆ BL), 정의역의 임의의 원소에 대응되는 공역이 작거나 같을 때 (AL ∩ B ⊆ A), 관계 B가 관계 A를 정제(refine)한다고 말하고 A ⊆ B 로 표기한다. 또는 관계 B가 관계 A보다 더 강한 명세라고 말하기도 한다.

$$A \subseteq B \text{ if and only if } AL \subseteq BL \wedge AL \cap B \subseteq A \quad (4)$$

관계 A와 관계 B의 최소 상위 경계(least upper bound) A ∪ B와 최대 하위 경계(greatest lower bound) A ∩ B는 각각 식 (5)와 식 (6)과 같이 정의된다. A ∪ B는 A와 B의 필요 정보들의 합을 나타내고, A ∩ B는 A와 B에 공통적인 정보들을 나타낸다.

$$A \cup B = \bar{B}L \cap A \cup \bar{A}L \cap B \cup A \cap B \quad (5)$$

$$A \cap B = AL \cap BL \cap (A \cup B) \quad (6)$$

A, B, A ∪ B, A ∩ B 사이에는 Fig. 1과 같은 정제

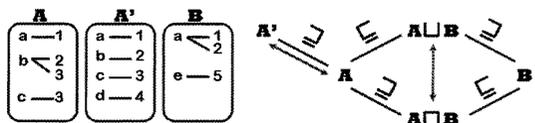


Fig. 1. Refinement relations among A, B, A ∪ B, and A ∩ B.

관계가 존재한다.

관계 B가 관계 A보다 더 강한 명세일 경우, 관계 B와 관계 A의 정제 차이(refinement difference)는 식 (7)과 같이 정의된다. 정제 차이의 의미를 설명하면 다음과 같다.

- A에 정의되지 않았으나 B에는 정의된 경우, M은 B와 같다.
- A에 정의되었을 경우,
 - 첫번째, A와 B가 동일할 경우 M은 아무 정보도 가지지 않는다.
 - 두번째, B가 A의 하위 세트일 경우 M은 B의 모든 쌍들과 A에 포함되지 않은 쌍들을 갖는다.

$$M=B \oplus A - B \cap \overline{A} \cup (A \cap \overline{B}) \cap L \cap (B \cup \overline{A}) \quad (7)$$

A와 B간의 정제 거리 (refinement distance)는 정제 차이를 이용하여 계산되며 다음식 식 (8)과 같이 정의된다. 정제 거리는 A에 있지만 B에는 없는 기능적 특징들 ($A \cap (A - B)$)과 B에는 있지만 A에는 없는 기능적 특징들 ($B \cap (A \cap B)$)을 결합한 것이다.

$$A \otimes B = A \cap (A - B) \cup B \cap (A \cap B) - A \cap B \cup (A \cap B) \quad (8)$$

Fig. 1의 A와 B간의 의미거리 계산 예를 통해 의미 거리를 구하는 과정을 설명하는 그림이 Fig. 2이다. 의미거리 계산 결과 $A \otimes B$ 를 해석하는 방법은 다음과 같다.

- $A \otimes B$ 와 $\alpha(A$ 또는 $B)$ 가 정의역과 그에 대응되는 공역이 일치하는 경우 그 정의역 및 공역은 α 에만 존재한다. 예를 들어, (c-3)는 A와 $A \otimes B$ 가 동일하므로 A에만 있는 쌍이 된다.
- $A \otimes B$ 의 정의역이 α 에도 존재하지만 그에 대응되는 공역이 α 와 다를 경우, α 에 $A \otimes B$ 를 차감한 것이 α 에만 존재하는 쌍이 된다. 예를 들어, 정의역 a는 $A \otimes B$ 와 B에 존재하므로 정의역 a에 대해서 B에서 $A \otimes B$ 를 차감하면 (a-2)가 남으므로 (a-2)가 B에만 있는 쌍이 된다.
- $A \otimes B$ 에는 존재하지 않지만, α 에는 존재하는 정의역과 그에 대응되는 공역은 A와 B에 모두 동일하게 존재한다.

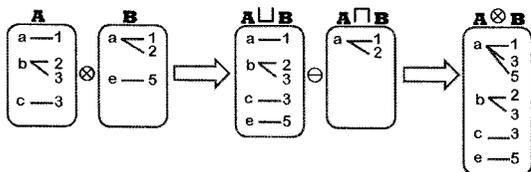


Fig. 2. Procedure for calculating semantic distance.

3. 서로 다른 CAD 데이터 모델들간의 의미거리 계산

중립 모델을 이용한 간접 CAD 데이터 변환 방식은 데이터를 전송하는 CAD 시스템의 모델 데이터를 중립 모델 데이터로 변환하는 선처리 과정과 변환된 중립 모델 데이터를 데이터로 받는 CAD 시스템의 모델 데이터로 변환하는 후처리 과정을 거친다. 간접 번역 방식에서는 두 CAD 시스템 모델들과 중립 모델간의 매핑이 필요하다.

모델 매핑은 입력 데이터 모델의 구성 요소에 대응되는 출력 데이터 모델의 구성 요소를 결정하는 과정이다. CAD 데이터 모델의 경우 모델 구성 요소들의 종류가 매우 많고 그 구조가 복잡하여 매핑 과정에서 모델들간의 차이점을 파악하기가 쉽지 않다.

의미거리 방법론^[13]에서 의미거리를 측정하는 대상은 집합과 그 집합의 구성요소들간의 관계이다. 본 연구에서 집합은 “CAD 모델의 파라메트릭 정보 표현을 위한 모든 구성요소”를 말하고, 관계는 “이들 구성요소들 사이의 참조관계”로 정의한다.

파라메트릭 번역기 개발을 위한 CAD 모델의 의미거리 계산 절차는 Fig. 3에서와 같이 (1) 집합의 생성, (2) 관계의 추출, (3) 의미거리 계산의 순서대로 진행되며 각각을 3.1, 3.2, 3.3절에서 설명한다.

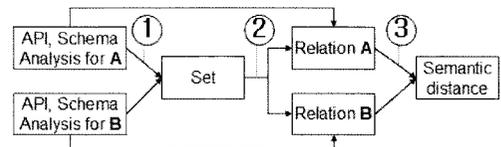


Fig. 3. Proposed procedure for calculating semantic distance between two different data models.

의미거리를 구하기 위해서는 각각의 CAD 데이터 모델을 집합 s와 관계 r을 갖는 (s, r) 형식으로 재구성해야 한다. CAD 데이터 교환 문제에서 CAD 데이터 모델을 집합과 관계 형식으로 변환하기 위해서 이전 연구^[13,14]에서 일어난 경험과 관련 표준^[14-16]의 모델 구조를 참고하였다.

3.1 집합(set)의 생성

본 절에서는 CAD 파트(part) 모델로부터 집합을 정의한 결과에 대해서 설명한다. 정의된 집합은 파라메트릭 CAD 데이터 교환 시 필요한 구성요소들을 대상으로 한다.

집합 정의를 위해서 Pro/E^[17], SolidWorks^[18], STEP 표준^[14-16]의 데이터 모델을 분석하였다. Pro/E와

SolidWorks의 데이터 모델의 구성요소들을 분류한 결과가 Table 1이고 STEP 표준에 대해서 분류한 결과가 Table 2이다. Table 2의 마지막 열은 해당 엔티티가 정의된 STEP 파트를 나타낸다.

Table 1. Element of the Set from the CAD model information

	Pro/E	SolidWorks
Model	<i>ProMdl (ProSolid)</i>	<i>IModelDoc2</i>
Feature	<i>ProFeature</i>	<i>IFeature</i>
Dimension	<i>ProDimension</i> <i>ProSecdim</i>	<i>IDimension</i> <i>IDisplaydimension</i>
Equation	<i>ProRelset</i>	<i>IEquation</i>
Parameter	<i>ProParameter</i>	<i>IParameter</i>

Table 2. Elements of the Set from STEP 108, 55, 111

Element	Relevant STEP entity	STEP
Model	<i>procedural_shape_representation</i>	55
History	<i>procedural_shape_representation_sequence</i>	55
Feature	<i>Sub-entity of solid_model</i>	111
Equation	<i>free_form_constraint</i>	108
Constraint	<i>explicit_geometric_constraint</i>	108
Dimension	<i>with dimension post-fix among sub-entity of explicit_geometric_constraint</i>	108
Parameter	<i>model_parameter</i>	108
Geometry	<i>geometric_representation_item</i>	42

CAD 파트 모델에는 모델의 최상위 객체로서 모델 자체를 식별하기 위한 객체가 존재하는데 이 객체를 Model이라 정의한다. 기계 CAD 시스템에서 파라메트릭 정보는 특정형상과 특정형상의 생성 이력, 파라미터와 파라미터들간의 수식, 제약조건, 치수들로 표현된다. 이들 객체를 각각 Feature, History, Parameter, Equation, Constraint, Dimension로 정의한다. 그리고 파라메트릭 모델링의 결과로서 특정형상이나 파트의 형상이 생성되는데, 이 형상을 나타내는 객체를 Geometry라 정의한다.

이와 같은 기존 CAD 파트 모델에 대한 분석 결과를 바탕으로 CAD 파트 모델의 구성요소 집합 S는 <Def. 1>과 같은 원소들을 갖는다고 가정한다. M, F, E, D, C, G, H, P은 각각 Model, Feature, Equation, Dimension, Constraint, Geometry, History, Parameter의 약자이며 각각이 집합을 의미한다. 예로 F는 파트 내에 포함된 모든 특정형상의 집합을 의미한다.

<Def. 1> CAD 파트 모델의 구성요소 집합

$$S = \{M, F, E, D, C, G, H, P\}$$

3.2 관계(relation)의 추출

의미거리 계산을 위해, 3.1절에서 정의한 집합의 원소들간에 존재하는 관계들의 추출을 위한 규칙들을 설명한다. 번역기를 개발할 때, 존재하지 않는 관계를 보상하기 위해서는 추가적인 구현이 필요하기 때문에, 관계의 존재 유무를 파악하는 것이 중요하다.

본 연구에서 관계란 구체적으로 CAD 시스템에서 제공하는 API에서 명세된 자료구조들간의 참조 관계를 말한다. 예를들어, 하나의 Feature와 관련된 모든 치수를 구하는 함수가 존재 할 경우, Feature와 Dimension 간에는 관계가 존재한다. 이런 관점에서 본 연구에서는 관계를 <Def. 2>와 같이 정의한다.

<Def. 2> 관계($s_1 \rightarrow s_2$)의 정의

$s_1 \in S, s_2 \in S$ 를 만족하는 s_1, s_2 에 대해 s_1 를 입력으로 하고, s_1 와 관련된 모든 다른 원소 s_2 의 배열을 출력으로 하는 API 함수가 존재 하면, $s_1 \rightarrow s_2$ 의 관계가 있다고 정의한다.

Table 3은 <Def. 2>에 근거하여 Pro/E의 API인 Pro/Toolkit으로부터 추출한 관계 목록이다.

Table 3. List of relation and their relevant API function

Relation	API function relevant to relation
Model \rightarrow Feature	<i>ProSolidFeatVisit</i>
Model \rightarrow Dimension	<i>ProSolidDimensionVisit</i>
* \rightarrow Parameter	<i>ProParameterVisit</i>
Model \rightarrow Equation	<i>ProSolidRelsetVisit</i>
Feature \rightarrow History	<i>ProFeatureNumberGet</i>
Feature \rightarrow Geometry	<i>ProFeatureGeomitemVisit</i>
Feature \rightarrow Dimension	<i>ProFeatureDimensionVisit</i>
Dimension \rightarrow Geometry	<i>ProSecdimReferencesGet</i>
Constraint \rightarrow Geometry	<i>ProSectionConstraintsGet</i>

*(wildcard) means any element

Pro/E에서는 파트를 나타내는 *ProMdl* 또는 이 객체의 호환형식(예: *ProSolid*)을 입력으로 하여 *ProSolidDimensionVisit* 함수를 사용하면 파트에 포함된 모든 치수를 얻을 수 있다. 따라서 Model과 Dimension 간에는 관계가 성립한다.

구성요소 A와 B가 관계가 있고 B와 C가 관계가 있을 경우에 A에서 C를 추출하는 것은 추가적인 구현 없이 가능하기 때문에 A와 C도 관계가 존재하는 것으로 처리한다. 두 단계를 거쳐 집합 S의 원소들간에 관계가 존재할 때 <Def. 3>을 사용하고 <Def. 3>을 적용한 예가 Table 4이다.

<Def. 3> 이행 규칙(Transitive Rule)

$s_1 \in S, s_2 \in S, s_3 \in S$ 를 만족하는 s_1, s_2, s_3 에 대해, $s_1 \rightarrow s_2$ 이고 $s_2 \rightarrow s_3$ 이면 $s_1 \rightarrow s_3$ 이다.

Table 4. F → C relation by <Def. 3>

Relation	API function relevant to relation
Feature → Sketch	ProFeatureSectionCopy
Sketch → Constraint	ProSectionConstraintsGet

CAD 시스템의 데이터 모델은 일반적으로 객체지향모델링 개념을 바탕으로 정의된다. 객체지향 정보 모델링 방법에서는 상위 클래스에서 상속된 하위 클래스는 상위 클래스의 속성을 모두 상속 받고, 상위 클래스의 부분 집합에 해당된다. 따라서 클래스 A와 클래스 B 사이에 관계가 존재하고 클래스 C가 클래스 B의 하위 클래스일 경우 클래스 A와 클래스 C 사이에도 관계가 존재한다. 이에 대한 정의는 <Def. 4>이다.

<Def. 4> 상속관계의 처리 규칙

$s_1 \in S, s_2 \in S, s_3 \in S$ 를 만족하는 s_1, s_2, s_3 에 대해서, $s_1 \rightarrow s_2$ 이고, $s_3 = subclass(s_2)$ 이면 $s_1 \rightarrow s_3$ 이다.

Table 2에 설명된 STEP 데이터 모델의 엔티티들간의 관계를 <Def. 2>, <Def. 3>, <Def. 4>를 바탕으로 정리한 결과가 Fig. 4이다. 엔티티 *procedural_shape_representation*(Model)는 *procedural_shape_representation_sequence*(History)를 속성으로 가지고 있어 $M \rightarrow H$ 관계가 정의된다. 엔티티 *procedural_shape_representation_sequence*는 엔티티 *list_representation_item*를 속성으로 가지고 있다. 그리고 엔티티 *representation_item*의 하위 엔티티, 즉 *solid_model* (Feature)과 *geometric_representation_item*(Geometry)이 정의되어 있기 때문에, $H \rightarrow F$ 관계와 $H \rightarrow G$ 관계가 추출된다. 엔티티 *free_form_constraint* (Equation)는 타입 *model_parameter* (Parameter)의 집합을 속성으로 가지므로 $E \rightarrow P$ 관계가, 엔티티 *explicit_geo-*

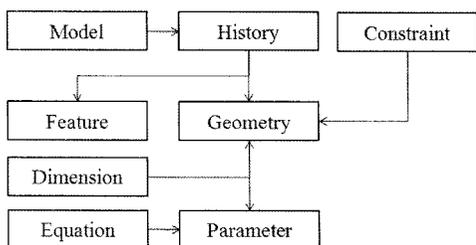


Fig. 4. Simplified relations in STEP parametric schema.

metric_constraint(Constraint 또는 Dimension)는 엔티티 *geometric_representation_item*의 집합을 속성으로 가지므로 $C \rightarrow G$ 관계가 추출된다.

3.3 의미거리 계산

CAD 파트 모델의 구성요소 집합 S의 계층은 다음과 같이 두가지로 구분된다.

- 전체집합 S의 부분 집합 계층(예. S의 부분집합 M, F)
- S의 부분 집합을 구성하는 원소 계층(예. F의 원소인 구멍 특징형상)

CAD 파트 모델들간의 의미거리는 각 계층별로 계산된다. 본 절에서는 1) CAD 파트 모델 수준, 2) 특징형상 부분집합 F의 원소인 구멍 특징형상의 의미거리 계산 예를 통해 계층별 의미거리 계산 방법에 대해서 설명한다.

여기서 CAD 파트 모델의 구성요소 집합은 S로 정의되고 $S \supset F$ 이며 $f \in F$ 일 때, R_2 는 S에서 S로의 관계, R_3 는 F에서 S로의 관계라고 하자. 즉, 두가지 관계에서 정의역은 다르지만, 공변역은 모든 경우 집합 S이다. 그리고 아래첨자 P가 Pro/E 모델, N이 중립 모델(STEP)을 나타낸다.

3.3.1 파트 모델들간의 의미거리 $R_{2P} \otimes R_{2N}$

Pro/E와 STEP에 대해서 S의 부분집합 계층 상의 관계인 R_{2P} 와 R_{2N} 을 도식화하고 이를 바탕으로 의미거리 $R_{2P} \otimes R_{2N}$ 을 구한 것이 Fig. 5이다.

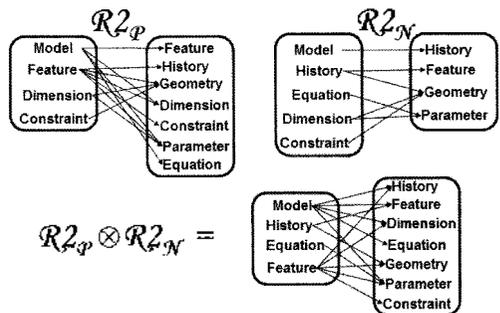


Fig. 5. Semantic distance between part models.

의미거리 계산 결과 Pro/E와 STEP과의 차이는 Model, History, Equation에 존재하는 것으로 나타났다. R_{2P} 에서는 Model로부터(ProMdl과 호환되는 타입들: ProMdl, ProSolid 등) 파트에 포함된 Feature, Dimension, Parameter, Equation 등의 배열들을 모두 얻을 수 있다. R_{2N} 에서는 Model이 CAD 시스템에서처럼 강력한 역할을 하지 않으며 각각의 엔티티가 식

별자를 가지고 분산되어 있다. 반면에 R_{2p} 에서는 설계 이력(History)을 나타내는 엔터티가 명시적으로 존재하지 않고, 특징형상의 생성 순서를 정수값으로 가진다. 또한, 수식(Equation)을 분자열로 가질 뿐, 수식에서 파라미터를 추출하는 함수는 제공하지 않는다.

3.3.2 구멍 특징형상간의 의미거리 $R_{3p} \otimes R_{3N}$

구멍 특징형상의 속성들을 정의역으로 하여 관계를 모델링 한 후 의미거리를 구한 결과가 Fig. 6이다. Fig. 6에서 R_{3p} 의 Parent와 R_{3N} 의 base_solid는 같은 의미를 가지는 속성들이다. 의미거리 계산 결과로부터 R_{3N} 에는 구멍 특징형상과 구멍 특징형상의 배치를 위한 참조 형상 및 거리와의 명시적인 관계가 존재하지 않음을 알 수 있다.

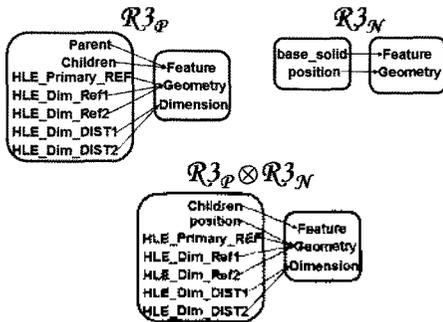


Fig. 6. Semantic distance between hole features.

4. 파라메트릭 CAD 데이터 번역기 개발 과정에서 의미거리의 활용

본 절에서는 파라메트릭 CAD 데이터 번역기 개발 시 3절에서 설명한 의미거리 계산 결과를 활용하는 방안을 Pro/E와 SolidWorks의 STEP 파라메트릭 번역기 개발 사례^[11]를 통해 설명한다.

파라메트릭 CAD 데이터의 번역은 기존의 B-rep 데이터 번역과 달리, 피처트리(feature tree)에 기록된 순차적인 모델링 이력을 번역하는 작업이다. 이와 같은 파라메트릭 CAD 데이터의 번역을 위해서는 다음과 같은 작업이 필요하다.

- <OP1> 보내는 CAD A의 데이터 모델-관계 명세 S_A -와 받는 CAD B의 데이터 모델-관계 명세 S_B -과의 매핑
 - <OP2> 직접적인 매핑 관계가 존재하지 않는 모델 구성 요소 및 관계에 대한 처리 모듈(별도의 함수, 데이터 변환, 참조 데이터)의 개발
- CAD 데이터 번역기 개발에서 CAD 모델의 구성요

소 및 구성요소 간의 관계가 일치한다면 CAD 모델들 간의 매핑은 단순한 1:1 매핑 작업이 된다. 그러나 대부분의 경우 매핑 대상 CAD 모델들은 서로 같지 않기 때문에 <OP1> 작업에서 두 모델들간의 차이점을 파악하는 것이 중요하다. 의미거리를 이용하여 두 CAD 모델들간의 차이를 정량적으로 계산하여 가시화를 함으로써 체계적인 <OP1> 작업이 가능하다. 또 그에 따라 <OP2> 작업이 필요한 S_A 의 구성 요소들을 파악할 수 있다.

파라메트릭 번역기 개발 과정에서 의미거리 계산을 통해 파악된 두 데이터 모델들간의 차이점을 보상하는 모듈의 개발이 필요하다. 두 모델들간에 관계 $s_1 \rightarrow s_2$ 가 다를 경우, 이 관계의 보상 없이도 받는 CAD 시스템에서 모델 생성이 가능하면 이 관계를 고려하지 않는다. 그러나 모델 생성이 어려울 경우 $s_1 \rightarrow s_2$ 관계를 보상하기 위한 모듈을 별도로 구현한다.

4.1 의미거리 차이 <F→D>의 보상

STEP 모델과 Pro/E 모델의 의미거리 계산 결과를 2절에서 설명한 방법에 따라 해석하면 관계 <F → D>는 Pro/E 모델에만 존재하고 STEP 모델에는 존재하지 않음을 알 수 있다. 예를 들어 Fig. 7과 같이 Pro/E에서는 구멍 특징형상의 배치(positioning)를 위한 참조 형상 및 이 형상과 특징형상과의 거리 치수가 명세된다.

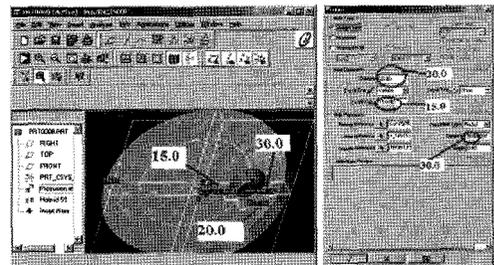


Fig. 7. Hole feature on a cylinder in Pro/E.

그러나 아래의 STEP 물리 파일에서 볼 수 있는 것과 같이 구멍 특징형상을 표현하는 엔터티 DESIGN_FLAT_BOTTOM_HOLED_SOLID에는 구멍의 반지름(10.0)과 깊이(15.0)에 관한 정보는 있으나 배치와 관련된 치수(30.0)는 존재하지 않는다.

```
#1=DESIGN_FLAT_BOTTOM_HOLED_SOLID
('Hole.1', #10, #2, 10.0, 15.0); // radius, depth
#2=AXIS2_PLACEMENT_3D(' ', #3, #4, #5);
#3=CARTESIAN_POINT(' ', 1.75, 0.9375, 2.29614e-017);
```

```
#4=DIRECTION("Hole.1(Z)",0, -1, 0);
#5=DIRECTION("Hole.1(X)",-1, 0, 0);
#10=CYLINDER( .. 생략)
```

가) Pro/E에서 STEP 변환시

STEP 모델 자체에서는 Feature와 Dimension간의 명시적인 관계가 존재하지 않지만 다음과 같은 암묵적인 방법으로 이 관계를 보상한다. 즉, 구멍 특징형상의 중심축과 동일한 축을 별도로 생성한 후 이 축과 참조 형상과의 거리를 명세한다. 아래의 예에서 #12는 참조 형상, #13은 구멍 특징형상의 중심축 상의 선이라고 할 때 치수 표현 엔티티 CDGC WITH DIMENSION을 추가 함으로써, 30.0값을 가지는 치수를 보상한다.

```
#11=CDGC_WITH_DIMENSION ("", #12, #13, 30.0);
```

나) STEP에서 Pro/E 변환시

위에서 설명한 보상 방법에 따라 생성된 STEP 물리 파일을 읽어 Pro/E 데이터를 생성할 경우, STEP 물리 파일에는 치수 (#11)와 특징형상 (#1)과의 관계가 명시적으로 표현되지 않아 #11치수가 #1 특징형상의 일부면이라는 것을 판단하는 알고리즘을 추가적으로 구현해야 한다. 그러나 이 정보 없이도 Pro/E에서 구멍 특징형상의 생성이 가능하기 때문에 이 관계를 보상하지 않는다.

4.2 의미거리 차이 <F→G>의 보상

Pro/E에서는 Fig. 8과 같이 각 특징형상에 해당되는 형상 데이터를 정수형 식별자를 이용하여 추출할 수 있다. 그러나 STEP에서는 파트 모델 전체의 최종 형상은 대부분 특징형상별 형상 정보는 다루지 않는다.

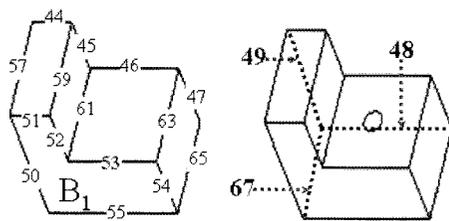


Fig. 8. Geometry per Feature^[2] example.

가) Pro/E에서 STEP 변환시

Pro/E 데이터를 읽어 STEP데이터를 생성할 때 특징형상 별 형상 데이터는 사용되지 않아서 관계 <F→G>는 별도로 보상하지 않는다.

나) STEP에서 Pro/E 변환시

STEP 데이터를 Pro/E 데이터로 변환할 때, Pro/E API를 이용하여 피처트리에 저장된 생성 이력에 따라 특징형상을 순차적으로 생성하면 각 특징형상별 형상 데이터가 자동으로 생성된다. 따라서 별도의 보상 모듈을 구현하지 않는다.

4.3 의미거리 차이 <E→P>의 보상

STEP에서는 명시적으로 파라미터를 정의한 후 수식을 정의한다. 그러나 Pro/E와 SolidWorks에서는 수식이 스트링(string) 타입의 문자열로 정의되어 관계 <E→P>가 존재하지 않는다. 그래서 Pro/E나 SolidWorks 데이터를 STEP 데이터로 변환할 때 이 관계를 보상한다.

관계 <E→P>의 보상을 위해 Pro/E의 *Reset*, SolidWorks의 *Equation*으로부터 얻은 아래의 수식 스트링 데이터로부터 D18, D20 등의 파라미터와 -, + 등의 부호를 인식해서 Fig. 9와 같은 STEP의 수식 데이터로 변환하는 추가 모듈을 개발한다.

```
Pro/E : "D18 = D20 * D20 + 4 * D20 - 5"
SolidWorks: "D1@Sketch4" = "D2@Sketch4" *
"D2@Sketch4" - 4*"D2@Sketch4" - 5
```

Fig. 9. Example of equation translation using STEP Part 108.

5. 결 론

파라메트릭 CAD 데이터 번역기 구현의 핵심은 서로 다른 데이터 모델들간의 매핑에 있다. 그리고 모델들간의 매핑은 매핑 대상 데이터 모델들간의 차이를 분석하는 것에서 시작된다. 그러나 현재는 이와 같은 매핑이 개발자 개인의 능력에 의존하여 이뤄지고 있다.

본 연구에서는 소프트웨어 공학의 객체 재사용에 주로 적용되고 있는 의미거리 개념을 파라메트릭 CAD 데이터의 교환 문제에 적용하여, CAD 모델들

간의 의미 차이를 컴퓨터가 이해할 수 있는 형식에 따라 정량적으로 계산하는 방법을 제안하였다.

CAD 모델을 구성하는 요소들을 집합으로 모델링을 하고 요소들간의 연관성을 관계로 모델링을 하여 CAD 모델들간의 의미거리를 계산하였다. 그리고 Pro/E를 중심으로, Pro/E와 SolidWorks의 STEP 번역기 구현 사례를 통해 의미거리의 활용 방법을 설명하였다.

제안하는 방법의 실용성을 높이고 유효성에 대한 정량적인 평가를 위해서는 다음 분야의 추가 연구가 필요하다.

- 의미거리 계산을 위해서 CAD 모델로부터 추출된 집합과 관계가 사용되기 때문에 CAD 벤더에서 제공하는 온라인 매뉴얼 등의 자료를 이용하여 이 집합과 관계를 추출하는 연구
- 서로 다른 수준을 가진 여러 개발자들에 대한 CAD 데이터 번역기 개발 실험을 통해서 제안하는 방법의 유효성을 통계적으로 검증

참고문헌

1. Pratt, M. and Kim, J., "Experience in the Exchange of Procedural Shape Models using ISO 10303 (STEP)", 2006 ACM Solid and Physical Modeling, UK, June 6-8, 2006.
2. Rappoport, A., "An Architecture for Universal CAD Data Exchange", 2003 ACM Solid Modeling Symposium, Seattle, WA, USA, pp. 266-269, June, 2003.
3. Mun, D., Han, S., Kim, J. and Oh, Y., "A Set of Standard Modeling Commands for the History-based Parametric Approach", *Computer-aided Design*, Vol. 35, No. 13, pp. 1171-1179, 2003.
4. Patil, L., Dutta, D. and Sriram, R. D., "Ontology-based Exchange of Product Data Semantics", *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, Vol. 2, No. 3, pp. 213-225, 2005.
5. 이영준, 고평욱, 유상봉, "STEP을 이용한 데이터 변환 시스템의 구현", 한국CAD/CAM학회논문집, Vol. 1, No. 2, pp. 87-96, 1996.
6. 이윤숙, 원상욱, 황순홍, "CAD 시스템 간의 상호 운용성을 위한 설계 특징형상의 유틸로저 구축", 한국CAD/CAM학회논문집, Vol. 9, No.2, pp. 164-174, 2004.
7. Posada, J., Toro, C. W. S. and Stork, A., "Using Ontologies and STEP Standards for the Semantic Simplification of CAD Models in Different Engineering Domains", *Applied Ontology*, No. 1, No. 3-4, pp. 263-279, 2006.
8. 김준환, "3차원 CAD에서 STEP Part111을 통한 AP224 특징형상 데이터 번역", 한국CAD/CAM학회 논문집, Vol. 11, No. 4, pp. 303-314, 2006.
9. Pratt, M., Anderson, B. D. and Ranger, T., "Towards the Standardized Exchange of Parameterized Feature-based CAD Models", *Computer-Aided Design*, Vol. 37, No. 12, pp. 1251-1265, 2005.
10. Sumita, E. and Iida, H., "Experiments and Prospects of Example-based Machine Translation", *29th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*, pp. 185-192, 1991.
11. Cooper, M. C., "Semantic Distance Measures", *Computational Intelligence*, Vol. 16, No. 1, pp. 79-93, 2000.
12. Rodriguez, M. A. and Egenhofer, M. J., "Determining Semantic Similarity among Entity Classes from Different Ontologies", *IEEE Transactions on Knowledge & Data Engineering*, Vol. 15, No. 2, 2003.
13. Mili, R., Desharnais, J., Frappier, M. and Mili, A., "Semantic Distance between Specifications", *Theoretical Computer Science*, Vol. 247, pp. 257-276, 2000.
14. ISO, "ISO 10303-111:2007, Industrial Automation Systems and Integration - Product Data Representation and Exchange - Part 111: Integrated Application Resource: Elements for the Procedural Modelling of Solid Shapes", Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization (ISO): 2007.
15. ISO, "ISO 10303-55:2005, Industrial Automation Systems and Integration - Product Data Representation and Exchange - Part 55: Integrated Generic Resource: Procedural and Hybrid Representation", Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization (ISO): 2005.
16. ISO, "ISO 10303-108:2005, Industrial Automation Systems and Integration - Product Data Representation and Exchange - Part 108: Integrated Application Resource: Parameterization and Constraints for Explicit Geometric Product Models", Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization (ISO): 2005.
17. PTC, Pro/Toolkit User Manual, 2001.
18. SolidWorks, SolidWorks API Help, 2003.
19. Kim, J., Pratt, M., Iyer, R.G and Sriram, R. D., "Standardized Data Exchange of CAD Models with Design Intent", *Computer-Aided Design*, Vol. 40, No. 7, pp. 760-777, 2008.



김 준 환

1995년 KAIST 정밀공학과 학사
 1998년 KAIST 기계공학과 석사
 2003년 KAIST 기계공학과 박사
 1997~1998년 ETRI 위촉연구원
 2003년~2006년 NIST(美 표준기술연구
 소) 생산시스템통합 나비전(MSID)
 객원연구원
 2007년~현재 부품데이터 위촉연구원
 관심분야: CAD 데이터베이스, STEP,
 지식기반 설계, 가상현실, 유비쿼
 터스 컴퓨팅, 모바일 컴퓨팅



문 두 환

1999년 고려대 기계공학과 학사
 2001년 한국과학기술원 기계공학과 석사
 2006년 한국과학기술원 기계공학과 박사
 2006년~현재 한국해양연구원 선임연구원
 2007년~현재 형심테크놀로지(주) 선임
 연구원
 관심분야: Concurrent Engineering,
 Feature Technology, Industrial
 Metadata(STEP/PLIB/Process
 Plants), Product Data Exchange,
 Product Lifecycle Management