

# 이진 정수 계획법을 이용한 최적의 제품휘처형상 도출1)

이관우

한성대학교 정보시스템공학과

kwlee@hansung.ac.kr

## Deriving an Optimal Product Feature Configuration Using Binary Integer Programming

Kwanwoo Lee

Dept. of Information Systems Engineering, Hansung University

제품형상 (Product Configuration)이란 제품라인의 핵심자산 중에서 특정한 제품만을 위한 구성요소로 정의된다. 지금까지 많은 소프트웨어 제품라인 공학 방법들은 휘처모델 (Feature Model)을 기반으로 특정한 제품의 제품형상을 산출해 내는 방법을 사용해 오고 있다. 휘처모델로부터 산출될 수 있는 유효한 제품휘처 집합은 핵심자산 내의 해당 아키텍처 및 컴포넌트를 선택하거나 적용시키는 파라미터 역할을 하므로, 본 논문에서는 이를 제품휘처형상 (Product Feature Configuration)이라 정의한다.

휘처모델로부터 제품휘처형상을 결정짓는 데 영향을 미치는 요소는 크게 제품의 품질속성과 환경적 제약사항으로 구분된다. 가령, 자동차 제품라인에서 디젤엔진과 가솔린엔진은 양자택일의 가변성을 지는 대안휘처(Alternative Feature)이다. 품질속성의 하나인 연료효율성 관점에서 보면 디젤엔진이 가솔린엔진에 비해서 더 나으므로 선택될 수가 있을 것이고, 환경적 제약사항의 예로 특정한 시장에서는 환경적인 요인으로 인해 디젤엔진의 사용을 금하므로 오로지 가솔린 엔진만 선택될 수가 있을 것이다. [1]에서는 품질속성과 사용환경이 제품휘처 선택에 영향을 미치는 관계를 바탕으로, 제품 간의 공통성과 가변성을 주로 표현한 휘처모델을 확장한 도메인 분석모델을 제안하였다. 본 논문에서는 [1]의 연구를 기반으로 하여 도메인 분석 모델로부터 요구되는 품질속성을 최적으로 만족시키는 제품휘처형상을 도출하는 방법을 제안한다.

최적의 제품휘처형상을 도출하기 위해서 본 논문에서는 최적화 해법을 도출할 때 사용되는 이진 정수 계획법 (Binary Integer Programming) [2]을 이용한다. 이진 정수 계획법은 이진의 결정변수를 가진 선형 목적 함수의 최적 해를 구하기 위한 기법으로서, 정의 1과 같이 정의된다.

**정의 1.** 이진 정수 계획법은  $BIP = (c, x, A, b, Aeq, beq)$ 의 여섯 튜플로 구성되며, 다음과 같이 목적함수와 제약사항으로 정의된다. 단,  $x$ 는 0 혹은 1의 값만 갖는 결정변수들의 벡터,  $c^T$ ,  $b$ ,  $beq$ 는 계수 벡터,  $A, Aeq$ 는 계수 행렬을 나타낸다.

$$\begin{aligned} & \min(\text{or } \max)c^T x \\ & \text{subject to } Ax \leq b, \quad Aeq = beq \end{aligned}$$

먼저, 정의1에 나타난 바와 같이 목적함수를 정의하기 위해서는 계수벡터  $c^T$ 와 이진 결정변수 벡터  $x$ 를 정의하면 된다. 벡터  $x$ 는  $(f_1 f_2 \dots f_m)$ 로 정의되며,  $f_i$ 는 선택가능한 제품휘처를 의미한다. 계수벡터  $c^T$ 는 제품휘처와 품질속성과의 대응관계를 통해서 도출될 수 있다. 즉, 하나의 품질속성의 달성은 여러 제품휘처에 의해 영향을 받게 되므로, 품질속성-제품휘처 대응을  $QF$  행렬로 표현하였을 때,  $QF = [q_{ij}]$ 는 제품라인의 모든 휘처와 모든 품질속성 간의 상관관계를 표현한  $n \times m$  행렬로서,  $q_{ij}$ 는  $j$ 번째 휘처는  $i$ 번째 품질속성에 강한긍정(+2), 긍정(+1), 부정(-1), 강한부정(-2)의 값 중 하나를 갖는다. 이때, 제품휘처들에 대한 품질속성의 영향 값  $q_i$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$q_i = \sum_{j=1}^n q_{ij} \cdot f_j \quad (1)$$

1) 본 논문은 정보통신산업진흥원의 SW공학 요소기술 연구개발사업에 의해 지원 되었음을 밝힙니다.

본 논문에서는 요구되는 모든 품질속성을 최적화시키는 제품휘처형상을 찾는 문제를 다루므로, (1)에 정의된 각  $q_i$  값을 최대화시키는 방향으로 목적함수를 정의하면 된다. 이때, 요구되는 품질속성은 중요도가 다를 수 있기 때문에, 각 품질속성에 대한 정규화된 중요도(0에서 1사이의 값)를 나타내는  $w_i$ 를 곱하여 다음과 같이 목적함수를 정의한다.

$$\max \sum_{i=1}^m w_i q_i = \sum_{i=1}^m w_i \sum_{j=1}^n qf_{ij} \cdot f_j$$

즉, 다른 표현으로  $w = (w_1 \dots w_n)$ 이라 할 때,

$$\max (w \cdot QF)^T \cdot x \tag{2}$$

제품휘처 가변성 모델에는 유효한 제품휘처형상을 도출하기 위한 제약사항을 제품휘처 간의 의존관계로 표현한다. 따라서, 제품휘처 간의 의존관계를 이진 정수 계획법의 제약사항으로 변환하는 규칙은 다음과 같다.

휘처간의 의존관계	제약사항
필수 관계에 있는 두 휘처 $f$ 와 $f_1$ 은 $f$ 가 선택되면 $f_1$ 은 반드시 선택되어야 함을 나타낸다	$f - f_1 = 0$
선택 관계에 있는 두 휘처 $f$ 와 $f_1$ 은 $f$ 가 선택되면 $f_1$ 은 선택될 수 있음을 나타낸다.	$f - f_1 \geq 1$
배제 관계에 있는 휘처 $f$ 와 $f_1$ 은 동시에 선택될 수 없음을 나타낸다.	$f + f_1 \leq 1$
택일 관계에 있는 휘처그룹 $f_i (i=1\dots k)$ 는 휘처그룹의 단 한 휘처만 선택되어야함을 나타낸다	$\sum_{i=1}^k f_i = 1$
다중선택 관계에 있는 휘처그룹 $f_i (i=1\dots k)$ 는 휘처그룹의 휘처 중에서 하나 이상이 선택되어야 함을 나타낸다	$\sum_{i=1}^k f_i \geq 1$

이와 같이 최적의 제품휘처형상을 도출하는 문제를 이진 정수 계획법 문제로 변환한 후에, 이의 해를 계산해내는 도구인 Matlab의 최적화 도구 (Optimization Tool)를 이용하여 최적의 제품휘처형상을 도출한다.

본 연구는 휘처모델로부터 최적의 휘처형상을 도출하는 문제와 밀접하게 관련되어 있다. 최근들어 몇몇의 연구들이 휘처모델과 품질속성을 관련지어 이로부터 요구되는 품질속성 값을 최적화시키는 휘처형상을 이끌어 내는 연구가 있어왔다. Benavides [3]는 휘처의 속성으로 측정가능한 품질속성값을 정의할 수 있도록 휘처모델을 확장하고, 확장된 휘처 모델을 CSP (Constraint Satisfaction Problem)으로 대응시킴으로써, 요구되는 품질속성 값을 최적화시킬 수 있는 방법을 개발하였다. Tun [4]도 Benavides 연구와 비슷하게 휘처에 속성으로 정량적인 품질속성 값을 정의할 수 있게 하고, 이를 CSP로 대응시켜서, 최적의 휘처형상을 도출하는 방법을 제안하였으나, Benavides 연구와 다른 점은 제품 환경으로부터 유도되는 제약사항도 휘처형상을 도출하는 데 고려한 데 있다. 이들 연구에서는 품질속성을 특정 휘처의 측정가능한 속성으로 정의하였다. 하지만, 하나의 품질속성이 하나의 휘처에만 관련된 것이 아니라, 여러 휘처와 상관관계를 가지는 것이 일반적이다. 본 논문에서는 품질속성이 하나 이상의 휘처와 상관관계를 가지는 점에 착안하여, 최적의 품질속성을 만족시키는 휘처형상을 구하는 문제를 선형계획법의 특수한 형태인 이진 정수 계획법에 적용하였다

### 참고문헌

1. K. Lee, K. Kang, "Usage Context as Key Driver for Feature Selection, In: 14<sup>th</sup> International Software Product Line Conference, 2010.
2. A. Schrijver, Theory of Linear and Integer Programming, Wiley, 1998.
3. D. Benavides, P. Trinidad, A. Ruiz-Cortés, "Automated Reasoning on Feature Models". In: O. Pastor et al. (eds) KAISE 2005. LNCS, vol. 3520, pp. 491--503. Springer Berlin, 2005
4. T. T. Tun, Q. Boucher, A. Classen, A. Hubaux, P. Heymans, "Relating Requirements and Features Configurations: A Systematic Approach," In: 13th International Software Product Line Conference, pp.201--210, Carnegie Mellon University, 2009