

조립체 결함 분석 지원을 위한 영상 영역과 부품 정보의 병합

Integration of Image Regions and Product Components Information to Support Fault Analysis of Assemblies

양형정*, 김선희*, 김경윤**, 이형재*, 권오병***

전남대학교 전산학과*, Wayne State University**, 경희대학교 국제경영학부***

Hyung-Jeong Yang(hjyang@chonnam.ac.kr)*, Sun-Hee Kim(wdkal749@hanmail.net)*,
Kyoung-Yun Kim(kykim@eng.wayne.edu)**, Hyung-Jae Lee(hjgumsin@hanmail.net)*,
Oh-Byung Kwon(obkwon@khu.ac.kr)***

요약

조립체 공정은 많은 부분이 자동화 되었지만 결함 진단 부분에서는 포괄적인 의사 결정을 지원하기 위해 다양한 분야의 전문성과 지식을 필요로 하기 때문에 자동화가 이루어지지 않고 있다. 본 논문에서는 다양한 분야의 전문가가 쉽게 접근할 수 있고 직관적으로 이해할 수 있는 영상 정보를 이용한 조립체 결함 분석 지원시스템을 제안한다. 본 시스템은 영상 정보와 제품 설계 정보 그리고 결함탐지 정보를 병합함으로써 조립체에서 효과적으로 결함을 분석하도록 지원한다. 제안된 방법은 라벨링을 이용하여 조립체의 영상을 부품 단위로 분할하고 확장된 속성 관계 그래프(eARG)를 사용하여 설계 정보와 결함 분석 정보를 일관되게 표현하여 결함 정보를 영상 정보로부터 접근할 수 있도록 한다.

■ 중심어 : □결함 분석 □조립체 □속성 관계 그래프 □

Abstract

Mostly mechanical products are connected by several components instead of single accessory in product process. Although majority of assembly process is automated, the fault analysis is not automated because it needs expert knowledge in various fields to support inclusive decision-marking. This paper proposes an assembly fault analysis support system that uses image regions which can be easily accessed and understood by experts of various fields. An assembly fault analysis support system helps effective fault analysis from assembly by integrating image regions, product design information, and fault detection information. The proposed method enables fault information access from multimedia information by segmenting product images. After product images are segmented by labeling, design information and fault information are integrated in extended Attributed Relational Graph.

■ keyword : □Fault Analysis □Assembly □ARG □

* 본 연구는 문화관광부 지정 전남대학교 문화 콘텐츠 기술 연구소와 전남대학교 "고품질 전기전자부품 및 시스템 연구 센터"의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

접수번호 : #081018-001

접수일자 : 2008년 10월 18일

심사완료일 : 2008년 11월 09일

교신저자 : 양형정, e-mail : hjyang@chonnam.ac.kr

1. 서론

기계적 제품은 공정상 하나의 부품으로 이루어진 경우가 드물고, 여러 개의 부품이 연결되어 있는 조립체의 형태가 대부분이기 때문에 효율적인 조립체의 설계를 위해 자연히 시스템의 상호작용이 생기게 된다. 조립체의 공정은 많은 부분에서 자동화 되었지만 여전히 조립체 제품의 복잡성으로 인하여 윈드 노이즈(풍잡음), 누수, 도어 개폐력, 틈, 플라시 편차 같은 제품의 품질과 기능상 결함이 발생하게 된다. 이러한 시스템 상호작용으로 초래되는 결함 복구 비용은 제품 결함과 관련된 비용 중에 35-40%를 차지한다[1].

따라서 기계적 제품에 대한 효율적인 조립체 설계를 위해 결함 탐지(Fault Diagnosis, FD)를 위한 연구들이 필요하게 되었다. 고장형태 영향분석(Failure Mode and Effect Analysis, FMEA)은 구성요소에서의 결함 발생을 추정하고 결함이 시스템에 어떻게 영향을 미치는지를 예측하는 실패 분석의 상향식 접근 방법으로 알려져 있다. 제품 및 시스템 개발 과정에서 발생하는 신뢰성과 안전성에 대한 해석 기법인 FMEA는 자동차, 정밀기계, 전기·전자 등 제조업 분야의 제품 개발, 공정 설계 및 설비 보전 업무에 활용되고 있으며 제품 개발, 특히 제품 설계 과정에 필수적으로 수행해야 할 기본 과정으로 간주되고 있다. 그러나 전통적인 FMEA는 일관성이 없는 위험우선순위 결정과 개별적인 FMEA 보고서에 따른 단편적인 정보를 제공하는 단점을 보이고 있다. Kemnta와 Ishii[1]는 이러한 단점을 해결하기 위해 시나리오 기반의 FMEA를 제안했다. 그러나 FMEA는 여전히 전문가의 분석에 의존적이며 결함 진단을 하는 동안 시스템의 중요한 측면을 놓칠 수 있다는 단점이 있다.

이러한 이유로 많은 연구자들이 결함 탐지 모델과 척도를 개발해 왔으며, Apley와 Ding[2]는 분산 컴포넌트 추정 알고리즘과 자동화된 프로세스 내 측정 기술을 제안했다. 이 연구에서는 진단가능 조건을 기술하기 위해 진단가능 조건을 벡터 상의 조건 집합으로 변환했다. Lu, et al[3]은 기계학습 기법을 통해 자동 진단 지식을 학습하는 퍼지 시스템을 발표했다. Liu and Hu[4]는 다양한 변화 패턴이 조립체 결함 진단에서 중요하다는 것

을 보였으며, Vania and Pennachhi[5]는 회전 기계 진단에서 결함 식별 방법을 개발했다. 이 연구들은 특정한 문제 영역이나 의사결정 측면에 초점이 맞추어져 있기 때문에 결함진단에서 편향되는 결정을 피하기 위한 다양한 분야의 전문성과 지식을 필요로 하는 포괄적인 결함 진단 의사 결정을 지원하는 데에는 한계가 있다.

현재 기계 산업 분야에서는 라이프 사이클 비용 감소를 위해 협업적 기술을 이용한 패러다임이 제품 설계와 제품 개발(Product Design and Development (PDD))에 좀더 효율적인 방법이라고 알려져 있다. 따라서 Lima[6]은 공통의 매개체 역할을 할 수 있으며, 구조 정보를 저장할 수 있는 멀티미디어 기술을 결함 탐지를 위해 제안했다. 멀티미디어 정보는 의사결정을 지원하기 위해 영상과 3차원 그래픽, 그래프, 직선 차트, 막대 차트, 테이블, 음성, 텍스트와 같은 다양한 형태로 표현될 수 있기 때문에, 다양한 분야의 전문가가 협업하는 환경에서 효율적인 커뮤니케이션 프로토콜의 역할을 수행하여 커뮤니케이션 오류 발생을 감소시킬 수 있다.

그러나 멀티미디어 정보는 멀티미디어 정보 자체내의 특징 정보(예를 들어, 영상내에 표현된 그래픽 정보)만을 제공하는데, 보다 나은 의사결정을 위해서는 부가적인 정보가 자주 요구 된다. 즉, 영상의 그래픽적인 구조를 보는 것만으로는 결함 탐지를 위한 정확한 조립체 정보를 얻을 수 없고 용량 부하, 내구성을 위한 치원정보, 조립체 비용 등의 세부적인 특성이 조립체를 정확히 평가하기 위한 매우 중요한 요소이기 때문에 조립체의 설계 정보가 부가적으로 요구된다.

따라서 본 논문에서는 조립체 결함 분석을 지원하기 위해 영상 정보와 제품 설계 정보를 병합하는 방법론을 제안한다. 영상의 특징 정보와 제품 설계 정보를 병합하기 위해 본 논문에서는 확장된 속성 관계 그래프(eARG)를 사용한다. 속성 관계 그래프(ARG)[7]는 주로 그래픽 정보만을 가지고 영상을 표현하는 반면 확장된 속성 관계 그래프는 제품 관련 데이터와 결함관련 지식을 표현한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 조립체의 결함 탐지와 의사 결정 시스템에 대한 연구를 살펴보고, 3장에서 조립체의 제품 정보와 영상 정보의 병

합에 대해 살펴본다. 4장에서는 영상 기반 결합 분석 지원 시스템을 제안하고, 5장에서는 결론과 향후 연구를 살펴본다.

II. 관련 연구

결합 탐지 시스템은 크게 전문가의 결합진단 경험 지식을 지식 베이스로 구축하여 진단에 활용하는 경험적 분류(heuristic classification) 방식과 대상기기의 동작 지식과 구조 지식을 기본으로 하여 결합의 원인을 추론하는 모델 기반 진단 방식[6]으로 나눌 수 있다.

경험적 지식에 근거한 결합 진단은 양질의 결합 진단 지식 베이스가 구축된 경우에는 가장 효율적인 방식이 될 수가 있지만 양질의 지식 베이스를 구축하는데 많은 시간과 인력이 소모된다는 단점이 있다. 또한 예전에 경험하지 못했던 문제가 발생할 경우에는 유연성 있게 대처하지 못하는 단점을 가진다.

모델기반 결합 진단은 대상기기의 모델에 기반을 두는 방식이다. 즉, 대상으로 하는 기기가 정상적으로 동작할 때에 기기의 동작지식과 구조지식을 기본으로 하여 비정상적으로 동작을 수행하는 기기의 결합 원인을 파악하는 방식이다. 모델기반의 결합 진단은 모델의 올바른 동작 지식을 가지고 있기 때문에 과거의 경험과는 무관한 새로운 종류의 결합이 발생하더라도 그 결합의 원인을 알아낼 수 있다. 그러나 모델기반 결합 진단은 대상 기기의 입출력 값들과 구조로부터 증상들을 추론하여 원인을 파악하게 되므로 진단 속도가 늦은 단점이 있다. 또한 진단 대상이 되는 기기가 복잡할수록 구조 지식과 동작 지식을 정확히 파악하여 이를 지식베이스로 구축하기가 어렵다. 또한 모델에 기반한 방법은 시스템의 수학적 모델에 의해 제공되는 해석적인 기법을 기초로 하는 것으로서 시스템의 정확한 정량적 모델을 필요로 하므로 비선형성이 강한 시스템에는 적용이 어렵다는 문제점이 있다.

자동화된 조립체 공정은 대부분이 여러 개의 부품이 연결되어 있는 복잡한 시스템으로 제품의 품질과 생산력 부분에 큰 영향을 미친다. 따라서 제품 개발의 전과

정에서 조립체를 관리하고 효율적인 조립체를 설계하기 위한 조립체 결합 탐지는 필수적이다.

자동화된 조립체 시스템에서의 결합 탐지는 1970년에 처음으로 연구되기 시작했다. S. Srinivas[9]는 결합을 작동 결합, 정보 결합, 전제 결합, 제한된 결합 등 네 종류로 나누었다. MH. Lee[10]는 산업용 조립체의 결합 복구에 대해 연구했으며, P.M Taylor[11]는 랜덤하게 발생하는 결합을 탐지하는 확률적 계산 시스템을 제안했다. 이 시스템은 동적인 프레임워크로 복잡한 계산을 필요로 하는 문제점을 보인다. 이를 해결하기 위해 Ming Cong와 Jianzhi[12]는 자동화된 조립체에서 결합 탐지를 위해 VTR 메커니즘을 제안했다. 최근에는 자동화 조립체 시스템에서 설비 결합 진단을 위한 새로운 접근으로 다변량 통계분석에 사용된 지정된 구성요소 분석(designated component analysis,DCA)이 제안되었다[13].

이미지와 같은 멀티미디어 정보는 단순한 텍스트적 정보보다 전문가가 아닌 일반 고객과 각각의 역할이 다른 제품 개발 및 생산 유통 관계자들이 익숙하게 접근할 수 있는 데이터 형태로서 각 개발자들 사이의 공통된 관점을 유지 시킬 수 있는 커뮤니케이션 표준 프로토콜로 사용될 수 있다.

의사 결정 지원 시스템에서 멀티미디어 정보는 직관적인 정보의 제공을 통해 서비스 지향적이고 지식 집약적인 의사 결정을 도와주는 것으로 알려져 있다[14]. [14]에서는 텍스트와 정보 그래픽을 이용하여 그룹간의 온라인상에서 설명을 제시함으로써 의사 결정을 지원할 수 있는 시스템을 제안하고 있다. 멀티미디어 정보사용과 의사 결정 지원을 위한 어플리케이션은 텍스트, 음성, 테이블, 막대 차트, 직선 차트, 컴퓨터 플롯, 3차원 그래픽, 그리고 영상 같은 여러 가지 형태로 표현할 수 있다.

[6]에서는 형태학적인 측면의 구조 정보 저장을 위해 멀티미디어 기술 사용하였다. [15]에서는 정보 시스템의 유용성 인지에서 멀티미디어 기술에 대한 효과를 분석하였다. 텍스트 기반 표현과는 대조적으로, 멀티미디어 표현은 경험적 느낌에 의한 편견의 영향을 감소시킨다는 것이 증명되었다[7]. 그러나 여전히 기업 내에서 의사 결정자는 종종 적당한 멀티미디어 콘텐츠를 찾는데 어

려움을 경험한다. 이러한 이유로 Purao and Han[16]는 기업 인트라넷 시스템을 위한 멀티미디어 콘텐츠의 효율적 분배를 용이하게 하기 위해 퍼지 로직 기반 의사 결정 지원 시스템 방식을 제안하였다.

[17]에서는 온라인상에서 고객이 물건을 구매할 때 멀티미디어 기반 제품 표현에 지능적 조언을 포함시켜 의사 결정을 지원하는 시스템을 보이고 있다. 이 시스템은 고객의 동적인 선호도 변화를 고려한 조언으로 정확한 시간과 단계에서 제품에 대한 설명을 제시 할 수 있음을 보이고 있다. [18]에서는 인터넷을 통해 멀티미디어 데이터를 공유하고 이를 의사결정에 이용하는 가상 병원 시스템을 제안하고 있다.

그러나 기존의 멀티미디어 의사 결정 지원 시스템에서는 멀티미디어 데이터는 음성, 비디오 컴퍼런싱, 그래픽 모드 등 데이터를 표현하는 한 방법으로만 이용되고 멀티미디어 데이터가 실제 의사 결정 지원 시스템과 병합되어 모델 관리 관점에서는 사용되지 못하고 있다.

따라서 본 논문에서는 멀티미디어 정보가 결합 분석을 위한 정보로 이용되기 위해 확장된 속성 관계 그래프를 사용하여 멀티미디어 정보와 의사 결정 지원 시스템과 병합될 수 있는 결합 분석 지원 시스템을 제안한다.

III. 영상 정보와 부품 정보 병합

본 절에서는 조립체 결합 탐지를 위해 영상 분할에 의한 속성 관계 그래프를 생성하고 부품 설계 정보를 연결하여 확장된 속성 관계 그래프를 구축함으로써 일관된 프레임워크 내에서 영상 정보와 설계 정보 병합에 대해 살펴본다.

1. 영상 분할에 의한 속성 관계 그래프 생성 [19]

본 논문에서는 라벨링을 이용하여 제품 영상의 부품 영역을 분할하고 속성 관계 그래프로 표현한 후 제품 설계 정보와 조립체 결합 정보로 확장함으로써 조립체의 결합 분석을 지원한다. 이를 위해 본 논문에서는 먼저 여러 부품으로 구성된 조립체를 의미 있는 부품 영역으로 분리하기 위해 영상 분할을 수행한다. 본 연구에서는

영상 분할을 위해 영상에서 객체의 경계선을 추출한 후 경계선을 강화하여 객체 내의 각 부분을 인식하는 라벨링(EBL)[20] 방법을 적용하며, 영상 분할 후 과분할 된 영역은 의미 있는 부품으로 재형성하기 위해 병합한다.

경계선 추출 알고리즘은 인접 화소와 많은 차이가 나는 부분을 평균화하여 잡음에 효과적이며 전처리 과정 없이도 좋은 성능을 보이는 소벨 마스크를 사용한다.

일반적인 소벨 마스크는 경계선 알고리즘을 적용하고 그 결과를 이용해 이진화를 수행하기 때문에 경계선 알고리즘과 이진화 알고리즘 둘 다 적용되어 시간이 많이 소요된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 본 논문에서는 경계선을 추출하는 과정 중에 이진화를 수행하는 개선된 소벨 마스크를 사용하여 시간을 단축한다.

제품 영상에서 제품과 배경을 명확하게 구분하기 위해 원본 영상과 개선된 경계선 알고리즘을 적용한 결과 영상에 논리곱 연산을 수행한다. 논리곱 연산이 적용된 영상에 이진화를 이용해서 제품 영역과 배경을 구분한다. 이진화는 제품 영상의 단일 평균값을 기준으로 제품영역과 배경을 구분하는 단일 군집화를 이용한다.

이진화된 영상에 대해 인접하게 연결된 모든 화소에 동일한 번호를 붙이고 예지로 구분된 다른 연결 성분에는 다른 번호를 붙여서 영역을 구분하는 라벨링을 수행한다. 즉 분할된 부품 내 모든 화소는 같은 번호를 가지게 되며, 분할된 각 부품들은 서로 다른 번호로 구분한다. 라벨링 후 과분할 된 영역들을 의미 있는 부품 단위로 재형성하기 위해 분할된 영역들의 x 좌표와 y 좌표의 증가 비율을 기준으로 병합한다. 제품영상에서 분할된 영역 α_i 의 가장 왼쪽 화소 $\alpha(x_{left}, y_{left})$ 와 가장 오른쪽 화소 $\alpha(x_{right}, y_{right})$ 를 추출해 식 1과 같이 기울기를 구한다. 기울기의 계산에서 $\Delta x = 0$ 인 경우는 기울기를 계산할 수 없으므로 고려 대상에서 제외한다.

$$Slope(\alpha_i) = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_{right} - y_{left}}{x_{right} - x_{left}} \quad (1)$$

두 분할된 영역 α_i, α_j 의 비율이 다음 조건 중 하나를

만족하면 두 영역 α_i , α_j 는 병합이 된다.

- 조건 1 : $-1 < \text{Slope}(\alpha_i) \text{ and } \text{Slope}(\alpha_j) < 0$
- 조건 2 : $0 < \text{Slope}(\alpha_j) \text{ and } \text{Slope}(\alpha_i) < 1$
- 조건 3 : $1 < \text{Slope}(\alpha_i) \text{ and } \text{Slope}(\alpha_j)$
- 조건 4 : $\text{Slope}(\alpha_i) \text{ and } \text{Slope}(\alpha_j) < -1$.

[그림 1]은 두 부분으로 분할된 영역이 병합되는 과정으로 [그림 1]의 (a)는 4개의 영역 a, b, c, d를 포함하는 병합 전 영상이다. (b)에서는 식(1)에 의해 계산된 a, b, c, d 각각의 기울기를 보이고 있다 기울기가 0~1 사이에 있는 a=0.3425와 b=0.2184가 조건 2를 만족하여 병합되고 기울기가 -1보다 적은 c=-44.3564와 d=-74.3154가 조건 4를 만족하여 병합되어 [그림 1]의 (c)와 같이 병합된 영역 A, B를 보인다.

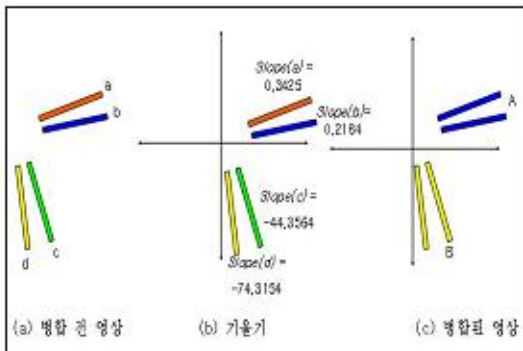


그림 1. 부품 병합 예

제품 영상으로부터 각 부품의 정보를 브라우징하기 위해 제품 영상이 분할되고, 분할된 영상과 부품의 정보가 속성 관계 그래프를 통해 표현된다. 라벨링에 의해 분할된 부품 영역은 속성 관계 그래프에서 노드로 표현된다. 각 분할 영역으로부터 추출된 노드의 속성은 비율, 수평 길이, 수직 길이, 영역의 넓이, R, G, B 각 채널의 평균과 표준편차, 무게 중심 등 26가지이고 노드 사이의 관계는 거리와 각도이다. [그림 2]는 제품 영상이 분할된 조립체 핀과 핀의 속성 관계 그래프를 표현한 것이다.

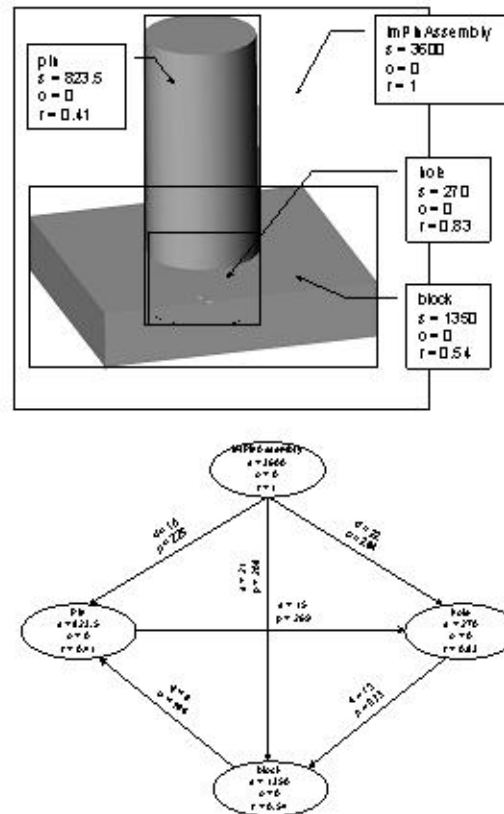


그림 2. 조립체 핀과 핀의 ARG

2. 확장된 속성 관계 그래프

3.1절에서 보인 속성 관계 그래프는 조립체 결합 탐지 의사 결정에서 중요한 역할을 하는 분할된 부품 속성, 조립체 관계, 결합 지식 등 엔지니어링에 관한 정보가 통합되어있지 않아 조립체 결합 분석을 지원해 줄 수 없다. 따라서 본 논문에서는 영상 정보에 설계 정보 및 결합 탐지 정보가 통합되는 확장된 속성 관계 그래프 (eARG)를 이용한다.

본 논문에서는 확장된 속성 관계 그래프를 생성하기 위해 속성 관계 그래프에서 노드를 정점 V 로 노드 사이의 관계를 에지 $E_{(i,j)}$ 로 표현한다. 속성 관계 그래프는 정점 V 의 집합과 에지의 집합 $\{e_{(1,2)}, e_{(1,3)}, \dots, e_{(p-1,p)}\}$ 로 구성되며, p 는 정점의 개수이다. 조립체 관계 모델과 일반적인 속성 관계 그래프를 병합하는 확장된 속성 관계 그래프 생성을 위한 4단계를

[표 1]과 같이 수행한다. 속성 관계 그래프는 A, 조립체 관계 모델은 O로 나타낸다.

표 1. 확장된 ARG 생성을 위한 4단계

STEP 1	두 개의 노드와 하나의 링크를 포함하는 기본적인 요소와 같이 각각 $O_1, O_2, \dots, O_{m1(m)}$ 와 $A_1, A_2, \dots, A_{n1(n)}$ 에서 조립체 관계 모델 O와 속성관계 그래프 A을 구분. NID와 NIA는 각각 O와 A로부터 생성된 기본적인 요소의 수를 나타냄.
STEP 2	하나의 집합 $V = (V_1, V_2, \dots, V_{m1(m)+n1(n)})$ 에 기본적인 요소의 두 집합을 병합.
STEP 3	V로부터 동일한 요소 제거. V_i 와 V_j 비교하여 동일할 경우 1족. 만약 두 개의 노드와 하나의 링크가 정확하게 서로 같다면 V_i 제거. $V = (V_1, V_2, \dots, V_{m1(m)+n1(n)})$ 로 V 수정. NIR은 제거된 기본 요소의 수를 표시.
STEP 4	V에 대한 병합 수행. 두 개의 요소 V_i 와 V_j 가 동일한 하나의 노드만을 포함하는지 비교. 다른 동일한 노드에 링크를 링크함으로써 병합 (combond) 요소 CV_s 을 생성하기 위해 시도. s는 만들어진 혼합 요소의 연계 수.

확장된 속성관계 그래프는 영상 클래스 인스턴스 그리고 해당되는 수학적 모델들에 대한 정보가 정리된 일관된 표현 스키마를 포함한다. 따라서 부품 영상으로부터 얻은 속성 관계 그래프와 유사한 조립체 속성 관계 모델은 서로 결합될 수 있으며 관련 있는 확장된 속성 관계 그래프를 [표 2]와 같이 형성할 수 있다. [표 2]에서 AM는 3D 조립체 모델을 나타내며, i는 조립체 index를 나타낸다. P_j 는 AM_i에 속하는 부품들이다.

표 2. 3D조립체 모델에서 엔지니어링 정보 병합을 위한 확장된 속성 관계 그래프 생성 단계

STEP 1	표준이 되는 관점에서 3D 조립체 모델(AM)을 얻는다 (isometric view, front view, right view, 그리고 top view)
STEP 2	COMP_CG(AM) 호출하고 REL_LOC _i 에 결과를 저장. COMP_CG(i)는 P _j 의 상대적인 위치와 CG _j 를 계산하는 함수다. CG _j 는 P _j 의 중심이다. REL_LOC _i 는 P _j 의 상대적인 위치이다.
STEP 3	고정된 관점으로 영상 I _j 생성. q는 생성된 영상의 index.

STEP 4	COMP_REL_LOC(AM, A _j)호출. COMP_REL_LOC(AM, A _j)는 i ₀ 의 ARG(A _j)와 상대적 위치를 비교하는 함수. 만약 정점 r_{i_0} 와 매칭되는 것을 찾는다면 ρ_j 와 같이 j에서 r_{i_0} (A _j)의 정점의 index ρ_j 로 변환. 모든 r_{i_0} 가 매칭되는지 확인.
STEP 5	A _j 와 O를 위해 확장된 ARG 생성 단계(표 1)에서 묘사된 수행. A _j 는 A _j '의 모든 r_i 의 index가 4단계를 통해 생성된 ARG이다. O는 AM과 ρ_j 가 결합된 i ₀ 에 대한 증가된 정보를 포함하는 조립체 관계 모델이다.

확장된 속성 관계 그래프 생성 단계는 속성 관계 그래프에 병합될 수 있는 엔지니어링 정보를 나타내는 조립체 관계 모델에 이용된다. 본 연구에서 결함 모드와 엔지니어링 매개 변수를 나타내는 시멘틱 네트워크가 멀티미디어 기반의 결함 탐지 지원 시스템을 실행하기 위해 이용된다. 모델 병합을 위해 O는 AM과 P_j의 결합 모드를 위한 시멘틱 엔지니어링 매개변수를 위한 시멘틱 네트워크이다.

[표 3]은 자동차 프레임의 일반적인 결함과 자동차 프레임 결함에 대한 정형화된 해결책을 명시하고 있다. 전형적인 결함으로는 크게 틈, 부식, 패스너 미싱과 구성요소간의 충돌이나 마찰로 나눌 수 있으며, 재료 약화로 인한 틈의 결함이 가장 많은 부분을 차지하고 있다. [표 4]는 핀의 결함 형태를 나타내는 XML 코드의 예이다.

표 3. 자동차 프레임 결함 모델

결함	설명	관찰되는 빈도 수	전형적인 해결책
틈 (crack)	금속재료의 약화로 발생한 금에 의한 틈	30%	1) Reduce the strain (e.g., thicker frame or add a brace or brackell) 2) Increase the allowable fatigue strength of the existing frame by changing the material properties 3) Reduce the stress concentration factors by increasing the size of a radius 4) Eliminate a weld that created a heat affected zone and replace it with a rivet, bolt, adhesive or other type of fastener.
부식 (corrosion)	가시적인 붉은 가루 (visible red dust)	25%	1) Add rubber or some energy absorbing material to reduce the impact 2) Reduce the stiffness of the frame so that it will bend more freely and not take a permanent set

미스너 유실 Missing fastener	연결부분 부실 또는 유실	15%	1) Add locking washers or nuts 2) Replace the bolt with a rivet 3) Replace the bolt with a weld
다른구 성요소 와의 충돌이 나 다할	베기가스, 연료탱크, 스프링, 쇼크, 타이어 등의 다른 구성 요소와의 충돌이나 다할	10%	1) Redesign the structure so that there is more clearance between components 2) Reduce the amount of allowable movement of the colliding components

표 4. 핀의 결함 정보 XML 코드 예

```

<?xml version="1.0" ?>
(Fault)
  (name) Pin Failure Mode ((name))
  (FailureMode)
    (Fracture)
      (name) Fracture ((name))
      (description) Special Pin or Screw w/o threads ((description))
      (observationFreq) 50% ((observationFreq))
      (solution) 1. Increase hardness or diameter ((solution))
    (Fracture)
      (name) Wear ((name))
      (description) Special Pin w/o threads ((description))
      (observationFreq) 30% ((observationFreq))
      (solution) 1. Increase hardness or diameter ((solution))
    (Wear)
      (name) Fracture ((name))
      (description) Special Pin w/o threads ((description))
      (observationFreq) 30% ((observationFreq))
      (solution) 1. Increase hardness or diameter ((solution))
    (Wear)
      (name) Fracture ((name))
      (description) Special Pin w/o threads ((description))
      (observationFreq) 30% ((observationFreq))
      (solution) 1. Increase hardness or diameter ((solution))
  
```

[그림 3]은 영상 정보 및 조립체 설계 정보와 결함 진단 정보를 병합하여 확장된 속성 관계 그래프로 [그림 2]의 속성 관계 그래프로부터 생성된 것이다.

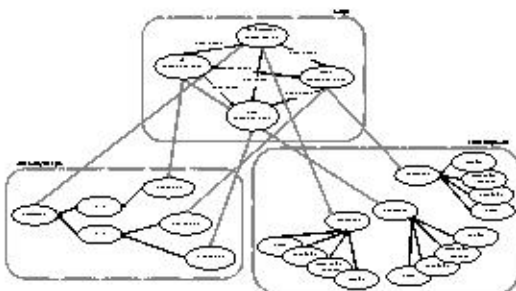


그림 3. 그림 2의 확장된 ARG

IV. 영상 기반 결함 분석 지원 시스템

본 논문에서 제안하는 시스템은 [그림 4]와 같이 영상 분할 모듈, 속성 관계 그래프 생성 모듈, 결함 분석 지원 모듈로 구성되어 있다. 제품 영상은 리벨링에 의해 분할되고 속성 관계 그래프로 표현된 후 제품 설계 정보와 결함 분석 정보가 추가되어 확장된 속성 관계 그래프로 생성된다. 생성된 속성 관계 그래프는 조립체 설계에 대한 결함 분석을 지원한다.

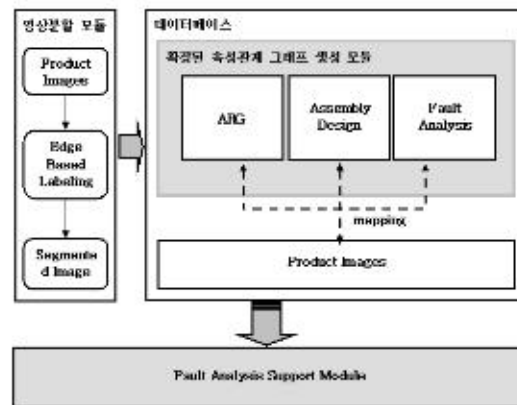


그림 4. 시스템 구조

[그림 5]는 영상 검색을 통해 검색된 제품의 설계 정보를 보이고 있다.

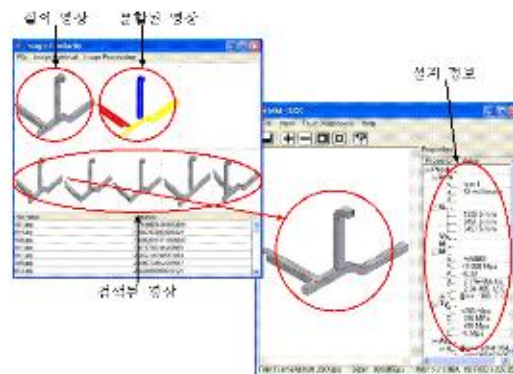


그림 5. 설계 정보 브라우징

[그림 6]은 자동차 프레임 결함 형태를 선택할 수 있

는 인터페이스이며 [그림 6]은 프레임 결함에 대한 해결책을 보여주는 인터페이스이다.

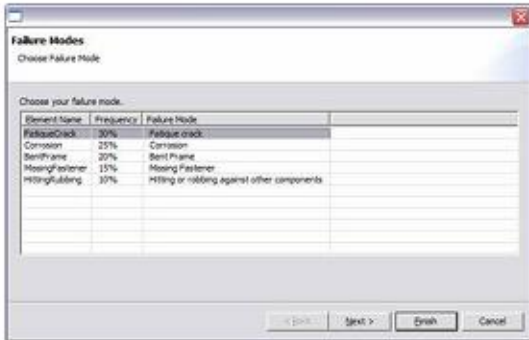


그림 6. 결함 형태 인터페이스



그림 7. 결함에 대한 해결책 인터페이스

V. 성능 평가

본 논문에서는 127개의 제품 영상과 11개의 질의 영상을 가지고 실험하였다. 결함 탐지 지원 시스템의 정확률과 재현률 그리고 조화 평균을 계산을 계산하기 위해 주어진 영상으로부터 찾아내야 할 영상의 수 nA 각 방법들이 찾아낸 영상의 총수 nR 찾아낸 영상의 수 중에 정답 영상과 일치하는 영상의 수 nC 를 구하고, 순위화 된 결과에서 상위 5%만을 선택하여 정확률, 재현률, 조화 평균을 히스토그램을 이용한 방법과 비교하였다.

표 5. 검색된 영상중 상위 5%에 대한 실험 결과

	정확율 ($P = nC / nR$)	재현율 ($R = nC / nA$)	조화 평균
속성 관계 그래프	44.77	72.88	57.71
히스토그램	38.88	55.93	44.28
차	8.11	18.95	13.43

[표 5]는 검색된 영상 중 상위 5%에 대한 정확률과 재현률, 조화 평균을 보이고 있다. 위의 실험 결과와 같이 본 논문에서 제안한 방법은 기존의 히스토그램 방법 보다 조화평균에서 13.43%의 나은 성능을 보이고 있다.

VI. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 멀티미디어 정보를 이용한 조립체 결함 분석 지원시스템을 제안하였다. 조립체 결함 분석 지원시스템은 영상 정보를 가지고 결함 분석 의사 결정 정보와 제품 설계 정보를 병합한 후 이를 이용하여 조립체의 결함을 분석한다. 여러 부품으로 구성된 부품의 영역 분할은 라벨링을 이용하였고 분할된 부품의 특징과 그들의 관계를 속성 관계 그래프로 표현했다. 조립체 영상으로부터 얻어진 속성관계 그래프와 설계 정보를 결합하여 확장된 속성 관계 그래프를 생성시켰다.

멀티미디어 기반 조립체 결함 탐지 지원 시스템은 질의 영상과 데이터베이스 영상들을 비교하여 유사한 영상을 검색하고 분석 정보를 제공함으로써 의사 결정자에게 효과적으로 결함을 분석 할 수 있도록 지원한다. 차후 노이즈에 강건하고 다양한 결함이 동시에 존재하는 경우에도 결함을 탐지하고 진단할 수 있는 탐지 및 진단 방법에 대한 연구가 요구된다.

참고문헌

[1] S. Kmenta and K. Ishii, "Scenario-based Failure Modes and Effects Analysis Using

- Expected Cost", *Journal of Mechanical Design*, Vol.126, pp.1027-1035, 2004.
- [2] W. A. Daniel and Y. Ding, "A Characterization of Diagnosability Conditions for Variance Components Analysis in Assembly Operations", *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, Vol.2, No.2, pp.101-110, 2005.
- [3] Y. Lu, T. Chen, Q. Chen, and B. Hamilton, "A Fuzzy System for Automotive Fault Diagnosis: Fast Rule Generation and Self-Tuning", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol.49, No.2, pp.651-660, 2000.
- [4] Y. G. Liu and S. J. Hu, "Assembly Fixture Fault Diagnosis Using Designated Component Analysis", *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, Vol.127, pp.358-368, 2005.
- [5] A. Vania and P. Pennachi, "Experimental and Theoretical Application of Fault Identification Measures of Accuracy in Rotating Machine Diagnosis", *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol.18, pp.329-352, 2004.
- [6] K. H. Lim, I. Benbasat, and L. M. Ward, "The Role of Multimedia in Changing First Impression Bias", *Information Systems Research*, Vol.11, pp.115-136, 2000.
- [7] J. Liu, W. K. Cham, and M. M. Y. Chang, "Online Chinese Character Recognition using Attributed Relational Graph Matching", *IEEE Proceedings: Vision, Image & Signal Processing*, 1996.
- [8] J. A. Twiddle and N. B. Jones, "Fuzzy model based condition monitoring and fault diagnosis of a diesel engine cooling system", *Proc. I. Mech. E., Proc. I. Mech. E., Section I*, Vol.216, No.13, pp.215-224, 2002.
- [9] S. Srinvas, "Fault recovery in robots through failure reason analysis", *Proc. of National Computer Conference*, Anaheim, California, pp.275-282, 1978.
- [10] L. Mark, H. Nigel, and B. Dave, "Error recovery in robot applications", *Proc. of the Sixth British Robot Association*, Birmingham, UK, pp.217-222, 1983.
- [11] P. M. Taylor, I. Halleron, and Y. K. Song, "The application of a dynamic error framework to robotics assembly", *IEEE 2nd Conf. on Robotics and Automation*, pp.170-175, 1990.
- [12] M. Cong, J. Zhang, and W. Qian, "Fault diagnosis system for automated assembly line", *Intelligent Processing Systems, ICIPS '97*, IEEE International Conference on, 1997.
- [13] A. Jaime, S. Carmelo, and J. Hu, "Multiple Fault Diagnosis for Sheet Metal Fixtures Using Designated Component Analysis", *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, Vol.126, Issue1, pp.91-97, 2004.
- [14] G. Carenini and J. Moore, "Multimedia Explanations in IDEA Decision Support Systems", *Working Notes of AAAI Spring Symposium on Interactive and Mixed-Initiative Decision Theoretic Systems*, 1998.
- [15] L. Kai H and B. Izak "The Influence of Multimedia on Improving the Comprehension of Organizational Information", *Journal of Management Information Systems*, Vol.19, pp.99-127, 2002.
- [16] S. Puroo and T. D. Han, "Distributing Multimedia Content to Balance Quality of Service and Cost", *Journal of Management Information Systems* Vol.17, pp.141-165, 2000.
- [17] Z. Jiang, W. Wang, and I. Benbasat, "Multimedia-based Interactive Advising Technology for Online Consumer Decision Support", *Communications of the ACM*, Vol.48, pp.92-98, 2002.
- [18] J. Galvin, M. D'Alessandro, W. Erkonen, W.

Smith, G. el-Khoury, and J. Weinstein, "The virtual hospital: Providing multimedia decision support tools via the Internet", Spine, Vol.20, pp.1735-1738, Aug. 1995.

[19] 이형재, 양형정, 김경운, 김수형, 김선희, "제품 설계 정보 재사용을 위한 제품 영상 분할 및 속성 관계 그래프 기반 검색 시스템", 정보처리학회 논문지, 제출, 2006.

[20] 이형재, 김용일, 양형정, "제품 설계 정보와 영상 데이터의 병합을 위한 예지 기반 라벨링에 의한 영상분할", 정보처리학회 추계학술발표논문집(상), 제12권, 제2호, 2005(11).

김 경 윤(Kyoung-Yun Kim)

정회원



- 1996년 : 전북대학교 산업공학과 졸업(학사)
- 1998년 : 전북대학교 산업공학과 졸업(석사)
- 2003년 : 피츠버그대학교 산업공학 졸업(박사)

- 2003년~2005년 : 피츠버그대학교 연구교수
- 2005년~현재 : Wayne State University 조교수
- <관심분야> : 협업적 설계, CAD/CAM, Telerehabilitation

저자 소개

양 형 정(Hyung-Jeong Yang)

정회원



- 1991년 : 전북대학교 전산통계학과 졸업(학사)
- 1993년 : 전북대학교 전산통계학과 졸업(석사)
- 1998년 : 전북대학교 전산통계학과 졸업(박사)

- 2003년~2005년 : 카네기멜런 대학교 연구원
- 2005년~현재 : 전남대학교 전자컴퓨터공학부 전임강사
- <관심분야> : e-Design, 데이터 마이닝, e-Learning

이 형 재(Hyung-Jae Lee)

준회원



- 2005년 : 여수대학교 전산학과 졸업(학사)
- 2005년~현재 : 전남대학교 전산학과 석사 과정 재학
- <관심분야> : 데이터 마이닝, e-Design, 인공지능

김 선 희(Sun-Hee Kim)

정회원



- 2003년 : 한국교육개발원 졸업(학사)
- 2006년 : 동국대학교 컴퓨터공학과 졸업(공학석사)
- 2006년 : 전남대학교 전산학과 재학 중(박사과정)

- <관심분야> : 데이터마이닝, 센서 마이닝, 스트림마이닝

권 오 병(Oh-Byung Kwon)

정회원



- 1988년 : 서울대학교 경영대학 경영학과 졸업(학사)
- 1990년 : 한국과학기술원 경영과학과 졸업(석사)
- 1995년 : 한국과학기술원 경영과학과 졸업(박사)

- 1996년~2003년 : 한동대학교 국제경영학부 부교수
- 2002년~2003년 : 카네기멜론대학 전산학부 방문 과학자
- 2004년~현재 : 경희대학교 국제경영학부 부교수
- <관심분야> : 상황인식 시스템, 의사결정지원시스템