

선삭가공에 있어서의 가공 특징형상 추출 알고리즘에 관한 연구

(A study on the machining feature extraction algorithm for turning)

양 민양, 이 성찬

한국 과학기술원 기계공학과

Abstract

본 논문에서는 선삭가공용 부품에 대한 가공 특징형상 추출 알고리즘을 개발하였다. 먼저, 설계 특징형상과 가공 특징형상을 효율적으로 나타내기 위한 데이터 구조를 설계하고, 선삭가공에 사용되는 가공 특징형상의 특성을 검토하였다. 이러한 특성을 이용하여 주사선(Scan Line)과의 교점으로부터 가공 특징형상을 이루는 요소를 검색하고, 검색된 구성요소를 이용하여 가공 특징형상을 구성하였다. 본 연구에서 개발된 알고리즘은 기존에 사용되어 왔던 패턴비교 방법에서 주어진 패턴이외의 특징형상을 추출하기가 어렵고 계산 시간이 많이 걸리는 단점을 극복하였다. 또한 기존의 방법으로 해결되기 어렵던 가공 특징형상의 간섭의 검출에서 효율적으로 적용됨을 확인하였다.

Keywords: Machining feature(가공 특징형상), Scan Line(주사선), CAPP(컴퓨터 원용 공정계획), Turning(선삭가공), CAD/CAM

1. 서론

가공 특징형상은 부품의 가공에 있어서 중요한 요소로서 선삭가공의 설계와 대역 가공(Profil, 홈(Groove), U홈(U cut), 나사(Thread), 구멍(Hole) 등이 있다. 가공 특징형상은 가공과 밀접한 관련이 있으므로 전산 원용 공정계획(CAPP)이나 자동 NC 프로그래밍 등에서 중요한 정보로서 이용된다. 본 연구에서는 설계 특징형상을 이용하여 부품의 형상을 설계하고, 이로부터 가공 특징형상을 추출할 방법을 살펴본다.

선삭가공에 있어서 가공 특징형상의 추출에 관한 연구로는, [1][2][3]가 패턴 비교 알고리즘을 사용하여 가공 특징형상을 추출하는 연구를 하였다. 이 연구에서는 비교적 단순한 가공 특징형상의 조합에 의하여 복잡한 가공 특징형상을 기술하는 방식을 사용하였다. 이러한 방식을 사용할 경우에 가공 특징형상의 추출은 용이해 지는 반면에 임의로 가공 특징형상이 구분되기 때문에 공정계획 단계에 제한을 받게 되므로 부적당하다.

Suhay [2] (1990)은 그래프 탐색 알고리즘을 사용하여 선삭가공에서 가공 특징형상을 추출하는 시스템을 개발하였다. 이 시스템에서는 가공 특징형상을 단순한 형태로 복잡한 형태로 구분하여 추출하였다. 그래프 탐색 알고리즘을 사용하여 계산 시간이 많이 소요되는 단점이 있다.

기존의 패턴을 이용한 가공 특징형상의 추출 방법은 주어진 패턴 이외에는 추출이 불가능하다는 점 이외에도 계산 시간이 너무

많이 소요되고 가공 특징형상이 간섭이 일어날 경우에 이를 검출하지 못하는 단점을 가지고 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해서 본 논문에서는 가공 특징형상의 기하학적인 특성을 바탕으로 하여 선삭가공용 부품을 대상으로 가공 특징형상을 추출하는 알고리즘을 개발하였다. 개발된 알고리즘은 패턴 비교방법을 사용하지 않고 기하학적인 계산에 의하여 가공 특징형상을 추출하여 계산 시간의 단축과 패턴과 무관하게 가공 특징형상의 특성을 이용하여 가공 특징형상을 추출할 수 있으므로 알고리즘이 보다 일반적으로 적용될 수 있다는 장점이 있다.

2. 가공 특징형상의 추출

2.1. 설계 특징형상

본 논문에서는 선삭가공에 사용되는 설계 특징 형상을 Fig.1과 같이 정의 하였다. 설계 특징형상은 주 특징형상과 부 설계 특징형상으로 나눌 수가 있다. 주 설계 특징형상은 부모 설계 특징형상과 무관하게 정의될 수 있는 설계 특징 형상이고 부 설계 특징형상은 부모 설계 특징형상에 의하여 상대적으로 기술되는 설계 특징형상으로 정의된다.

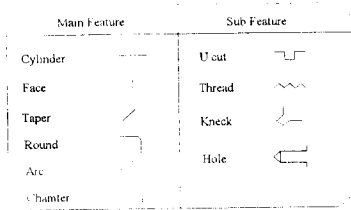


Fig.1 Types of design feature

설계 특징형상은 Fig.2에서 보는 바와 같이 기하학적인 정보 뿐 아니라 가공과 설계 특징형상간의 관계에 대한 정보도 포함하고 있다. 가공에 관련된 정보로는 가공 공차와 표면조도 등을 들 수 있다. 'Main type'은 설계 특징형상의 종류를 구분하고, 'Sub type'은 (홈이나 나사 등과 같이 각 설계 특징형상을 더 세분화하여 정의할 필요가 있을 때 사용한다. 'Main parameter'와 'Sub parameter'는 각각 구체적인 형상정보를 나타내고 공차에 관련된 정보로는 공차의 종류(예, 정차와 공차의 종류, 공차 값으로 나타낸다. 'Roughness'는 삼각기호의 갯수로 나타낸다. 'Offset'은 주 특징형상의 경우에는 내경이 관통된 경우에 형상 기술의 시작점의 편차를 의미하고 부 특징형상의 경우에는 나사, 홈 등에서 주 특징형상으로 부터의 편차를 의미한다.

Main type
Sub type
Main parameter (4)
Sub parameter(4)
Datum of tolerance
Tolerance type
Tolerance value
Roughness
Offset Z
Offset X
Next feature
Before feature
Sub feature

Fig.2 Contents of design feature

설계 특징형상간의 관계를 나타내기 위하여 본 연구에서는 Fig.3과 같은 데이터 구조를 사용하였다. 주 특징형상 간에는 'next'와 'before' 지시자(pointer)에 의하여 이중 연결구조(Double linked list structure)에 의하여 연결이 되고, 주 특징형상과 부 특징형상간에는 'sub' 지시자에 의하여 연결이 된다. 하나의 주 특징형상이 여러 개의 부 특징형상을 가질 경우에는 부 특징형상간에

는 주 특징형상과 마찬가지로 'next'와 'before' 지시자에 의하여 연결이 된다.

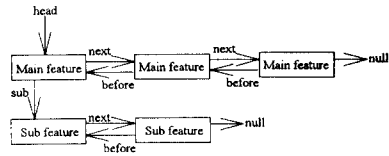


Fig.3 Example of data structure of design feature

2.2. 가공 특징 형상

기계가공에서 가공 특징형상은 가공의 단위가 되는 형상을 의미한다. 선삭가공에서는 외 내경 가공, 홈 가공, U홈 가공, 구멍 가공, 나사 가공 등 선삭가공에서 필요한 작업에 대한 각각의 형상으로 정의되며, Fig.4와 같은 종류가 있다.

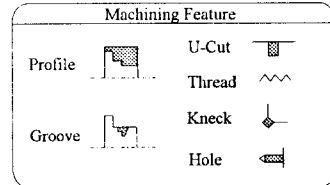


Fig.4 Types of machining feature

주 설계 특징형상의 경우에는 윤곽선과 홈으로 분리되는 반면에 부 특징형상의 경우에는 나사나 U홈과 같이 변환 없이 그대로 가공 특징형상이 된다. 가공 특징형상의 세부내용은 Fig.5와 같다.

Main type
Sub type
Main parameter (4)
Sub parameter(4)
Datum of tolerance
Tolerance type
Tolerance value
Roughness
Offset Z
Offset X
Next feature
Before feature
Sub feature
Group feature
Flag

Fig.5 Contents of machining feature

가공 특징형상의 데이터 구조는 설계 특징형상의 데이터 구조와 비슷하나 'group' 지시자와 'flag'가 추가된다. group 지시자는 가공 특징형상을 나타내기 위해서 쓰인다. Fig. 6에서 보는 바와 같이 주 특징형상에 가공 특징형상이 여러 개가 존재할 때 주 특징형상과 가공 특징형상의 연결은 'group' 지시자에 의하여 연결되고 가공 특징형상간의 연결은 'group' 지시자에 의하여 연결되고 각 가공 특징형상에서, 가공 특징형상 구성요소간의 연결은 주 특징형상과 같이 'next'나 'before' 지시자를 이용하여 연결된다.

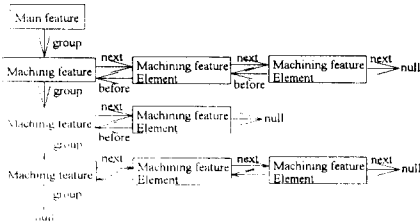


Fig. 6 Data structure of machining feature

'flag'는 가공 특징형상의 구성 단계에서 제거되는 형상에 대한 참고를 하고자 할 때 사용된다. 이 'flag'가 설정되어 있는 경우엔 'main type'은 제거된 형상의 번호를 저장하게 된다.

3.3. 주사선 알고리즘

본 연구에서는 홈이 다른 홈을 그 안에 포함하고 있는 경우에 가장 바깥의 홈만을 정의하였다. 선삭가공에서 홈을 가공하는 방법은 Fig. 7과 같이 여러가지의 경우가 있을 수 있다.

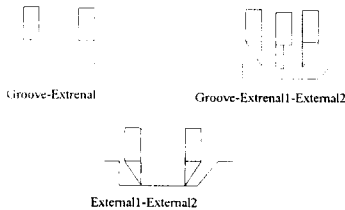


Fig. 7 Types of groove machining

가공 특징형상의 추출 단계에서 이를 여러 개의 홈으로 구분할 수 있도록 차후 공정계획 단계에 제한을 가하게 되기 때문에 바람직하지 않다.

Fig. 8에서 보는 바와 같이 선삭가공의 대상이 되는 부품의 경우에 가공 특징형상은 항상 주사선과 좌수 변채로 교차하는 설계 특징형상과 홈수 변채로 교차하는 설계 특징형상의 사이에 존재함을 알 수 있다. 또한 각 설계 특징형상의 가장 높은 점 가장 낮은 점, 가장 왼쪽 점, 가장 오른쪽 점과 같은 설계 특징형상의 특성점 (Characteristic point)을 각 축에 사영시킬 경우에 사영된 특성점

들 사이를 주사선이 지나갈 때에는 가공 특징형상의 구성요소는 변하지 않는다는 사실을 알 수 있다. 좌우측에 있는 형상의 경우와는 달리 내 외경의 경우에는 번호 매김에 있어서 주의될 요한다. 그 이유는 선삭가공용 부품의 경우에 축대칭이므로 보통 중심축에 대하여 한 측면만을 나타내기 때문에 내경이 없는 부품의 경우에는 바깥쪽에서 부터 번호를 세어야 가공 특징형상의 구성요소를 알 수 있다.

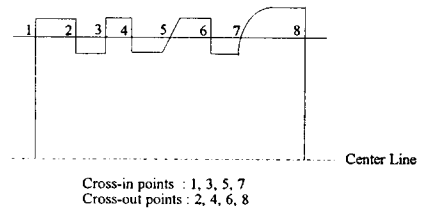


Fig. 8 The characteristic of machining features

이러한 특성을 사용하여 본 연구에서는 Fig. 9과 같은 단계에 의하여 가공 특징형상을 이루는 요소를 검색하였다. 먼저 외, 내경에 존재하는 가공 특징형상을 검색하고 좌우측에 대하여 같은 알고리즘을 적용한다.

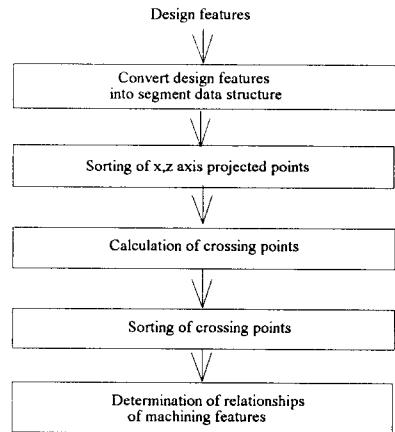


Fig. 9 Flowchart of scan-line algorithm

첫번째 단계는 설계 특징형상을 기하학적인 형상인 부분요소 (Segment) 데이터로 변환한다. 부분요소 데이터로 변환하는 이유는 원호의 경우에 그 자체로서 홈이 될 수 있기 때문에 이를 두 형상으로 구분하기 위한 목적이다. 원호의 경우에는 한 개의 설계 특징형상이 두 개의 부분요소로 구분된다. 부분요소 데이터 구조의 내용은 Fig. 10과 같다. 부분요소 데이터는 설계 특징형상의 데이터중에서 주 특징형상의 형상을 직선과 원호로 구분하고 Fig. 11과 같이 분할

과 수성이 용이한 매개변수 표현방법을 사용하여 표현한다.

Identification number of parent design feature
Type of segment
Start x coordinate of line segment
Start y coordinate of line segment
Increment of X coordinate
Increment of Y coordinate
Start angle of arc
Increment angle of arc
X coordinate of arc center
Y coordinate of arc center
Radius of arc

Fig. 10 Data structure of segment data

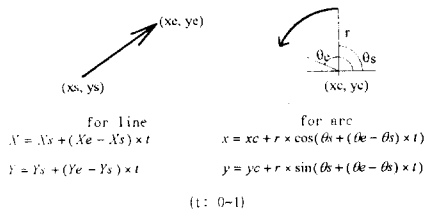


Fig. 11 Parametric representation of segment

부분요소는 형상에 관련한 데이터이므로 부분요소가 형성된 설계 특징형상에 대한 지시자를 가지고 있다. 이 지시자를 이용하여 부분요소가 어느 설계 특징형상에 연결되는 지를 알 수가 있다. Fig. 12에서 보는 바와 같이 한 개의 원호 설계 특징형상은 두개의 원호 부분요소 arc1과 arc2로 분리된다. 각각의 부분요소는 분리된 원호에 대한 정보를 가지고 있지만 같은 설계 특징형상에 대한 지시자를 가지지 않는다.

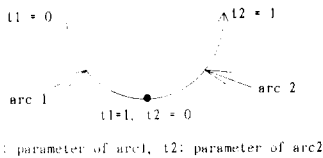


Fig. 12 Division of arc design feature into arc segments

두 번째 단계는 Fig. 13과 같이 각 형상의 끝점을 외 내경의 경우에는 1축에 좌 우측의 경우에는 2축에 사영시키고 이를 각 축에 대하여 정렬한다. 사영을 시키는 이유는 주사선을 같은 간격으로 검사할 경우에 주사선의 간격에 정밀도가 좌우되므로 간격을 동일 수 밖에 없고 따라서 계산 시간이 많이 소요되기 때문이다. 그런데 가공 특징형상의 특성상 각 사영된 점 사이에서는 가공 특징형상의 구

성요소가 변하지 않게 되므로 그 중 사영된 점들의 중간점들에 대해서만 주사선과의 교점을 계산하면 된다.

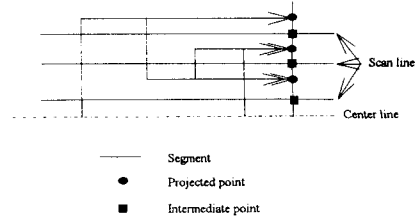


Fig. 13 Segment and projected points and Intermediate points

세 번째 단계에서는 정렬된 점들의 중간 점을 계산하고 이 점에서의 교차점을 계산한다. 네 번째 단계에서는 교차점을 각 축에 대하여 정렬을 한다. 정렬을 하는 이유는 정렬된 부분요소 번호의 순서에 따라서 내 외경의 구분과 좌 우측의 구분이 되기 때문이다. 다섯 번째 단계는 가공 특징형상의 포함 관계에 따라서 가공 특징형상들간의 간섭을 검사하고 이를 처리하는 단계이다. 가공 특징형상의 포함 관계는 Fig. 14에 보는 바와 같이 여러 종류가 있다.

본 연구에서는 수평 및 수직방향 주사선 검색에서 가공 특징형상의 구성요소 번호가 계산되므로 이들의 상관관계에 의하여 간섭이 일어나는 구성요소를 검색할 수 있다. 첫 번째의 경우에는 Fig. 14 (a)의 경우와 같이 어느 한 축에 있는 가공 특징형상에 있어 한 가공 특징형상이 다른 가공 특징형상을 완전히 포함하는 형태로서 이 경우에는 둘러싸고 있는 가공 특징형상이 안쪽에 있는 가공 특징형상을 포함하게 되므로 안쪽의 가공 특징형상을 제거한다. 두 번째 형태 (b)는 각기 다른 축에 있는 가공 특징형상이 서로 간섭을 일으키는 경우이다. 이런 경우에는 가공 특징형상의 해석에 따라서 다른 형태의 구분이 가능하게 되기 때문에 사용자가 이를 구분하도록 한다. 세 번째 형태 (c)는 각기 다른 축에 있는 가공 특징형상 중 어느 하나가 다른 축의 가공 특징형상을 포함하는 경우이다. 이런 경우에도 흠의 해석이 다를 수 있으므로 사용자가 이를 구분하도록 한다.

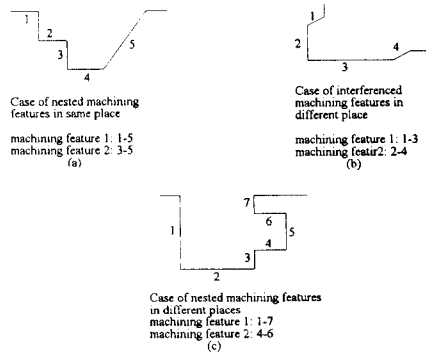


Fig. 14. Relationships of machining features

2.4. 가공 특징형상 데이터의 구성

주사선 알고리즘을 통하여 가공 특징형상의 구성요소가 판명되면, 이를 이용하여 가공 특징형상의 데이터를 구성하는 작업이 필요하다. 가공 특징형상의 구성 알고리즘은 먼저 Fig. 15와 같이 낮은 쪽이 원통형상인 경우에는 낮은 쪽을 연장시킨다. 이 경우는 연장된 형상이 가공 특징형상의 부모(parent) 형상이 되며, Fig. 16과 같이 낮은 쪽이 원통형상이 아닌 경우나 양 쪽이 원통형상이 아닌 경우에는 새로운 형상을 생성하고 이 형상이 부모 형상이 된다.

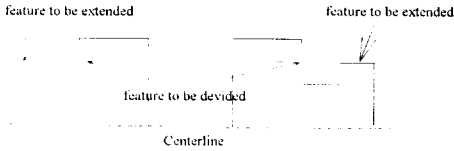


Fig. 15 Case: Lower feature is cylinder.

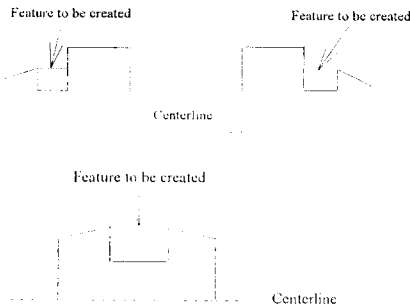


Fig. 16 Case: Lower feature is not cylinder or both are not cylinder.

높이가 같고 한 쪽이 원통 형상을 가지고 다른 쪽이 원통형상을 가지지 않는 경우에는 Fig. 17처럼 원통 형상을 연장시키면 된다. Fig. 18처럼 둘 다 원통형상을 가지는 경우에는 어느 한쪽의 원통 형상이 연장되는데 이때 연장에 의하여 다른 원통 형상이 제거되어야 한다. 이때 제거되는 형상을 참고로 하는 다른 가공 특징형상의 구성요소는 제거된 형상을 참고할 방법이 없게 된다. 따라서 본 연구에서는 이런 경우에 제거되는 형상의 'flag'를 설정하여 제거된 형상에 대한 참고를 대체된 형상을 참고하도록 하였다. 이때 대체된 형상의 정보는 'Main type'에 저장되어 있다.

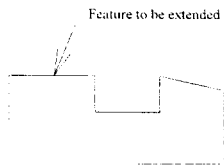


Fig. 17 Case: Only one feature is cylinder (equal height)

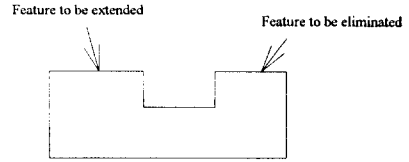


Fig. 18 Case: Both are cylinders (equal height)

3. 적용례

본 연구에서 개발된 알고리즘을 많은 예제에 대하여 검토를 한 결과 가공 특징형상을 정확하고 빠르게 추출이 가능하였다. 가공 특징형상 추출 시스템은 퍼스널 컴퓨터(Personal computer)에서 Microsoft C Compiler ver. 6.0을 이용하여 구현되었다. Fig. 19는 부품의 예로서 좌측, 우측, 내경, 외경에 가공 특징형상을 가진 비교적 복잡한 부품의 예이다.

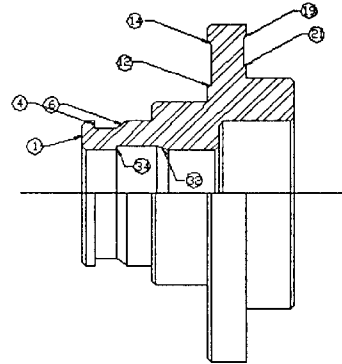


Fig. 19 Example part

먼저 주사선 알고리즘을 이용하여 구성요소를 검색한다. 검색된 구성요소는 Fig. 19와 같다. 이 예제에 대하여서 간섭의 유무에 대하여 검사해 보면 홈이 각 축에 존재하는 경우와 서로 다른 축에 존재하는 경우에도 번호를 조사해 보면 간섭이 일어나지 않음을 알 수 있다. 주사선 알고리즘은 수평 주사선과 수직 주사선에 의하여 적용이 되므로 좌 우측의 구분과 외 내경의 구분이 되어 있지 않다. Fig. 20에서 보는 바와 같이 수평 주사선에 의한 검색의 경우에는 외 내경쪽에 있는 가공 특징형상의 경우에는 구성요소가 시작되는 번호와 끝나는 번호가 증가하는 형태로 되어 있으면 외경쪽에 존재하는 경우이고 감소하는 형태로 되어 있으면 내경 쪽에 존재하는 경우이다. 좌 우측에 대해서도 이와 같이 번호에 의하여 구분이 가능하다.

External and internal machining feature

- 1) start= 4, end=6 [increasing number: External]
- 2) start=34, end=32 [decreasing number: Internal]

Left and right machining feature

- 3) start= 19, end= 21[increasing number: Right]
- 4) start= 14, end= 12[decreasing number: Left]

Fig.20 Elements of machining feature for the example part

추출된 가공 특징형상이 Fig.21과 같고, 추출에 필요한 계산 속도는 IBM 486DX2 66MHz인 컴퓨터에서 1초 미만이었다.

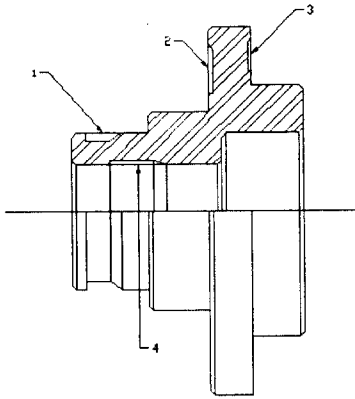


Fig.21 The result of machining feature extraction

4. 결론

- 1. 선삭가공에서 가공 특징형상의 기하학적인 특성을 이용하여 이들 가공 특징형상의 구성요소의 검색에 적용하므로써 기하학적인 처리만으로 가공 특징형상의 구성요소 검색이 가능하였다.
- 2. 설계 특징형상을 Z, X축 상에 사영하고 이를 정렬한 뒤 그 중간 선만을 검색하여 정밀도의 향상뿐 아니라 계산 시간의 단축이 가능하였다.
- 3. 기존의 알고리즘에서는 예외적인 경우에 대하여 발견이 불가능한 경우에 대해서도 구성요소 번호의 중첩 여부에 의하여 각각의 경우를 구분할 수 있게 함으로서 알고리즘의 신뢰성을 높였다.

참고문헌

[1] Li, R.K. 'A part-feature recognition system for rotational parts' *Int. J. Prod. Res* Vol 26

No 9(1988) pp 1451-1475

[2] Sahay, A. 'A methology for recognizing features in two-dimensional cylindrical part designs' *Int. J. Prod. Res.* Vol 28 No 8(1990) pp 1401-1416

[3] Dong, Z. and Soom, A. 'Computer-automated interpretation of 2-D CAD databases for rotational parts' *Integrated and Intelligent manufacturing ASME WAM PED-Vol 21*(1986) pp 181-192

[4] Woodward, J.R. 'Some speculations on feature recognition' *Computer Aided Design* Vol 20(1988) No 4 pp 189-196

[5] Joshi, S. and Chang, T.C. 'CAD interface to automated process planning' *Proceedings of 19th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems*(1987) pp 39-45

[6] Henderson, M.R. and Anderson, D.C. 'Computer recognition and extraction of form features: a CAD/CAM link' *Computers in Industry* Vol 5(1984) pp 329-339

[7] Timo, L. and Mariti, M. 'Feature modeling by incremental feature recognition' *Computer Aided Design* Vol25(1993) pp479-492

[8] Ferreira J.C. and Hinduja, S. 'Convex hull-based feature-recognition method for 2.5D components' *Computer Aided Design* Vol22(1990) pp41-49

[9] Iain A. and Jornathan R.C. 'Rule-based feature recognition for 2.5D machined components' *Int. J. Computer Integrated Manufacturing* Vol6(1993) pp51-64

[10] Tseng, Y and Joshi, S. 'Recognizing multiple interpretation of interacting machining feature' *Computer Aided Design* Vol26(1994) pp667-688