

바운딩박스 기반 조립체 분해절차 생성 및 평가에 관한 연구

Bounding-box based disassembly sequence generation and its evaluation

*전창현¹, #최영¹, 양상욱²

*C. H. Jun¹, #Y. Choi (yychoi@cau.ac.kr)¹, S. W. Yang²

¹중앙대학교 기계공학부, ²중앙대학교 미래신기술 연구소

Key words : Disassembly sequence planning , Disassembly sequence evaluation

1. 서론

일반적인 제조업에서의 제품 개발 과정은 CAD를 통한 설계, 설계 결과에 대한 시뮬레이션, mockup 형태의 모델 제작, 시제품 개발 등의 과정을 거치게 된다. 이 과정에서 각 단계에서의 개발자 및 의사 결정권자간의 원활한 의사 전달은 실제 개발과정을 효율적으로 구성하는 데에 있어 필수적이다. 특히, 자동차 등과 같이 수천 내지 수십만에 달하는 많은 부분품들로 이루어진 제품에 있어, 디자인 과정에서 이러한 부품을 조립하고, 수정하는 작업은 제품을 평가하는 필수적인 과정이다.

CAD 데이터를 사용한 분해(disassembly) 시뮬레이션은 설계, mockup 제작, 검토, 수정으로 이루어진다. 제품 디자인 과정에 있어, 실시간으로 가상의 모델의 분해해 볼 수 있음으로 해서 분해절차를 위한 mockup 제작 과정이 필요하지 않게 된다.

본 연구는 바운딩박스 기반 조립체 분해 절차 생성 및 평가를 통하여 분해 작업 시 발생 할 수 있는 문제를 파악하고 이 문제를 미리 예견하여 설계에 반영하는 것에 목적을 두고 있다.

2. 기하학적 구속방향 기반 분해 절차 생성

바운딩박스 기반 조립체 자동적인 분해 절차 생성방법은 최근 연구된 3D-GCA(Geometric Constraint Analysis)방법을 활용하여 아래 Fig. 1과 같이 3단계로 나누어서 생성된다 [1].

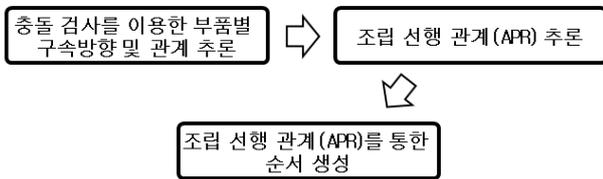
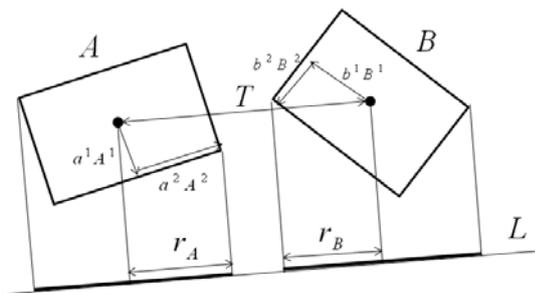


Fig. 1 Disassembly sequence generation

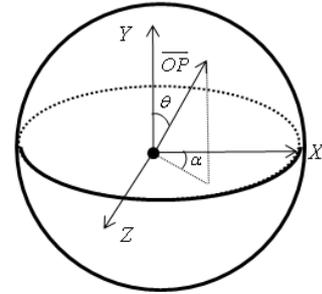
기존 연구에서는 자동적인 분해절차만을 생성하고 평가하였지만 본 연구에서는 부품별 기하학적으로 이동 가능한 방향 및 좌표를 추론하는 방법을 고안하여 로봇 팔이나 자동 조립 또는 분해 기계에서 사용 할 수 있는 좌표 추론 방법을 제시하였다.

2.1 충돌 검사를 이용한 부품별 구속방향 및 관계 추론



$$|T \cdot L| \geq r_a + r_b$$

Fig. 2 Fast overlap test for OBBs [2]



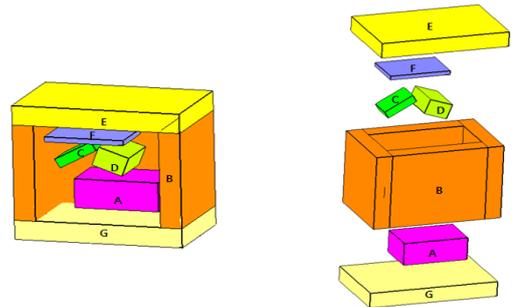
$$\vec{OP}(\theta, \alpha) \in \Omega, (0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ, 0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ)$$

Fig. 3 Spatial direction set [1]

Fig. 2와 Fig. 3은 충돌 검사 방법을 보여주고 있다. 조립체 부품들의 OBB(Oriented Bounding Box)를 생성하고 Separation Axis Theorem을 이용하여 OBB간 충돌 검사를 수행한다[1,2].

$$h \times \begin{bmatrix} x = \sin(\theta) \cdot \cos(\alpha) \\ y = \sin(\theta) \cdot \sin(\alpha) \\ z = \cos(\theta) \end{bmatrix} \quad (1)$$

이때 각 부품들은 Fig. 3에 나타난 3차원 공간상의 모든 이동방향인 Spatial direction set에 방향을 이용한다. (1)식에 h값을 증분시키면서 이동하며 충돌검사를 수행하고 구속방향 Ω 및 이동 가능한 방향과 좌표를 추론한다. θ 와 α 의 간격을 조정하여 3차원 공간상의 이동방향 수를 조절할 수 있다. 이를 통하여 3차원 공간상의 구속방향 및 관계를 계산한다.



(a) Assembled state (b) Exploded view

Fig. 4 Test data

Table 1 Part A's constraint relations with respect to others

Direction	Constrained part	Direction	Constrained part
$\theta = 0^\circ \alpha = 0^\circ$	D C F E	$\theta = 0^\circ \alpha = 270^\circ$	D C F E
$\theta = 0^\circ \alpha = 30^\circ$	D C F E	$\theta = 0^\circ \alpha = 300^\circ$	D C F E
$\theta = 0^\circ \alpha = 60^\circ$	D C F E	$\theta = 0^\circ \alpha = 330^\circ$	D C F E
$\theta = 0^\circ \alpha = 90^\circ$	D C F E	$\theta = 30^\circ \alpha = 0^\circ$	D B F E
$\theta = 0^\circ \alpha = 120^\circ$	D C F E	.	.
$\theta = 0^\circ \alpha = 150^\circ$	D C F E	.	.
$\theta = 0^\circ \alpha = 180^\circ$	D C F E	$\theta = 180^\circ \alpha = 270^\circ$	G
$\theta = 0^\circ \alpha = 210^\circ$	D C F E	$\theta = 180^\circ \alpha = 300^\circ$	G
$\theta = 0^\circ \alpha = 240^\circ$	D C F E	$\theta = 180^\circ \alpha = 330^\circ$	G

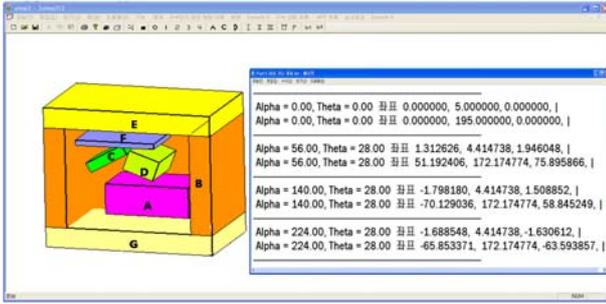


Fig. 5 Part E's translation limit

Fig. 4는 알고리즘 증명을 위한 예제 데이터이다. Table 1은 Fig. 4의 예제로 가지고 계산된 부품 A의 모든 부품의 구속 관계를 설명하고 있는 표이다. 조립 선행 관계 및 추후 추론된 분해절차를 평가하기 위하여 모든 부품은 다른 모든 부품들과의 관계를 나타내는 표를 가지고 있게 된다. Fig. 5는 부품 E의 기하학적 이동 가능한 좌표와 방향을 계산 한 그림이다. 이를 통해 부품 E에 자동적인 분해 작업 시 활용 될 수 있다.

2.2 조립 선행관계(APR) 추론

추론된 부품들의 구속 관계 중 3차원 공간에서 이동 할 수 있는 방향이 없는 즉 완전히 구속된 부품들의 구속 관계를 이용하여 논리합 연산(Disjunctive Normal Form)을 수행하여 조립 선행 관계를 구성한다 [3].

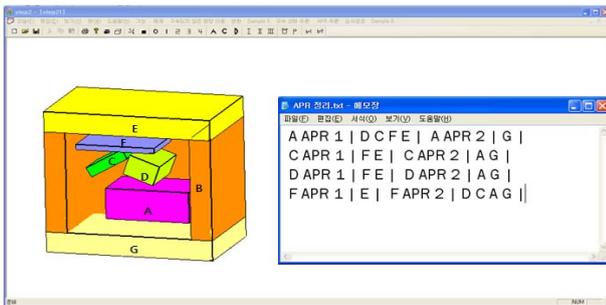


Fig. 6 Assembly precedence relations

Table 2 Assembly precedence relation(APR) for test data

Part	APR 1	APR 2
A	D C F E	G
B	-	-
C	F E	A G
D	F E	A G
E	-	-
F	E	D C A G
G	-	-

Fig. 6은 예제의 조립 선행관계를 계산한 그림이다. Table 2는 추론된 조립 선행관계를 표 형태로 그린 그림이다. Table 2와 같이 조립선행관계는 이동 할 수 있는 방향이 없는 즉 완전 구속 상태의 부분품에서만 추론되어질 수 있다 [3].

2.3 조립 선행관계(APR)를 통한 분해 절차 생성

추론된 조립 선행 관계를 통해 기하학적으로 실행 가능한 분해절차를 생성할 수 있다. 만일 부품에 총 수가 n개라면 n!개의 분해절차를 생성하고 생성된 절차 중 조립 선행관계에 만족하는 절차를 검색함으로써 기하학적 실행 가능한 분해절차를 생성할 수 있다. Table 3은 Fig. 4의 예제를 분해절차 추론 3단계를 이용하여 생성되어진 기하학적 이동 가능한 분해절차를 보여주고 있다.

Table 3 Generated disassembly sequence

Sequence 1	Sequence 2	Sequence 3	Sequence 4	Sequence 5	Sequence 6	Sequence 7
E	F	C	D	A	G	B
E	F	D	C	A	G	B
.
.
G	A	D	C	F	E	B
G	A	C	D	F	E	B

3. 분해 절차 평가

생성된 분해절차는 기하학적 이동 가능 방향의 총 수에 대한 평가와 일관된 분해 방향 평가로 2가지 평가기준으로 평가 할 수 있다.

첫 번째 기하학적 이동 가능방향 수에 대한 평가는 기하학적 이동 가능 방향이 많은 부품을 찾아 분해 작업 시에 자유도가 많은 부품을 우선적으로 분해 될 수 있게 하는 평가 기준이다. 이를 통해 조립체 모든 부품들 중 자유도가 많은 부품들을 우선적으로 분해 할 수 있을 것이다.

두 번째 일관된 분해 방향 평가는 분해 작업 시 작업자가 일관된 분해 방향으로 분해할 때 작업능률이 향상 될 수 있다는 전제를 가지고 일관된 분해 방향을 가지는 순서를 구하는 평가 기준이다. 이 두 평가는 Table 1과 같이 각 부품과 다른 모든 부품들의 각 표를 정리함으로써 평가 될 수 있다 [4].

4. 결론

본 연구에서는 마운딩박스 기반 조립체 분해 절차를 생성하고 이를 평가하는 방법을 제시하였다. 기존연구에서는 분해 절차와 평가방법을 제시하였지만 본 연구에서는 로봇 팔 이나 다른 자동 조립 또는 분해 기계에서 자동적으로 부품을 분해할 때 사용될 수 있는 좌표를 추론하였다. 이를 통해 분해절차 추론 및 평가뿐 아니라 분해 부품에 대한 기하학적 경로를 생성 할 수 있을 것이다. 또한 가상의 공간에서 부품들이 어떻게 분리될 수 있는 가를 추론 하고 이를 실시간으로 계산하여 설계자가 자신의 설계에 대한 조립성에 대해서 평가하여 수정 할 수 있다.

향후 연구방향은 본 연구에서 제시한 충돌검사 방법을 이용하여 분해 부품에 대한 기하학적 경로를 추출하고 평가하여 최적의 경로를 생성하는 연구를 수행하게 될 것이다.

후기

본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2009년도 산학연공동기술개발사업(No.2009-000370590109)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

참고문헌

1. Qiang Su and Sheng-jie Lai, "3D geometric constraint and its application on the spatial assembly sequence planning", International Journal of Production Research, iFirst, 1-20, 2009
2. Gottschalk S, Lin MC and Manocha D, "OBBTree: A hierarchical structure for rapid interference detection", Proceedings of the ACM SIGGRAPH Conference on Computer Graphics New Orleans, 171-180, 1996
3. Qiang Su, "A hierarchical approach on assembly sequence planning and optimal sequences analyzing", Robotics and Computer Integrated Manufacturing, 25, 224-234, 2009
4. Qiang Su, Sheng-jie Lai and Jun Liu, "Geometric computation based assembly angle, direction, reorientation, and stability", Computer-Aided Design, 41, 479-489, 2009