

영상신호와 병렬계산에 의한 로봇의 2차원 움직임 제어

이재철

Two-dimensional motion control of a mobile robot with visual signal and parallel computing

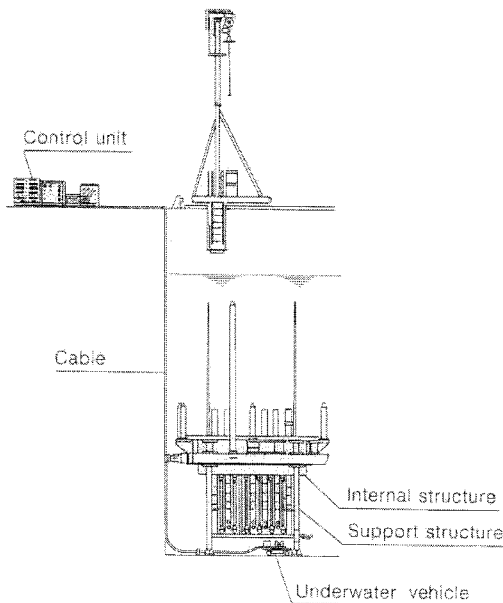
Jae Cheol Lee

Korea Atomic Energy Research Institute

Abstract - 본 논문은 원자력 발전소내의 기기들 중 원자로 내부 기기의 초음파 비파괴 검사를 위한 로봇의 위치제어를 위한 방법을 설명하였다. 기존에는 레이저와 같은 보조 시설물을 설치하여 검사를 하는 것이 일반적이었다. 본 논문에서는 이러한 보조 시설물 없이 카메라 영상에 의한 위치제어에 관하여 기술하였다. 여러 가지 방법 중에 정합 필터를 이용하여 로봇의 현재위치를 추정하는 방법을 사용하였다. 본 논문에서 제안된 방법을 실험한 결과 로봇의 제어를 위한 샘플링 타임은 100msec 정도로 일반적인 로봇의 제어 주기로 사용하기에는 다소 길었다. 이를 해결하기 위하여 정합필터를 병렬 계산을 이용하여 계산하도록 하고 이를 병렬언어로 널리 사용되고 있는 MPI(Message Passing Interface) 언어로 구현하였다. 다수의 컴퓨터와 이터넷을 이용할 수 있으며 최근 일반화되고 있는 멀티코어 CPU도 응용이 가능하였다.

1. 서 론

본 논문에 사용된 제어 시스템은 원자력 발전소내의 기기들 중 원자로 내부 기기의 초음파 비파괴 검사를 위한 로봇에 사용하기 위하여 개발되었다. 그림 1에 본 시스템의 대략적인 사용 환경을 나타내었다. 그림에 나타낸 시설물은 원자력 발전소내의 핵연료의 반응 속도를 조절하기 위한 제어봉의 움직임을 안내하는 관으로써 실제 환경에서는 관의 외부에 고온, 고압, 고속의 유체가 흐르고 있기 관이 횡방향의 힘을 받아 원래 위치를 벗어날 수도 있다. 관이 원래 위치를 벗어나게 되면 제어봉의 움직임이 불가능하여 핵반응을 제어하기 어려워진다. 이 안내관을 지름 25mm 정도의 지지핀을 2개 사용하여 고정하게 되는데 지지핀 역시 힘을 받아 파손되는 경우가 있다[1]. 이를 육안 및 초음파로 검사하기 위한 시스템에서 검사용 로봇이 안내관과 지지핀을 자동으로 찾아가게 하기 위한 방법을 본 논문에서 기술하였다.



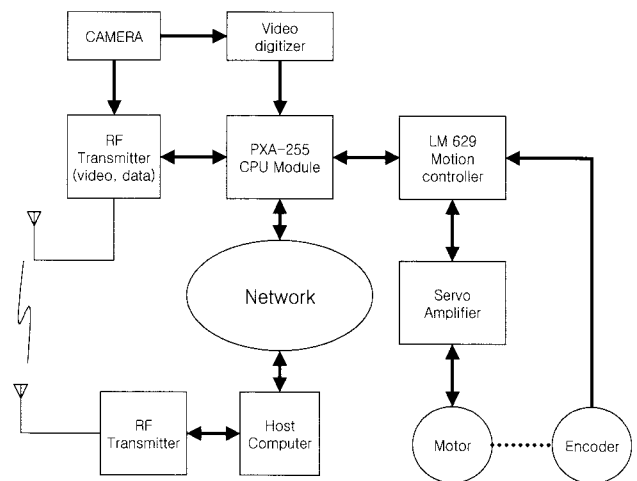
〈그림 1〉 제어봉 안내관 지지핀 검사 개요

2. 본 론

2.1 로봇의 구성 및 위치추정 방법

본 로봇의 구성을 그림 2에 나타내었다. 주제어 프로세서로 인텔사의 PXA-255를 사용하고, 모션 제어를 위하여 내셔널반도체사의 LM629 모션 컨트롤러를 사용하였으며 바퀴는 2개의 브러쉬리스 모터로 구동하였다. 로봇의 주제어 프로세서와 주제어 컴퓨터는 10 Mbps의 이터넷으로 연결되어 사용자의 제어를 받을 수 있도록 하였다. 카메라에 잡힌 영상은 무선으로 전송되게 하였으나 실제 수중에서 사용할 때는 유선을 이용하게 된다. 위치 추정 방법 및 이와 밀접한 관련이 있는 움직임 추정 방법에는 비디오 영상의 압축에 사용되는 여러 가지 방법들이 있으나 본 시스템에는 다른 시스템과 다른 다음과 같은 특수한 특징이 있다.

첫 번째, 본 로봇은 매우 평탄한 2차원 평면을 움직인다. 둘째, 검사 대상체는 로봇이 추정하는 2차원 평면과 평행한 면 위에 있다. 셋째로 검사 대상체인 안내관과 지지핀의 형상이 원형으로 이루어져 있다. 따라서 본 시스템에서는 일반적인 물체의 인식보다 제약조건이 많아 회전 불변의 성질과 크기 불변의 성질이 없더라도 인식이 가능한 시스템이다[2] 이와 같은 인식기능을 가지는 여러 방법 중에 상호 상관 계수를 이용한 정합 필터 방법이 노이즈에 강하고 알고리즘의 단순함으로 인하여 주로 사용되어 왔다. 본 논문에서는 고속 푸리에 변환을 이용한 정합필터링 기법을 이용하여 안내관과 지지핀의 위치를 찾는 방법을 이용하였다. 일반적인 2.4 Ghz의 데스크 탑 컴퓨터에서 구현한 결과 320x240 이미지를 이용한 정합필터를 초당 10회 정도 수행할 수 있어 정밀한 제어를 위한 고속화가 필요하였다. 이를 해결하기 위하여 하드웨어에 의한 정합 필터링 방법 등이 사용될 수 있으나 본 논문에서는 최근 일반화 되고 있는 멀티코어 프로세서를 위한 MPI 병렬 언어를 사용하여 해결하였다.



〈그림 2〉 제어 시스템의 구성

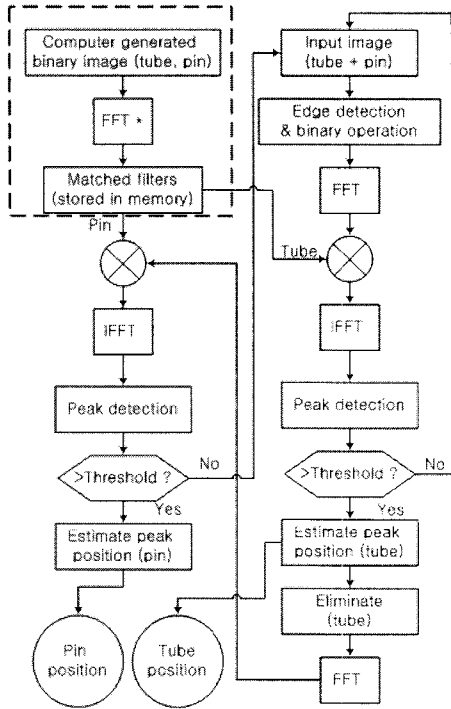
2.2 고속화를 위한 병렬화 방법

본 제어 시스템의 블록 다이어그램을 그림 3에 나타내었다. 본 제어 시스템의 고속화를 병목지점은 정합 필터의 계산을 위한 2차원 FFT와 주파수 영역에서의 2차원 배열의 곱 및 이의 FFT 역변환이다. 이를 위한 복소수 연산량은 2차원 FFT를 위해 많이 사용되는 행렬 분리 방법과 2x2의 벡터 근(vector radix)를 사용할 경우 다음과 같다.[3]

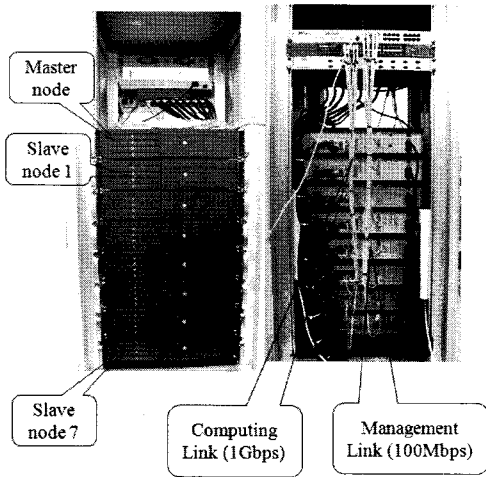
$$\text{행렬 분리 방법의 경우} : 4 \times N_1 N_2 \frac{\log_2 N_1 N_2}{2} + 2N_1 N_2$$

$$\text{벡터 근 방법의 경우} : 4 \times \frac{3N^2}{4} \log_2 N + 2N^2$$

와 같이 쓸 수 있다. 여기서 N_1, N_2 는 2의 멱승인 가로와 세로의 화소 수이며 N 은 가로와 세로가 같은 경우에 벡터 근을 이용하기 위한 2의 멱승개의 화소 수이다. 따라서 본 실험에서는 256×256 의 영상에 대하여서는 상대적으로 연산 량이 적은 벡터 근 방식을 사용하고 512×256 의 방법에서는 행 열 분리 방법을 MPI를 이용하여 구현하여 보았다. 이러한 계산의 병렬 화를 위하여 그림 4의 시스템을 구성하여 보았다.



〈그림 3〉 위치 추정 알고리즘



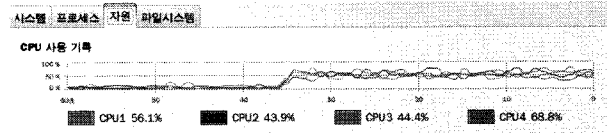
〈그림 4〉 알고리즘 실험을 위한 병렬 시스템

실제 테스트한 결과 그림 6과 같은 정합필터링 영상을 얻을 수 있었다. 여기에서 가장 밝은 점이 정합된 물체의 위치로 이를 사용하면 물의 위치를 추정 할 수 있다. 운영체제에서 제공하는 시스템의 타임을 이용한 속도 비교 결과를 표 1에 나타내었다. 사용된 시스템은 AMD의 2.2Ghz 주파수의 2코어 프로세서에 512 MB 667Mhz의 DDR2 메모리를 사용하고 리눅스 2.6 커널에서 64bit용 GCC 4.2 와 LAM-MPI 7.12 버전을 사용한 결과이다. 단일 CPU의 4 코어는 인텔의 4코어 프로세서로 2.4Ghz의 동작속도이며 소프트웨어 적인 환경은 다른 시스템과 동일하였다.

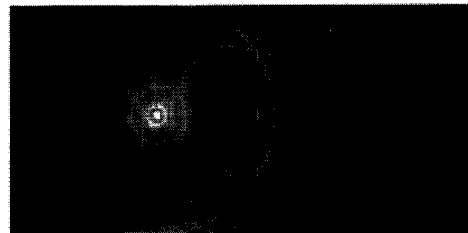
3. 결 론

표 1에 실험 결과를 나타내었다. 2코어 CPU를 8개를 사용한 시스템이 실제 속도의 개선이 현저하지 않았으며 분리된 CPU 4개 까지는 단일코어

단일 CPU보다 오히려 늦은 결과를 보였다가 8개를 사용하였을 때 비로소 조금 빠른 정도였다. 이 와 같은 결과는 FFT 알고리즘 자체가 실제 연산보다 데이터의 이동에 많은 시간을 사용하기 때문으로 판단되며 이를 확인하기 위하여 4개의 코어를 가진 단일 시스템에서 연속적으로 정합 필터를 계산하면서 CPU의 활용도를 조사한 결과 그림 5와 같이 평균 60% 정도로 판명되었다. 즉 기가비트 이더넷 장치를 이용한 데이터의 전송의 경우 비교적 큰 레이턴시 타임의 존재로 정합 필터와 같은 데이터 이동량이 많은 경우에는 부적절함을 알 수 있었다. CPU 내부의 코어간의 데이터 이동의 경우에는 이와 같은 레이턴시 타임이 이더넷에 비하여 짧고 병렬화의 효과가 큰 것을 알 수 있었다.



〈그림 5〉 4코어의 CPU 활용도 결과



〈그림 6〉 정합 필터의 출력

〈표 1〉 실험 결과

| | 단일 CPU | 16 코어(8C PU 분리형) | 4코어(단일 CPU) |
|------------------------|----------|------------------|-------------|
| 로봇 제어주기 | 102 msec | 88msec | 68msec |
| 정합필터 연산 시간 (256 x 256) | 47msec | 42msec | 32msec |
| 정합필터 연산 시간 (512 x 256) | 68msec | 50msec | 45msec |

〔참 고 문 헌〕

[1] J.C. Lee, "A Fast Position Estimation of Control of Guide Tube Inspection Robot with a Single Camera," Proc. of the Korean Nuclear Society Autumn Meeting, p 643, Oct. 2004
 [2] J.D Gaskill, " Linear Systems, Fourier Transforms, and Optics, John Wiley & Sons, 1978
 [3] D.E Dudgeon, "Multidimensional Digital Signal Processing" Prentice-h all, 1984