한국공작기계학회 2002 추계학술대회 논문집 pp. 353~358

형상기반의 CAIP 시스템 개발

A feature based Computer Aided Inspection Planning system

윤길상*(인하대 기계공학과 대학원), 조명우, 이홍희(인하대 기계공학부)

G. S. Yoon(Graduate school, INHA Univ.), M. W. Cho, H. H. Lee (INHA Univ.)

ABSTRACT

A feature-based inspection planning system is proposed in this research to develop more efficient measuring methodology for the OMM (On-machine measurement) for complicated workpiece having many primitive form features. This paper focuses on the development of the CAIP (computer-aided inspection system) methodologies. The optimum inspection sequences for the features are determined by analyzing the feature information such as the nested relations and the possible probe approaching directions of the features, and forming feature groups. A series of heuristic rules are developed to accomplish it. Also, each feature is decomposed into its constituent geometric elements, and then the number of sampling points, the locations of the measuring point, the optimum probing path are determined by applying the fuzzy logic, Hammersley's method, and the TSP algorithm. To verify the proposed methodologies, simulations are carried out and the results are analyzed.

keyword : Inspection Planning(측정계획), On-the Measuring Machine(OMM, 기상측정)

1. 서 론

기상측정(OMM, On-the Measuring Machine)은 일반적으로 가공 중간이나 가공이 완료된 후 CNC 머시닝 센터에서 측정작업을 수행하기 위하여 개발되었으며, 3 차원 측정기에 비해 측정정밀도는 낮으나 공작물을 이동시키지 않고 측정작업이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 현재 기상측정에 관한 연구는 정밀도의 향상에 관한 분야와 상용화 할 수 있는 측정시스템의 개발에 집중되어 있다.[1]-[4] 일반적으로 가공된 제품이나 금형은 복잡한 3 차원 형상을 가지고 있는 경우가 많으며, 이러한 형상의 대상물에 대한 형상별 측정 순서와 측정에 필요한 요소의 결정은 대부분 사용자의 경험에 의존하고 있는 실정이다. 이러한 비효율적인 측정계획 수립방식은 측정 정밀도와 전체 소요되는 측정시간에 영향을 주며, 경제적인 손실을 초래한다고 할 수 있다. 본 연구는 복잡한 형상을 가지는 물체에 대하여 기상측정작업을 수행할 때, 대상물의 형상특징을 기반으로 하여 최적의 측정순서와 측정계획을 수립하기 위한 측정계획 방법의 개발에 대하여 다루었다. 이의 개발을 위하여 공작물의 형상특징을 이용하여 형상별 측정 순서를 결정하고, 결정된 형상은 측정에 용이한 형태의 측정객체로 분류되었으며, 분류된 형상에 대하여 각각 측정점의 수와 위치, 그리고 측정경로를 결정하여 효율적인 측정작업의 수행이 가능하도록 하였다. 제시된 방법의 검증을 위하여 적절한 시뮬레이션이 수행되었으며, 그 결과를 분석하여 그 효용성을 검토하였다.

2. CAIP(Computer Aided Inspection Planning)

본 연구의 기상측정(OMM)을 위한 측정계획(CAIP)은 다음과 같은 세부 과정으로 구성되어 있다.

1. CAD file 과 Interface.
2. 측정 대상물의 형상(features) 인식.
3. 프로브의 측정방향(PAD, probe approach direction)과 형상간의 관계에 따르는 측정형상 그룹(inspection feature group) 결정.
4. 측정형상 그룹(inspection feature group)에 포함된 형상(feature)들의 측정 순서 결정.
5. 형상(feature)을 측정 객체(inspection element)로 분류.
6. 측정 객체의 측정점의 수와 위치 결정.

7. 측정 경로(Probing Path) 결정.
8. 충돌 체크(Checking Collision)
9. Simulation & 결과 해석

2.1 측정 형상 정의

측정 대상물은 일차적으로 가공으로 생성된 형상(feature)의 집합이나, 형상간의 관계에 의해 구성된 형상의 집합체이다.[5][6] 그러므로 대상물을 가공 형상(manufacturing feature)으로 분류하였다.(Fig.2) 측정 대상물의 형상은 가공의 방법과 가공 공정의 형태에 따라 정의 될 수 있으며, 공작기계와 접촉식 측정기의 시스템이 매우 유사하기 때문에 이런 형상은 직접적으로 측정에 이용될 수 있다. 또한 공작기계에서 직접 측정 작업을 수행하는 기상측정의 경우는 가공 형상정보가 더욱 유용하게 이용될 수 있다. 본 연구에서는 대상물을 특징 형상(feature)별로 분류하였으며, 가공에서 생성된 최종 형상은 이런 분류 형상의 조합으로 재 구성하였다. 분류된 형상은 각각 프로브의 접근 방향(PAD, probe approach direction)을 가지고 있는데, Fig.2 형상의 경우는 PAD 가 -z 방향 하나 뿐이다. Fig.3 은 본 연구에서 제시한 방법을 적용하여 각 형상에 대해 측정 순서를 결정하기 위한 대상물이다. S_M 는 프로브의 접근 방향에 따르는 대상물의 면(surface)이며, M 은 1-6 이다. 그러나 S_6 은 측정 프로브가 접근 불가능한 지역이기 때문에 측정할 수 없는 지역으로 분류될 수 있다. F_N 은 생성된 형상의 고유 ID 이며, N 은 정수로 표기된다. 또한 F_{SM} 은 각 형상을 제외한 S_M 에 남아있는 면(surface)을 의미한다. F_{S1} 이면 S_1 에서 F_1 - F_{13} 을 제외한 면이다. Fig.4 는 대상물의 개별 형상간의 기본적인 기하학적 상관관계를 도시화 한 것이다.

2.2 형상(feature)별 측정 순서(sequence) 결정

분류된 형상들은 형상간의 관계와 프로브의 접근 방향(PAD)에 따라 형상(feature)의 그룹으로 조합할 수 있다. 구성된 형상그룹과 그룹에 속한 형상의 측정 순서를 결정하게 되는 데 이에 적용한 규칙(rule base)은 다음과 같은 9 개(Rule 1 – Rule 9)로 구성되어 있다.

Rule 1) PAD 따른 형상 관계 규칙.

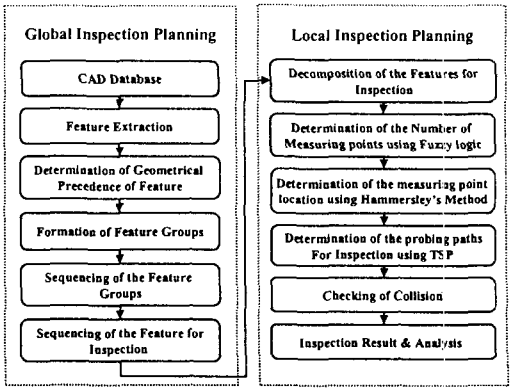


Fig.1 Overall schematic diagram of the proposed inspection planning strategy

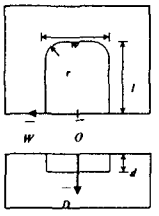
Feature	SLOT-5	Class	SLOT
		$\overline{O}$: position vector of origin $\overline{W}$: direction vector of width $\overline{D}$: direction vector of depth l : length w : width d : depth r : corner radius $PAD = \{\overline{D}, \overline{D} \times \overline{W}\}$	

Fig.2 An example of predefined manufacturing feature

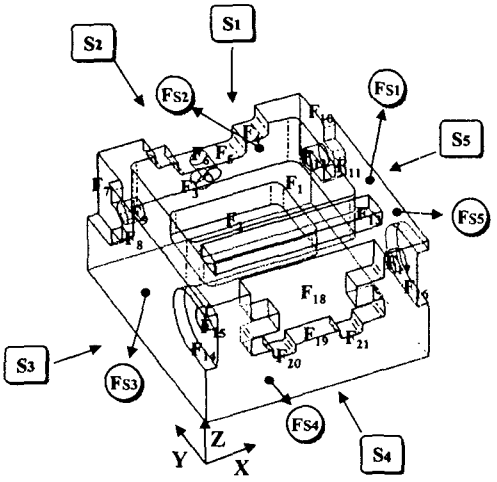


Fig.3 An example part and its features

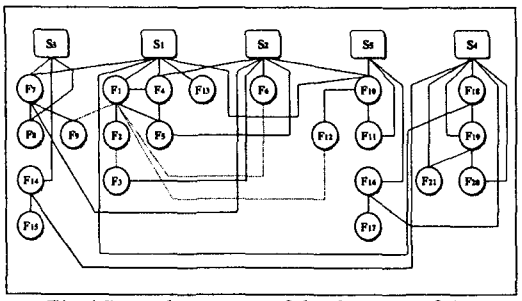


Fig.4 Precedence tree of the features of the example part

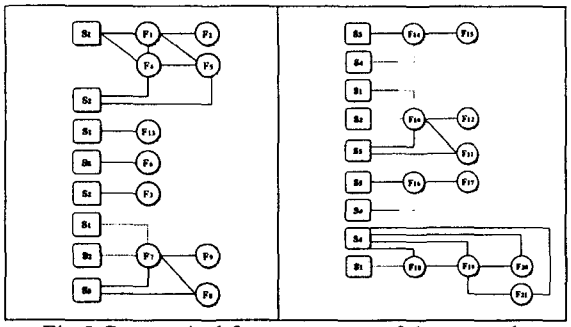


Fig.5 Geometrical feature groups of the example part

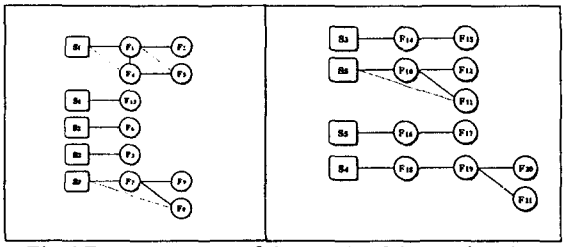


Fig.6 Feature groups of the result of the application of Rules 4,5and 6

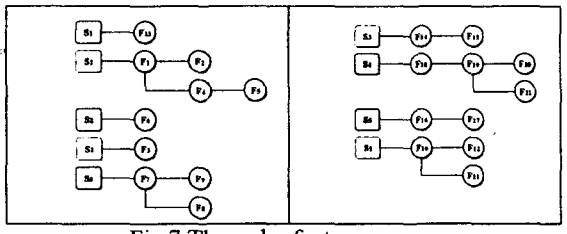


Fig.7 The order feature groups

형상간은 기하학적 상관관계를 가지고 있지만, PAD 가 다르다면 상관관계는 성립되지 않는다 Fig.3 에서 F_1 과 F_6, F_1 과 F_{12} 은 그리고 F_1 과 F_9 는 Rule 1 에 의거하여 PAD 가 다르기 때문에 형상간의 기하학적 관계(geometric relationship)는 배제된다. Fig.4 에서 형상간의 연결이 점선으로 표기된 관계가 본 규칙의 적용 대상이다.

Rule 2) 기하학적 형상그룹의 구성 규칙.

기하학적 연관이 있는 형상들은 형상 그룹(feature group)으로 구성할 수 있는데, 형상(feature)간의 기하학적 관계(geometric relationship)가 없는 형상이 존재한다면 독립적인 형상그룹으로 생성, 분류된다. 또한 S_M 으로 표기된 상위 면(parent surface)은 Rule 2 에 제외된다. (Fig.4)

Rule 3) 형상그룹의 PAD 적용 규칙.

결정된 형상 그룹에서 PAD 가 일치 하지 않은 형상이 존재한다면, 형상그룹과의 관계는 성립되지 않는다. (Fig.5)

Rule 4) 형상그룹의 상위 면(parent surface) 결정 규칙.

형상그룹이 두개 이상의 상위 면과 관계(relationship)가 있다면, 먼저 S_1 을 선택되고, 만약 S_1 이 존재하지 않으면 S_M 의 M 의 번호가 큰 순으로 우선한다. Fig.5 에서 S_1, S_2 가 F_4 , F_5 와 그룹간의 관계가 성립되지만, Rule 4 에 의해 S_2 와 F_4, F_5 의 관계는 더 이상 관계가 성립되지 않는다. (Fig.5)

Rule 5) 동등관계를 유지한 형상간의 상위 면(parent surface) 결정 규칙.

동일 형상 그룹에서 상위 면과 연관 관계가 동등한 형상이 한 개 이상일 경우, S_1 에서 근접할수록 측정 순서가 우선한 형상으로 판단한다. Fig.5 의 S_4 와 F_{18} , F_{19} , F_{20} 관계에서 F_{18} , F_{19} , F_{20} 는 형상간 동등한 관계를 유지하고 있으나 Rule 5 에 의하여 F_{18} - F_{19} - F_{20} 의 순으로 관계를 조정한다. (Fig.6) 만약 S_1 의 거리가 같다면 S_2 -S_3 -S_4 -S_5 순으로 상위 면을 순차적으로 적용한다.

Rule 6) 동일 형상그룹에서 형상간의 연관 거리에 따른 관계 규칙.

각 형상그룹에서 형상간의 연관 경로 (relationship path)가 근접할수록 관계는 성립되지 않는다. S_3 과 F_8 의 관계에서 S_3-F_8 과 S_3-F_7-F_8 의 두 개의 연관 경로 가 있다. 이들 가운데 Rule 6 에 의해 S_3-F_8 의 관계는 성립되지 않는다. (Fig.6)

Rule 7) 서로 다른 형상 그룹의 측정 순서 (inspection sequence) 결정 규칙.

서로 다른 형상 그룹간의 측정 순서는 상위 면(parent surface)의 순으로 (S_1-S_2-S_3-S_4-S_5) 측정을 수행한다. 상위 면에 한 개 이상의 형상 그룹이 존재 하면, 다음 측정할 상위 면에 측정거리가 멀수록 먼저 측정한다. S_1 의 F_{13} 이 속한 그룹과 F_1 이 속한 그룹의 순서 결정은 S_2 에서 먼 F_{13} 이 속한 형상 그룹이 측정에 우선한다.

Rule 8) 중복 상위 면(parent surface)의 면 결정 규칙.

한 개의 형상 그룹이 두 개 이상의 상위 면에 기하학적 관계를 가지고 있을 경우, 현재까지 결정된 순에 우선한 선행 상위 면(first parent surface)은 연관 관계를 유지하고, 나머지 상위 면은 관계가 성립되지 않는다. (Fig.7)

Rule 9) 측정 형상 그룹(inspection feature groups)간의 측정 순서 결정 규칙.

대상물의 좌표를 결정하기 위해 초기에 F_{s1}, F_{s3} , F_{s5} 을 측정하고, 상위 규칙에서 결정된 형상 그룹별로 측정의 순서를 결정한다.

Fig.8 은 제시한 9 개의 규칙(rule)에 따른 형상별 측정 순서를 결정한 것이다.

3. 측정 객체의 기상측정

각 형상(feature)은 측정에 용이한 형태의 측정 객체(inspection elements)로 재 분류된다. 측정 객체의 분류 체계는 Fig.9 와 같다. 위에서 결정된 측정 순서 1(surface order :1)의 경우를 수행 할 경우, Fig.10 과 같이 측정 형상(feature)별로 분류되며, 분류된 형상은 다시 측정에 용이한 형태의 Fig.11 과 같이

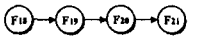
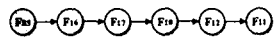
Surface order	Inspection Sequence	PAD
1,3,4		-Z
1		-Z
2		-Y
3		+X
4		+Y
5		-X

Fig.8 Inspection plan result

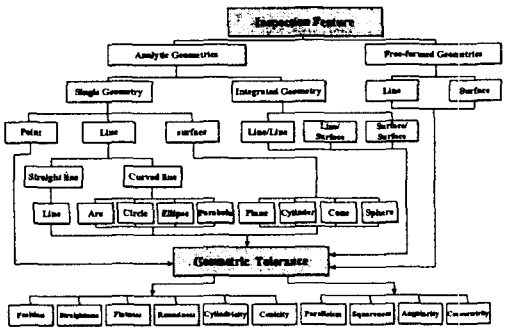


Fig.9 Geometric feature classification for inspection

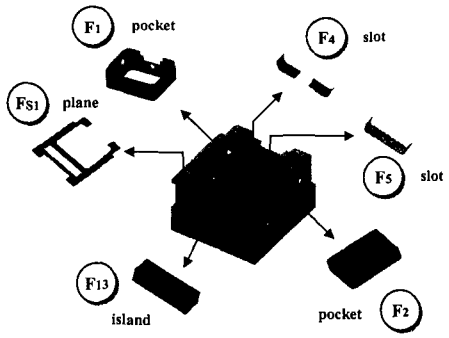


Fig.10 Decomposition into inspection features

분류된다. 분류된 측정 면(surface)은 고유의 ID 가지고 있으며, pocket F_2 의 경우는 9 개의 객체(elements)들로 구성되어 있다.

3.1 측정 요소 결정

각 객체들은 측정에 필요한 요소들을 결정해야 하는 데, 그 요소로는 측정점의 수,

측정 위치, 측정 경로가 있다. 추가적으로 non-contact points 의 재배치, 충돌에 대한 고려가 필요하다. 본 연구에서는 이들을 결정하는 방법으로 Fig.12 와 같은 방법을 적용하였다.

(1) 측정점의 수 결정

측정점의 수는 측정에 있어 측정 정밀도에 가장 큰 영향을 미친다. 또한 기상측정의 경우는 공작기계를 사용하기 때문에 공작기계의 정밀도의 고려와 측정 객체의 크기에 따라 측정점의 수의 능동적인 대처가 측정 효율을 극대화할 수 있는 방법이다. 본 연구에서는 퍼지 논리(fuzzy logic)를 이용하여 측정점의 수를 결정하였다. 입력변수로는 공작기계의 정밀도, 객체의 크기, 그리고 사용자가 요구하는 측정 정밀도이다.

(2) 측정점의 위치 결정

고유의 형상 특징을 적절히 표현할 수 있는 측정점의 위치를 결정하고자 본 연구에서는 Hammersley' s 함수를 적용하였다. 사용된 알고리즘은 기존의 균일하게 측정점을 나열한 격자형 보다 측정점의 수를 줄이면서도 정확도가 유지될 수 있다.

(3) 측정경로 결정

측정경로는 결정된 측정점과 측정점의 위치로 유도하는 유도점(guide point), 이들을 최단거리로 결정하는 경로가 있다.[7] 먼저 유도점은 2 개를 사용했으며, 최단 측정 거리 결정은 TSP(traveling salesperson problem) 알고리즘을 적용하였다.

위의 3 가지 요소를 결정하면, F_{s1} 을 제외한 개별적인 객체에 대해 측정을 수행할 수 있다. 제안된 방법으로 F_2 에 적용한 것을 Fig. 13 에 도시하였다.

3.2 Non-contact points 의 재배치

F_{s1} 의 경우 위의 방법을 적용하여 측정점의 위치를 결정하면, 접촉하지 않은 측정점이 발생한다. 이들을 재배치 하기 위해 F_{s1} 에 존재하는 형상을 이용하여 사각 격자를 만들고 각 사각 격자에 측정점의 존재 여부를

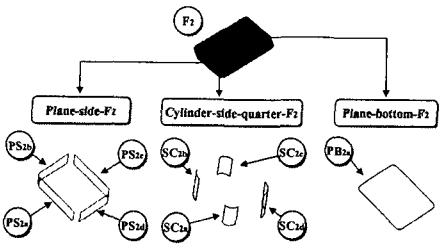


Fig.11 Decomposition of features for inspection

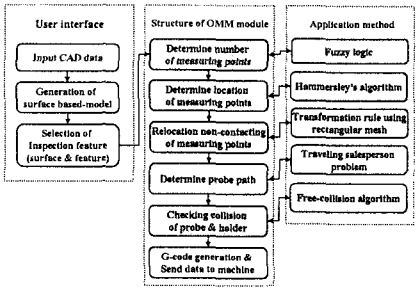


Fig.12 Structure of algorithm for OMM

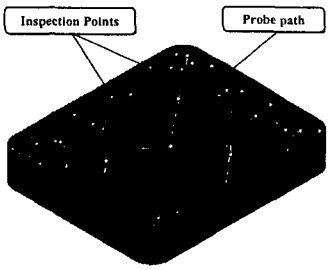
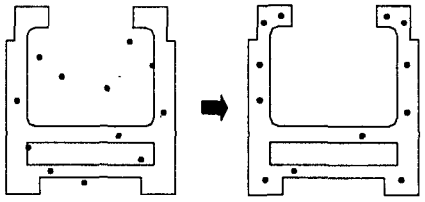


Fig.13 Measuring points, location, and path for feature F_2



(a) Before (b) After

Fig. 14 Relocation of non-contacting measuring points for F_{S1}

판단하여 재배치한다.(Fig.14) 세부적인 방법은 다음과 같다.

(1) 접촉하지 않은 측정점 수 결정.
(2) 각 분할 영역에 측정점의 존재여부 검출
(3) 분포하지 않은 분할영역 면적 계산.
(4) 측정점이 존재하지 않는 분할영역 중에 큰 순으로 Non-contact 수 만큼 분할영역 중심에 분포.

3.3 충돌회피(collision-free)

가공이나, 기상측정을 수행할 경우 충돌에 대한 고려가 필요하다. 측정에서 발생하는 충돌의 경우는 두 가지로 프로브와 홀더(holder)의 충돌이다. 프로브의 충돌이 발생할 경우, 유도점(guide point)을 추가하거나 위치를 재조정해야 하며, 홀더가 충돌 할 경우, 측정점(measuring point)의 위치를 변경해야 한다. 본 연구에서 충돌여부 검사는 대상물의 Edge-map 과 Z-map 를 이용하여 수행하였다. 적용된 알고리즘은 Fig.15 와 같다.

4. 결 론

본 연구는 특징 형상기반의 측정계획(CAIP)을 이용한 기상측정 시스템을 개발하여, 체계적이고 보다 효율적인 측정방식을 제시하고자 노력하였다. 결론을 요약하면 다음과 같다.

(1) 기상측정을 위한 형상기반의 효율적인 측정계획(CAIP)을 제시하였다.
(2) 복잡한 측정대상물의 대해 형상별 측정 순서를 효과적으로 결정하였다.
(3) 형상(feature)별로 측정 객체(inspection element)에 대한 분류를 체계화 하였다.
(4) 측정요소(측정점 수, 위치, 경로) 결정에 대한 알고리즘을 제시하였다.

참고문헌

1. 조명우,김진섭,서태일,조재형," CAD/CAM/CAI 통합에 기초한 자유곡면의 On-Machine Measurement : II. 측정계획 수립" , 한국정밀공학회지 제 16 권 제 12 호, pp 109-118. 1999

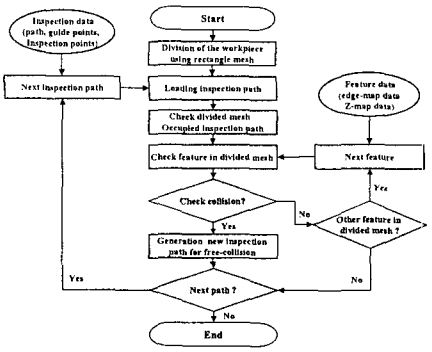


Fig.15 Proposed collision checking algorithm

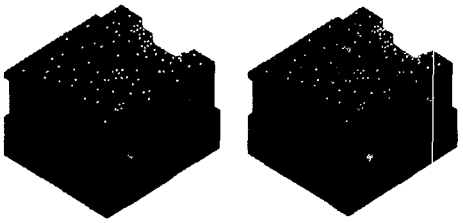


Figure 16. Simulated results for S1.

2. 남우선, 정성종, " 온더머신 고속□고정도 자유곡면 측정 및 검사시스템에 관한 연구" , 대한기계학회 논문집 A 권, Vol.22, No.12, pp.2114-2125, 1998
3. 구본권, 김세윤, 오희진, " 기상측정 데이터의 품질관리 기술 개발" , Proceeding of the 10th Advanced Manufacturing System Workshop, pp.81-87, 2002
4. 이승용, " 기상에서의 형상 측정 시스템 개발에 관한 연구" , 석사학위논문, 2001
5. Lee, H., 1991, A Generic Learning System for Computer-Aided Process Planning, Ph.D. Dissertation, The Pennsylvania state University, University Park, PA, 1991
6. Lee, K.I., Lee, H., Noh, S.D., Shim, Y.B., and Cho, H.S., 1995, A Process Planning System Using Group Technology and Rule-base, *IE Interfaces*, Korean Institute of Industrial Engineers, Vol. 8, No. 3, pp221-230
7. 조명우, 이승종, 김문기, "3 차원 측정기를 이용한 자유곡면 측정시 최적의 경로결정에 관한 연구", 한국정밀공학회지, Vol.12, No.10, pp.121-129, 1995