

지능형 가공시스템의 오차 보정에 관한 연구

A Study on the Error Compensation of Artificial Intelligent Process System

공석민 · 김영탁 · 문희근 · 김관형 · 이상배

Suk-Min Kong, Young-Tak Kim, Hee-Kun Moon,
Gwan-Hyung Kim and Sang-Bae Lee

한국해양대학교 전자통신공학과

요 약

변형된 영상을 다시금 최적영상으로 복원하는 것은 여러 영상변환의 복합적인 변환, 그 것의 역변환과 많은 다중 해의 계산을 요구하게 된다. 본 연구에서는 가공기의 운전 전이나 운전 중에 가공기의 외란 - 진동, 이동, 기계적 특성 - 에 능동적으로 대처하고 동시에 복잡한 수학적인 수식전개를 피하고, 인공지능적인 기법인 퍼지논리(Fuzzy Logic)를 적용하여 전문가적인 경험지식을 바탕으로 보정이 가능함을 보였다.

Abstract

The restoration optimum image from transformation image demands compound change of image change, calendar reform, and multiple solution calculation. This study presents that system actively deal with outside interference, vibration, movement, mechanical feature on the operating or before the operating and avoids complicated mathematical numerical expression and revise based on expert knowledge based which applies Fuzzy Logic which is one of Artificial Intelligent technique.

Key words : 가공기, 에러보정, 퍼지논리

1. 서 론

오늘날 대량생산과 대량가공의 노동집약적인 산업 구조에서 오는 기업의 경쟁력의 약화를 개선하려는 노력들이 생산라인 전반에 널리 퍼져 가고 있다.[1] 특히, 생산라인의 자동화로 그 효과를 피하려는 움직임이 두드러지고, 모든 가공기계들로 최종 제품 검수를 제외한 모든 생산과정을 인간의 수작업과 같은 정교한 가공과 더 나은 생산성을 요구하게 되고 있다.[2] 하지만, 아직도 식가공의 1차적 원재료의 가공은 단순 공정의 자동화에 머물고 있으며, 그에 투입되는 인력 또한 타 업종에 비해 많은 편이라 하겠다. 그에 많은 제품이 공정라인의 단축, 라인 당 작업인원의 축소 등의 이유로 자동화 기기를 개발·투입해 오고 있으나, 아직 기계적이거나 기기의 운전 도중 조작자가 가공물의 치수에 의해 기기의 치수 보정이나 가공물의 치수분류 등에 많은 시간을 허비하고 있다.

이러한 가공 전 단계에서의 가공 대상물의 치수별 분류작업이 없이는 효율적인 가공기 운전이 불가능하고 라인운전의 정지가 불가피한 어류 절두기(切頭機)를 대상으로 분류작업이나 어류의 치수에 제한 없이 가공할 수 있는 가공기의 연구가 필요하다.

본 연구는 그러한 가공기 개발에 목적을 두었고, 컴퓨터의 보급·확산과 기술의 발전으로 인한 CCD (Charge Coupled Device) 카메라의 가격하락 등으로 고품질의 가공정보를 획득할 수 있게 됨에 따라 실시간으로 가공물을 획득하고 가공물의 패턴과 특징을 이용하여 가공하도록 구성하였다. 특히, 본 논문은 기존의 제어기를 장착한 가공기의 영상획득 시 주위환경에 의한 영상의 최적획득과 획득된 영상에서의 좌표와 실제 가공공간 좌표상의 투영에 대한 불일치를 정확한 수치입력이 아닌 기기의 자가수정에 의한 오차보정에 중점을 두었다. 그러한 자가수정으로 가공기의 운전 전이나 운전 중에 가공기의 외란 - 진동, 이동, 기계적 특성 - 에 능동적으로 대처하는 기기의 제작에 인공지능적인 기법인 퍼지논리(fuzzy logic)를 적용하여 그 효과를 기대하였다.[3][4]

2. 퍼지논리를 이용한 오차보정

가공기 상의 CCD카메라의 설치 운전시 가공중 진동이나 그 외 기계적 요소의 외적요인으로 CCD카메라로 획득된 영상의 특징추출 데이터의 절단 이송 모터 제어기로 전송시 그 변환식 고정에 의한 실 좌표계에서의 왜곡이 발생하게 된다. 특히, 가공기의 구조상 절단공정 시 공압 실린더의 하강충격으로 인해 CCD카메라의 고정 짐벌(gimbal) 등의 흔들림이 발생하고 획득영상의 영상좌

접수일자 : 2001년 9월 15일

완료일자 : 2001년 12월 1일

표가 실제 플랜트의 좌표 상에서 벗어나게 된다. 이러한 영상의 변화는 어떤 것이 있으며 퍼지논리에 의한 오차 보정에 대해 본 장에서 논하겠다.

2.1 퍼지논리에 의한 예러보정

본 시스템에서는 영상변환 기본이론들을 바탕으로 운전 중 절단공정 시(時)에 공압 실린더의 하강충격이나 그 외의 외란 등으로 인한 CCD카메라의 최적위치가 계측물의 범위내의 한계지역 내에서 CCD카메라의 고정 집벌(gimbal)의 흔들림에 의해 왜곡된 영상이 들어온다고 가정했다.

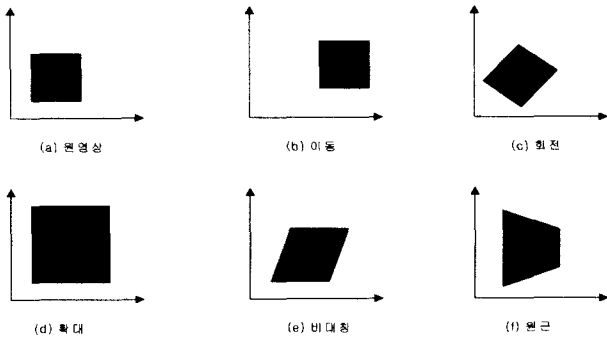


그림 1. 영상의 변환

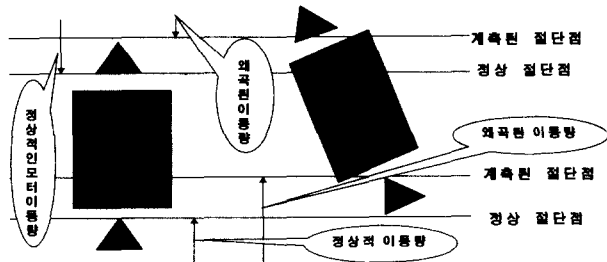


그림 2. 영상왜곡이 제어량에 미치는 영향

이러한 왜곡은 그림 1의 내용 대부분을 복합적으로 가지고 입력되게 되고, 그림 2와 같이 결국 최적의 영상에서 계산되어진 값과는 틀린 왜곡된 제어량을 제어기에 인가하게 된다. 그러므로, 왜곡된 입력영상으로부터 계산되어진 절단위치를 기본적 영상변환을 거쳐 최적영상과 실 플랜트의 좌표축 일치를 이루는 쪽으로 보정을 시켜야 한다. 즉, 절단위치라고 인지된 각 픽셀(pixel)만을 각 축에 대해서 최적의 영상 축과의 비교로 회전정도를 판단하여 그만큼 역(易)으로 필요 픽셀만을 변환한다면 실 플랜트와의 좌표축의 뒤떨림이 보상되어져 기존제어기의 역량을 충분히 발휘시킬 수 있다.

본 연구는 이러한 여러 기본적 영상변환을 기초로 하여 CCD카메라의 위치를 이용해 최적의 위치로 환원하는 것이다. 하지만, 획득된 영상으로 CCD카메라의 축 상에서의 각 회전요소를 알 수 없고, 알고있다는 가정을 두더라도 여러 변환행렬의 합성에 의한 전체 변환 행렬의 역변환 역시 쉬운 일이 아니다.[5][6] 그러므로, 그림 3과 같은 구조의 퍼지논리(fuzzy logic)를 이용해 최적의 입력영상과 왜곡된 영상을 비교하여 제어기로 제어량이 입력되기 전에 그 보상이 이루어지도록 하였다.

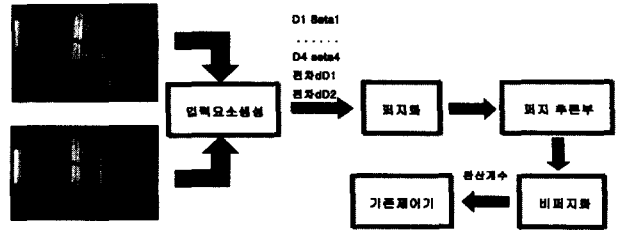
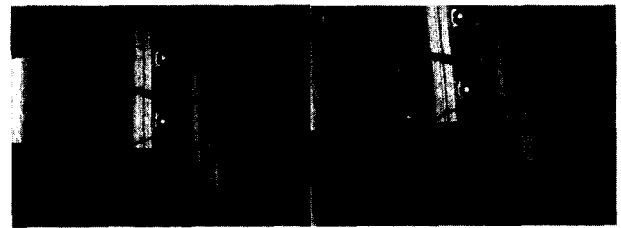


그림 3. 퍼지추정기의 블록도



a) 최적영상 b) 왜곡영상

그림 4. 최적영상과 왜곡영상의 비교

2.2 영상에서의 퍼지 입력 파라메타 산출

그림 4에서처럼 CCD 카메라 자체의 진동요소에 의한 영상의 취득은 항상 기준영상과는 다른 원점의 변화를 가져오게 되고, 그로 인해 기준좌표의 이동과 플랜트와 CCD카메라의 동일좌표를 이루던 Z축의 어긋남을 동반하게 된다. 그러므로, 만약 CCD카메라의 Z축으로의 기울기와 그 축의 회전요소를 외부에서 측정하여 영상데이터를 그 요소만큼 회전과 원점이동 등으로 필요한 좌표만을 보정할 수 있으나, 본 가공기에서는 외부에서 CCD 카메라의 진동요소를 측정할 다른 계측소자를 배제하고 관심좌표의 주위에 존재하는 불변 측정체의 좌표를 측정요소로 하여 그 좌표를 기준영상에서의 동일체의 좌표로 환원시킴으로써 관심좌표를 보정함을 기본으로 한다.

하지만, Z축의 기울어짐을 동반한 XY축의 회전은 단순한 회전요소를 계산하여 구해진 것과는 다른 결과를 도출하게 된다. 그러므로, 앞에서 기술한 영상의 기본변환의 조합과 그 역변환의 도출을 수학적인 해를 구하는 것이 쉽지 않을뿐더러 왜곡이 일어난 영상만으로 알고자 하는 기울어짐과 회전요소를 찾기 또한 쉬운 과정이 아니다. 그렇기에, 본 논문에서는 기준 영상의 불변 측정체의 좌표를 기준으로 왜곡이 일어난 영상의 불변 측정체의 좌표를 찾아내어 그들 간의 관계를 퍼지논리를 이용하여 다시금 기준영상으로 관심좌표를 보정시키고자 한다. 즉, 좌표군들 중에서 가공공정에 필요한 좌표는 두 절단점을 나타내는 두 개의 Y좌표만이 필요하다.

그림 5에 나타낸 것처럼 먼저, 불변 측정체의 기준 좌표군을 설정하고 그 좌표군과 입력된 영상에서의 좌표군의 왜곡된 좌표와의 거리를 하나의 입력으로 설정한 다음, 그들 좌표군들의 평면상의 분포각을 구하여 전체적인 입력 파라메타로 사용했다. 그리고, 출력은 두 개의 Y좌표만을 필요로 하므로 계측된 영상의 Y좌표에서 제어량의 산출에 필요한 Y좌표로의 비례계수 K만을 요구하게 된다. 그러한 입력의 조건들을 공정라인 중에 전문가가 모니터링하여 수많은 작업의 노하우(know-how)로 직접 계측영상의 일그러짐을 눈으로 계측하고 개인다이

알(gain dial)을 돌려 출력을 보정하는 경우로 볼 수 있다. 그러나, 그러한 경험을 알 수가 없기에 직접 외부에서 계측하여 각각의 데이터를 산출하고 이를 기초로 입력력에 대한 파라메타의 구체적 산출을 이루었다.

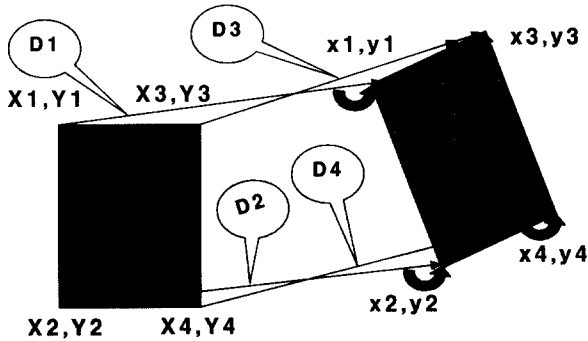


그림 5. 입력 파라메타의 결정

그림 6(a)는 입력의 4개의 거리에 대한 값들을 비교하여 구성된 소속함수 중 하나를 나타내었다. 메모리에 저장되어 있는 4개의 기준좌표와 가공물의 계측시점에서 계측된 트레이에 대응되는 4개의 좌표들간의 거리를 측정하여 그 거리들간의 원근(遠近)에 대한 관계를 세운 것이다. 그림 6(b) 또한 계측된 영상에서의 기준 트레이 네좌표의 Y축상과 이루는 분포각에 대한 각 크기에 대해서 멤버십을 구성한 것을 나타내었다. 각각 각의 크기의 분포가 θ_1, θ_3 는 [70 90]이고 θ_2 와 θ_4 는 [50 70]의 데이터 분포로 각각 틀리기 때문에 언어적 값에 따른 멤버십의 정의역이 틀린 멤버십이 나오게 된다. 그리고, 퍼지추론에 따른 출력의 값은 왜곡제한내의 입력영상에서 관심점인 Y좌표 두 개로 나타나는 절단점은 원래의 절단점이 되기 위해서 0에서 2까지의 비례계수로 그 목적을 이룰 수가 있다. 그래서, 각 블록의 출력은 다음의 그림 7에서처럼 나타내었다.

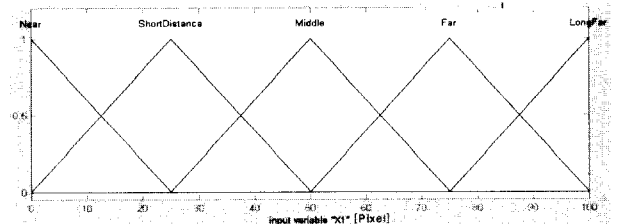
2.3 보정계수 산출을 위한 퍼지추론

각각의 입출력 파라메타와 그에 관한 멤버십을 구성하고 외부계측에 의한 데이터표를 기초로 합당한 제어량을 내어야 하고, 각각의 입력에 대한 획득영상의 기준좌표군에서의 관심점인 절단점들은 그 절단점의 근처에 위치한 점들의 변환에 대부분 귀속되어 진다고 볼 수가 있다. 그러므로, 입력으로 결정한 서로 대응되어진 좌표군들과의 거리의 원근과 영상면의 원점에서의 분포각들의 크기변화로 위치와 기울기 등에 따른 관심점들의 환원되어질 비례계수를 추론할 수 있다.

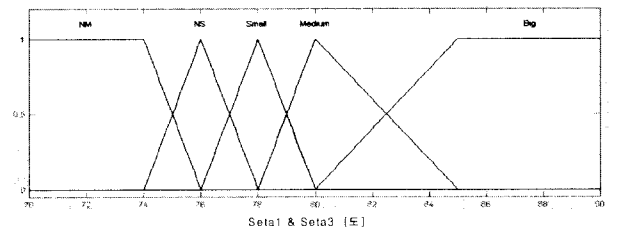
먼저, 거리D과 분포각 θ 의 관계에 따른 비례계수 K1, K2와의 규칙(Rule-Base)는 표 1과 같다. 여기서, D에 관한 N은 Near, SD는 Short Distance, M은 Middle, F는 Far 그리고, LF는 Long Far이다. 또, θ 의 NM은 Negative Middle, NS는 Negative Small, S은 Small 그리고, B는 Big 이다.

표 1과 같은 결과로 얻어진 D1과 θ_1 , D2와 θ_2 에 관한 각각의 K1, K2값과 다음과 같이 거리에 대한 편차($dD=D3-D1$)를 그림 3.10과 같은 멤버십을 구성하고언어적 추론으로 K3를 도출한다.

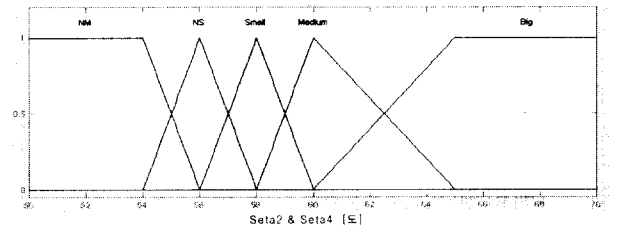
IF dD is Zero THEN K3 is Zero
 IF dD is Positive Small THEN K3 is Positive Small
 IF dD is Positive Big THEN K3 is Positive Big
 IF dD is Negative Small THEN K3 is Negative Small
 IF dD is Negative Big THEN K3 is Negative Big



(a) 거리에 대한 입력 소속함수



(b) θ_1, θ_3 에 대한 소속함수



(c) θ_2, θ_4 에 대한 소속함수

그림 6. 입력에 대한 소속함수

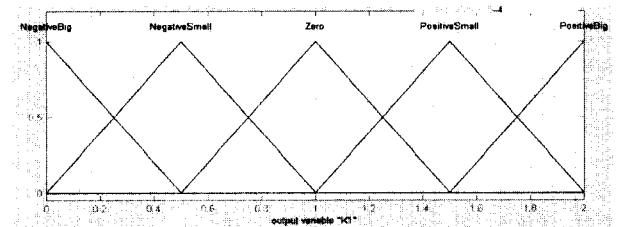


그림 7. 출력에 관한 소속함수

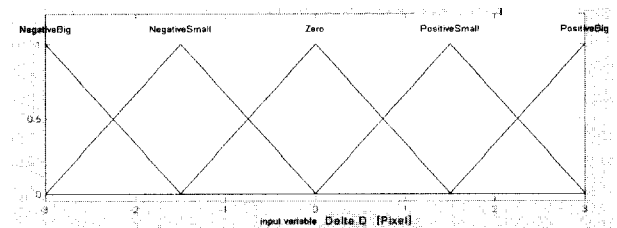


그림 8. 거리편차에 대한 소속함수

표 1. 거리D, 분포각 θ , 출력K에 관한 규칙

$D \backslash \theta$	NM	NS	S	M	B
N		Z	Z		
SD	PS	Z	Z	Z	NS
M	PS	PS	Z	NS	NS
F	PB	PS	Z	NS	NB
LF	PB	PS	Z	NB	NB

N: Near, SD : Short Distance, M : Middle F: Far
 LF : Long Far NM : Negative Middle
 NS : Negative Small, S : Small, B : Big

각각의 K1, K2의 비례요소는 다른 값을 가지므로 그 중간에 분포될 절단점은 두 비례요소의 값의 중간값을 출력하면 되나, K3를 부가함으로써 두 비례요소사이의 값 중 거리편차에 해당하는 쪽으로 무게중심을 옮기게 됨으로써 원근에 관한 요소를 감안한 값으로 출력되게 한다.

이렇게 한 절단점에 대해서 두 개의 거리와 두 개의 각분포, 하나의 각편차를 입력으로 하여 각각의 비례계수를 구하고 이것에 대해 무게중심법을 사용하여 그 최종적인 보정치를 환산하기 위한 비례계수를 출력값으로 내게 된다. 그리고, D2와 $\theta 2$, D4와 $\theta 4$ 에 관한 각각의 K4, K5와 K6도 같은 방법으로 구하면 된다.

3. 시스템의 구현 및 실험

3.1 시스템 구성과 개요

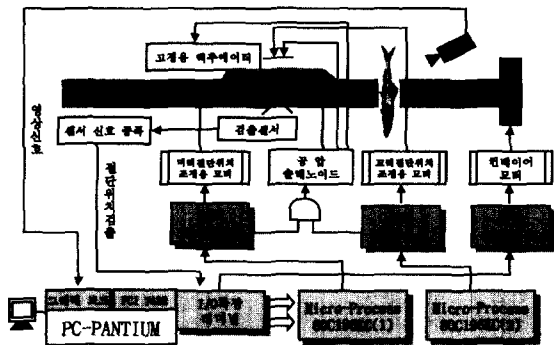


그림 9. 지능형 가공시스템의 상세도

본 논문에 사용한 영상처리 블록과 제어블록은 크게 영상을 입력하는 부분과 입력된 영상을 처리하는 호스트 컴퓨터, 그리고 서브시스템의 제어를 담당하는 두 개의 마이크로 컨트롤러(80C196KC)로 구성할 수 있다. 이때 호스트 컴퓨터가 하는 일은 입력된 영상을 실시간으로 분석하는 일과 기타 출력력 장치를 통해 입력된 정보를 처리하고, 각각의 하부시스템 모듈들에게 명령을 지령하는 역할을 한다. 전체적인 시스템의 관리는 호스트 컴퓨터가 전체적인 시스템을 제어한다. 영상데이터를 습득,

저장, 디스플레이, 그리고 처리동작과 순차제어에 따라 사용자와의 인터페이스를 제공한다.

실험에 사용되어진 화상처리 가공시스템의 상세도는 그림 9에 나타내었다. 먼저, 가공물의 이송을 맡은 컨베이어부와 각종 기계적, 공압적 시퀀스를 총괄하는 마이크로 컨트롤러부이다. 이는 전체적인 제어와 모니터링과 연산을 담당하고 있는 PC와의 인터페이스 모듈인 PCI7432와 I/O 확장보드에 의해 접속되어 PC가 가공한 데이터를 전송받아 모터 드라이브단과 실제 기계적인 모듈들의 각종 시퀀스의 동작에 관여하게 된다. 다음은 PC와 CCD카메라이다. 이는 CCD카메라로부터 획득한 가공물의 영상을 가공이 가능한 특징들을 추출하여 하부 제어모듈인 마이크로 컨트롤러에 그 이동변위를 전송하고 전체 시스템이 통괄적인 작동의 동기에 관여하며 그에 따른 모니터링을 담당하게 된다.

전체적인 동작 순서도를 그림 10에서 그림 12에 걸쳐 제시하였다.

3.2 실험결과

본 연구의 목적은 동일한 좌표평면에서 CCD카메라로 획득한 영상과 그 영상정보로부터 얻어진 제어량으로 제어되는 절단모터가 동일좌표축이 아닌 축의 뒤틀림에 의해 획득영상의 좌표가 실편트트의 좌표와 어긋남으로써 제어량이 왜곡됨을 다시금 보상하고자 함에 그 목적이 있다. 그로 인해 계측한계 내에서의 왜곡발생 시에도 동일한 제어기로 동작 가능하도록 함에 목적을 두었다.

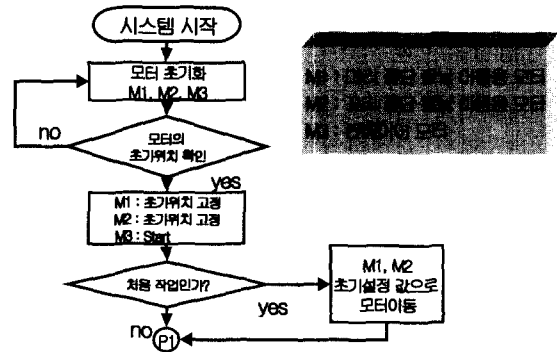


그림 10. 초기상태에 대한 시스템 동작

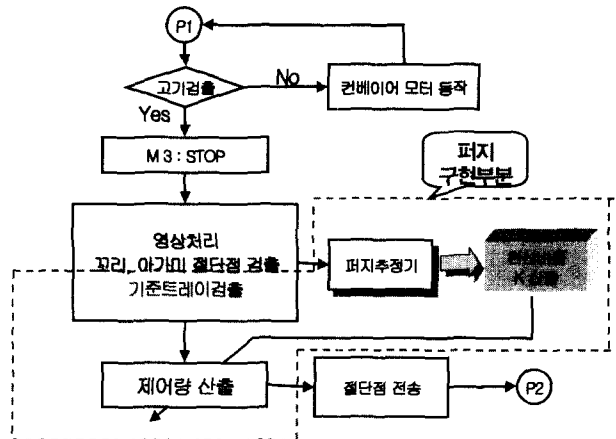


그림 11. 동작 블록도 (I)

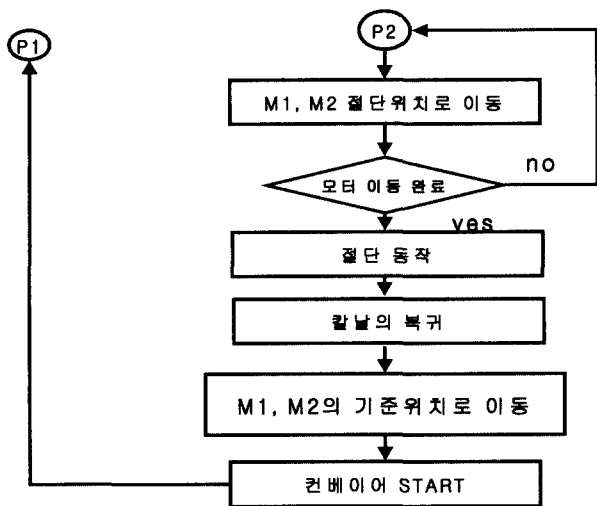


그림 12. 동작 블록도 (II)

입출력에 대한 멤버쉽과 추론의 적용에 대해서 다음의 입력영상에 대한 제한요소를 두었다.

- 1) 영상획득시 반드시 메모리상에 저장된 기준 트레이의 위치와 계측될 관심위치가 영상면에 존재해야 한다. 이는 관심위치의 영상면에서의 탈주는 시스템의 동작 제어량을 측정할 수 없기에 그로 인한 시스템의 탈주가 일어날 수 있기 때문이다.
- 2) 기준 트레이의 왜곡범위가 영상면의 중심에서 1/4 분면과 4/4분면에 존재해야 한다. 이는 짐벌 (gimbal)상에 취부되어 있는 CCD카메라의 왜곡요소가 그러한 좌표평면상의 왜곡에 주로 나타나며, 전문가적 입장에서 퍼지규칙에 관련된 데이터를 외부에서 측정하여 적용한 것이기에 그의 평면상의 왜곡에 대한 영향은 본 연구에서는 제외시켰다.
- 3) 1)과 2)에서 제한한 것과 같은 것은 외부에서의 CCD카메라의 왜곡된 데이터 측정을 5도내로 제한시켰다. 그 외 각도로 영상평면이 왜곡될 경우 1)에서처럼 영상면의 탈주가 일어나게 된다.

먼저, 가공공정 중 가공물의 계측 시퀀스 부분에 대해 외부에서 왜곡요소를 가했을 때 시스템 상에서 계측되어 제어기로 전송되는 좌표와 그러한 전송전의 데이터를 퍼지논리로 인해 추론되어진 보상 데이터에 관한 출력 그래프를 그림 13과 그림 14에 나타내었다. 그림 13과 그림 14에서 나타나듯 여러 가지 왜곡요소가 변할 때마다 기존 시스템에서는 크기는 40픽셀(pixel) 정도의 제어기의 왜곡좌표를 보내게 되고 이로 인해 보통 영상면과 모터제어기에서의 실제 동작 플랜트간의 함수 맵핑(mapping)에 거의 2[mm]의 관계가 성립될 때 가공물의 가공점까지 80[mm]정도까지 모터의 이동오차를 가져다 줄 수 있다는 것을 볼 수가 있다. 이는 영상면의 왜곡이 기존시스템의 정밀성에 엄청난 왜곡요인으로 작용하고 있음을 보여준다. 그에 비해 퍼지논리에 의한 그 추론결과인 환산계수 K에 의해 기존 영상면의 왜곡요소를 거의 기준절단점으로 환원시켜짐을 볼 수가 있다. 다시말해 시스템의 왜곡요인이 CCD카메라에 의해 발생하더라도 영상면 내에 관심영역이 존재한다면 충분히 그 왜곡요인의 추정으로 관심좌표인 절단점의 보상이 이루어진다는

것을 보여주고 있다. 즉, 수학적인 보상에서처럼 정확한 보상이 아니지만, 퍼지추론에 의해서도 신뢰 가능한 보상이 되고 있음을 알 수 있다.

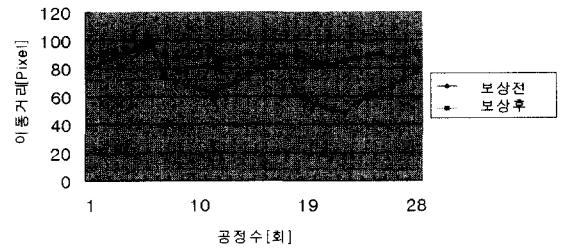


그림 13. 아가미 절단점의 추종 (기준점:91)

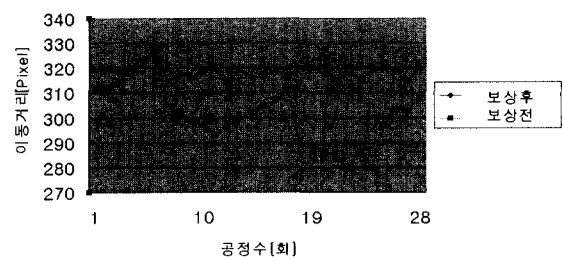


그림 14. 꼬리 절단점의 추종 (기준점: 320)

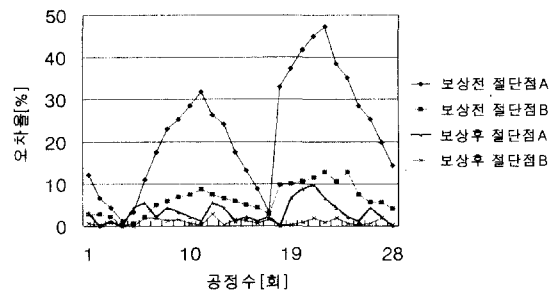


그림 15. 보상전과 보상후의 오차비교

그림 15는 계측 영상면의 왜곡발생에 대해 실제 플랜트의 이송모터의 절단점까지와의 오차에 대한 비교를 나타내었다. 왜곡된 영상면에 대해 가공기의 제어량은 약 50[%]정도까지 큰 오차범위를 발생하게 됨을 알 수가 있으며, 그러한 오차의 발생은 정확한 절단점까지의 이송모터의 역할을 저해하는 것 또한 자명한 것임을 알 수가 있다. 하지만, 보상전 절단점 A는 보상후 절단점 A로, 보상전 절단점 B는 보상후 절단점 B로의 오차보정이 이루어졌으며, 이로 인해 왜곡정도에 따라 50[%]정도까지의 오차의 발생범위가 10[%]미만까지 크게 개선되어졌음을 알 수가 있다. 그렇기 때문에 공압절단기의 하강충격에 대해서 CCD카메라의 계측지점의 변동 등이 오차의 제한요소 내에서 발생하게 된다면, 이는 영상왜곡에 대한 보상이 없는 제어기로 제어하기보다는 본 연구에서 제안한 퍼지추론에 의한 보상을 한 후 제어기로 그 환산계수를 보정한 후 전송하는 것이 더욱 오차를 줄일 수 있으며, 보상 없이 가공물의 가공을 행하는 것보다 더욱 나은 가공물의 정밀성 향상에 도움이 됨을 알 수 있었다.

4. 결론

본 논문에서는 계측요소인 CCD카메라의 왜곡에 대한 외부 계측요소의 부가 없이 입력된 영상과 메모리 상에 저장된 기준점 등을 비교하여 그 영상변화를 추정하고 실제 액츄에이터의 좌표 상 이동변위를 보상케 함으로써 왜곡요소로 인한 부정확성을 보상할 수 있음을 퍼지논리에 의해 실현함으로써 복잡한 수학적 해의 도출과 변환 행렬 등의 역행렬 문제를 회피할 수 있었으며, 또한 모든 영상의 복원을 원하지 않는 것이기에 원하는 부분만의 원하는 정보인 절단점의 보상만을 취함으로써 충분히 충족시켜짐을 알 수가 있었다. 이러한 결과를 볼 때, 가공기의 설치 시 제한적 공간으로 인해 CCD카메라의 취부가 진동요소의 영향을 받게 되는 곳에 설치하게 될 때 적절한 보상을 다른 계측요소를 추가하지 않고 본 연구의 퍼지논리를 이용하여 추정, 보상이 가능하다.

참고 문헌

[1] White, D.A. and D.A Sofge, Handbook of Intelligent Control, Van Nostrand Reinhold, New York, 1992
 [2] Clarence W. de Silva., Intelligent Control Fuzzy Logic Application, CRC Press. 1995
 [3] Lefteri H. Tsoukalas and Robert E. Uhring, Fuzzy and Neural Approaches in Engineering, John Wiley & Sons Inc. 1992
 [4] Rumelhart, D.E, Parallel Distributed Processing : Explorations in the Micro Structure of Cognition Vol. I: Foundations, MIT Press, 1986
 [5] Dana H. Ballard, Christopher M. Brown, Computer Vision, Prentice-Hall Inc., pp. 465-484
 [6] Gonzlez, Woods, Digital Image Processing, 그림, pp.1-68, pp. 489-669, 1998
 [7] K.S Leung, W. Lam "Fuzzy Concepts in Expert Systems", *IEEE Computer*, September, 1988
 [8] テラノ トシロウ, 實用 ファジィ制御技術, 電子情報通信學會, 1991

[9] 北林俊行, 新 誠一, 適應制御, コンピュートロール32, コロナ社
 [10] 김관형, "실시간 화상처리 기법을 이용한 인공지능형 복합제어시스템의 설계 및 구현", 한국해양대학교 박사학위 논문, 2001
 [11] C.W. de Silva, Intelligent Control-fuzzy logic applications, CRC press, pp. 235-268, 1995

저자 소개

공석민(Suk-Min Kong)

1999년 : 부경대학교 제어계측공학과 졸업
 1999년~현재 한국해양대학교 전자통신공학과 석사과정

김영탁(Young-Tak Kim)

2001년 : 진주산업대학교 전자공학과 졸업
 2001년~현재 한국해양대학교 전자통신공학과 석사과정

문희근(Hee-Kun Moon)

2001년 : 한국해양대학교 전자통신공학과 졸업
 2001년~현재 한국해양대학교 전자통신공학과 석사과정

김관형(Gwan-Hyung Kim)

제 8권 제 7호 참조
 2001년 : 한국해양대학교 전자통신공학과 박사
 2000년~현재 동명정보대학교 전임강사

이상배(Sang-Bae Lee)

제 8권 제 7호 참조
 현재 한국해양대학교 전자통신공학과 교수