

CMAC 메모리에 의한 연마공정자동화

정재문 김기엽 정광조
한국기계연구소 자동화연구부 자동제어실

Automization of Grinding Process by CMAC

J.M.Chung K.Y.Kim K.J.Chung
Automatic Control lab.
K I M M

Abstract

The automization of manufacturing lines may be accomplished by replacing the human operator with computer system. This paper describes an idea to fully automize the razor grinding process. Now, in this system, to control the process, human operator must estimate the grinded states and control the grinding machine continuously.

We propose two methods to automize this process by using CMAC memory .

One is about learning expert-rules without direct communication with operator. And the other is complete self-learning method based on CMAC's learning algorithm. These ideas may be applied for another manufacturing processes.

1. 서론

일반적으로 어떤 시스템의 자동화를 위한 제어에는 제어대상에 대한 모델링(Modelling)이 필수적이다. 그러나 대부분의 시스템에 대한 정확한 모델링이 실제적으로 매우 어려운 경우가 많다. 이러한 어려움을 극복하기 위한 한 방안으로 최근에 사람의 학습 능력등을 흉내낸 여러가지의 자기 학습(Self-learning)기법들의 제어적용이 활발히 연구되고 있다. 본 연구에서는 이러한 것 중에서 비교적 간단하면서 소규모시스템의 제어에 효율적일 것으로 여겨지는 CMAC(Cerebellar Model Articulated Controller)메모리 개념을 면도날 연마 공정의 자동화에 적용하는 문제를 다음의 두가지 방향으로 생각해보았다.

첫째, 현재의 연마 상태를 파악하고 그에 따라 조정장치를 어떻게 조작해 줄 지에 관한 조작자의 머리속에 들어 있는 제어룰을 대화를 통해 추출해 내기는 현

실적으로 여러가지 성격의 난관이 존재하므로 이것을 조작자와 직접대화 없이 제어룰(Rule)이 CMAC 메모리 내에 추출, 저장 되도록 하여 제어에 이용되게 한다.

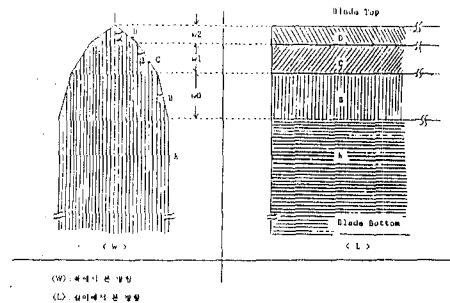
둘째, 모든 상태를 조작자의 개입이 없이 CMAC 자체의 자기학습 기능에 의해서 룰을 체득하고 이 내용을 제어에 활용하게한다.

2. 제어대상

연마 공정에서의 면도날은 마치 줄자 모양의 철판선<연마석들을 지나면서 양끝의 두면씩 모두 4개면에 대해 순차적으로 연마가 행해지게 된다.

연마가 끝난 면도날의 모양을 살펴보면 <그림1>과 같이 A면의 본체에 B,C,D 세개의 서로 다른 연마면이 생기게 되고, 연마시 연마석들의 경사 각도에 따라 B,C,D 및 전체 면도날 옆폭이 영향을 받게된다.

이렇게 공정을 거쳐 나온 면도날을 조작자가 현미경을 통하여 수시로 4면의 상태를 <그림1>의 L 면을 살펴서 적당한 간격인가를 감으로 감지하여 원하는 연마석의 각도를 조절해 나감에 의해 원하는 최종 합적선이 유지 되도록 제어 하게 되어 있다.

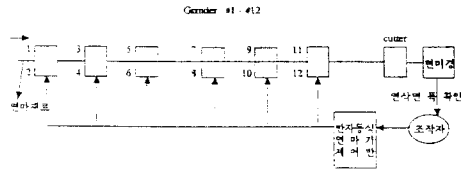


<그림1> 면도날 연마면
Fig 1 Grinding Surface of Razor

<그림2>는 조작자에 의한 반자동의 연마공정 라인을 나타낸다.

그런데 면도날의 연삭은 각기 다른 연삭기로서 각각 B, C, D 면을 연속 가공하게 되는데 계속적인 연삭공정에 의하여 연삭기 헤드의 마모가 일어나며, 결과적으로 연삭면 간의 거리와 사이각의 변화가 생기게 되므로 이의 연삭을 위한 제어가 필요한것이다.

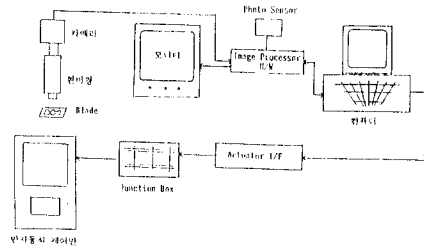
그리고 이러한 공정은 4면에 대해서 동시에 수행되고 이들이 서로 서로 영향을 미치게 되는 복잡한 양상을 띤다.



<그림2> 조작자에 의한 반자동 연마 라인

Fig 2 Semi-automation Line by Operator

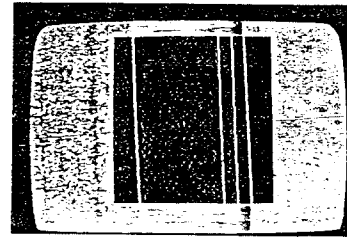
<그림2>의 라인을 자동화하기 위한 시스템 구성도는 <그림3>과 같다.



<그림3> 제어기의 구성도

Fig 3 Structure of Automatic Process

<그림3>에서 카메라와 현미경으로 이뤄지는 센서부는 1개 면에 대해 하나씩 모두 4개 조가 필요하다. 연마공정의 특성상 전체 라인의 진동이 심하므로 여기서 사용한 카메라는 고속카메라이다. 카메라를 거쳐 들어온 연마면의 상태가 이미지 프로세서(Image Processor)를 거쳐 컴퓨터 상에서 처리되어 <그림4>와 같은 과정을 거쳐 연마 정도를 인지한 다음, 이를 바탕으로 제어를 위한 신호가 컴퓨터에서 나와 구동부 인터페이스를 거쳐 연마석의 연마 각도가 조절되게 되어 있다.



<그림4> 연마면 간격의 검출

Fig4 Grinding State Estimation by Image Processing

3. 제어 방안

<그림3>에서와 같이 연삭면의 연삭 정도를 파악한 후 이를 토대로 연마석 조절을 위한 제어가 컴퓨터로부터 나와야 하는데, 이에대한 제어룰(rule)이 실제 조작 경험을 토대로 형성된 조작자의 머릿속에서부터 채집 되어야 한다.

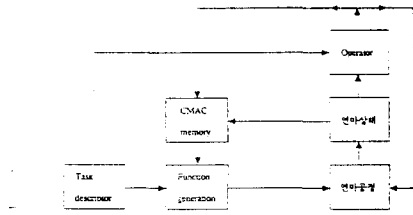
그러나 현장 여건상 이러한 제어룰의 채집을 위한 조작자와의 통신 문제가 난제로 작용하는 경우가 많

다. 그래서 본 연구에서는 첫째, 숙련된 조작자의 머릿속 제어룰을 자연스럽게 채득하여 CMAC 메모리에 저장했다가 제어에 활용 하는 방법과 둘째, CMAC메모리의 자기학습 기능을 이용한 제어 알고리즘 구성에 의한 방법을 이용하는 두가지 방안을 제시한다.

3.1 간접학습

<그림2>에서보면 연마의 전체공정과 절단기를 거쳐 나온 샘플을 조작자가 주기적으로 수거 하여 현미경을 통하여 네면의 연마면 폭을 인식하고 이것을 바탕으로 나름대로 가지고 있는 제어룰을 적용하여 연마석 제어반을 통하여 제어신호를 줌으로서 연마 각도를 조정한다.

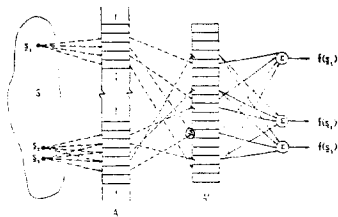
숙련 조작자로 부터의 학습은, <그림2>에서 처럼 조작자가 제어반을 통하여 제어신호를 주는 대신 <그림3>과 같은 시스템에서 컴퓨터의 키보드를 통해서 제어신호를 조작자가 주는 단계를 추가함에 의해서 자연스럽게 컴퓨터내의 CMAC 메모리에 제어룰을 학습시키는 방법이다. <그림5>에서 보는 바와 같이 조작자가 연마공정을 거쳐 나온 연마상태를 판단하여 제어반을 통하여 공정을 제어해 나가는 사이 병렬적으로 CMAC 메모리가 학습되어 나간다. 반복적으로 이런 과정이 수행 되면서 조작자에 의한 간접 학습이 실시된 후, 정해진 원인 요소의 상태에 따른 제어룰이 CMAC로부터 입혀져 제어에 이용되어진다.



〈그림5〉간접학습CMAC에 의한 연마공정 블록다이아그램
 Fig 5 Block Diagram of CMAC-based Grinding System Learned by Operator

3.2 자기 학습(Self-learning)

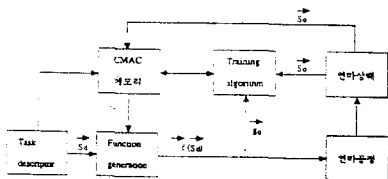
〈그림6〉에서와 같이 CMAC모듈은 일종의 테이블 룩업(Table-lookup)형태로 $g = f(s)$ 의 함수를 나타내는 것으로 여기서 s 는 다차원의 이산입력 상태 벡터이고 g 는 다차원 벡터 출력 그리고 f 는 s 와 g 를 관계짓는 임의의 함수이다.



〈그림6〉 기본적인 CMAC 메모리 모듈
 Fig 6 Basic CMAC Module

CMAC는 그의 특징적인 매핑(mapping) 구성으로 입력상태 사이의 자동보간(Automatic Interpolation)및 메모리 축약 등의 학습효과를 나타낸다.

〈그림7〉은 제안된 CMAC을 이용한 연마공정의 자기 학습 및 제어기능을 나타내는 블록다이아그램이다.



〈그림7〉자기학습CMAC에 의한 연마공정 블록다이아그램
 Fig 7 Block Diagram of CMAC-based Grinding System by Self-learning

일반적인 센서에 의한 제어문제는 특정한 센서 출력 값을 나타내도록 최종 테스크(task)를 수행시키는 연속된 명령을 결정하는 문제로 생각할 수 있다.

여기서 말하는 센서출력은 개개의 물리적인 센서의 추정된 출력값이나 이러한 물리적 센서 출력값들로부터 유도된 어떤 양적인 값들을 말한다.

이 경우에는 고속카메라를 통해서 얻어진 데이터들을 이미지처리 하여 얻어진 〈그림4〉와 같은 연마면들의 간격을 센서출력으로 간주한다.

이와 더불어 원하는 상태(Desired Task)도 또다른 출력센서의 한그룹으로 생각할 수 있다. 이외에 연마석의 종류, 사용시간, 기온, 습도 등도 또 다른 센서출력으로 생각 되어 질 수 있다.

이상의 센서출력들은 제어문제에 따라 서로 독립적이거나, 겹치거나 같을 수도있다.

CMAC 모듈을 이러한 제어 문제에 아래와 같은 방법으로 적용 시킬 수 있다.

이산입력상태 벡터 s 는 제어사이클의 시작점에서의 시스템 상태를 정의 하는 센서출력과, 최종타스크와 연관된 센서의 출력을 의한 제어사이클의 끝 점에서의 목표값으로 구성된다. 함수 출력값 g 는 제어 시작점에서의 제어상태에서 제어사이클의 끝 점에서 요구되는 원하는 센서출력값을 얻을 수 있게 하기 위하여 연마석 제어반에 보내는 제어 명령 이다. 〈그림7〉의 폐루프(Closed Loop) 제어시스템의 블록 다이아그램에서 각 제어 사이클의 시작점에서 타스크 디스크립터(Task Descriptor)는 제어사이클의 끝 점에서 추구 되는 출력센서 값을 결정한다.

각 제어 사이클의 끝에서 CMAC 메모리는 다음과 같이 학습된다.

제어 사이클의 시작점에서 제어상태를 정의하는 센서출력이 관찰된 벡터 s_0 를 형성하는 타스크를 기술하는 센서의 현재 출력과 결합되어 이것으로 CMAC모듈 출력 $f(s_0)$ 가 계산된다. 이상적으로는 계산된 출력 $f(s_0)$ 는 제어 사이클동안 실제 주어진 명령 g_0 와 일치 되어야 한다.

이렇게하여 s_0 에 의해 매핑된 각메모리 영역에 아래 값을 보트에 의해 학습된다.

$$del = b * (g_0 - f(s_0)) / c$$

여기서 c 는 s_0 에 의해 매핑된 총메모리 영역의 갯수이고 b 는 학습 계수로 0과 1의 사이값

4. 결론

CMAC 메모리 구조를 이용한 간접 학습개념은 CMAC을 단순한 하나의 룩업테이블(lookup-table)로 보고 현재의 상황, 원하는 최종센서 출력값 등으로 구성되는 입력 공간에서 출력 되어야 할 값의 학습을 숙련된 조작자의 조작과 병렬적으로 이루어 지게 한다.

이 경우 CMAC의 장점은 고유의보간기능에 의해 직접적으로 학습 되지 아니한 점에 대해서도 어느 정도 합리적인 출력값이 선정 되어 질 수 있고 전체 입력공간에 대한 상대적으로 축약된 메모리량을 필요로 한다는 것 등이다. 자기학습의 경우에도 이상의 장점은 그대로 가지게 되지만 CMAC 학습알고리즘의 비완벽성으로 시스템의 성격에 따라 적절한 학습 알고리즘에의 변형이 요망 된다고 생각된다.

일반적인 학습 제어 문제에서와 같이 제기되는 문제지만 전체 입력공간에 대한 학습을 모두 이루려면 많은 시간이 소요 되므로 CMAC에서도 얼마만큼의 학습전 데이터가 필요 할 것이다.

그리고, CMAC 학습알고리즘의 범용성을 위해서는 다층의 구조를 가지는 개량된 CMAC 구성에 관한 연구가 있어야 할 것이다.

참고문헌

- <1> J.s. Albus, "Theoretical and experimental aspects of a cerebellar model, "PH.D. dissertation, Univ of Maryland, Dec.1972
- <2> J.S.Albus, "A new approach to manipulator control : The Cerebellar model articulation controller (CMAC), "Trans. ASME, J.dynamic syst., Meas., Contr., vol. 97, pp220-227, sept. 1975
- <3> W.T.Miller, "Sensor-based control of robotic manipulators using a general learning Algorithm, " IEEE vol RA-3, NO2, pp 157-165, April 1987.
- <4> W.T.Miller, "Real-time application of neural networks for Sensor-based control of robots with vision,"IEEE vol SMC-19, NO4, pp825-831, July 1989.
- <5> 한국기계연구소 연구보고서, "연마석 자동 조정장치 개발,"1988. 11.