

## CCR 반사경과 Manchester Coding을 이용한 광(光)통신 기법

문공보\*, 박찬국\*\*, 이장규\*

서울대학교 전기공학부, 자동화시스템공동연구소\*

서울대학교 기계항공공학부\*\*

### Optical Communication Method Using CCR and Manchester Coding

Gong-Bo Moon\*, Chan-Gook Park\*\*, Jang-Gyu Lee\*

Seoul National University, School of Electrical Engineering, Automation and Systems Research Institute\*

Seoul National University, School of Mechanical and Aerospace Engineering\*\*

**Abstract** - 최근 활발한 연구가 진행되고 있는 센서 네트워크 시스템은 센서 노드 주변에서 수집된 환경 정보를 베이스로 전달하여 정보를 통합하는 시스템이다. 다양한 환경에 적용하기 위하여 정보 전달에 주로 무선 채널을 활용하는데 기존과 같이 라디오 주파수 채널을 이용하는 경우 센서 노드가 복잡해지고, 도청의 위험성이 존재한다. 본 논문에서는 이러한 단점을 피하기 위해 광(光)채널을 형성하고, 이를 이용하여 데이터를 전송하는 기법을 제안한다.

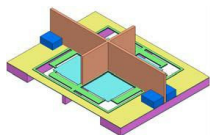
#### 1. 서론

센서 네트워크란 센서, 데이터 전송 장치 등을 포함하는 센서 노드(sensor node)를 이용하여 장치 주변의 환경 정보를 획득하고, 중앙 처리 장치(base station)에서 수집된 정보를 통합함으로써 원격의 환경 정보를 측정할 수 있도록 구성된 시스템이다. 이 때, 정보 전달이 우선으로 이루어지면, 센서 노드의 공간 분포에 제약이 받게 된다. 이를 피하기 위해 무선으로 데이터를 전송하는 무선 센서 네트워크가 연구되고 있다. 기존의 무선 센서 네트워크 시스템들은 대부분 RF(radio frequency) 채널을 이용하는데, 운용 중에 혼신 가능성이 있고, 외부에서 도청이 가능하다는 단점을 가진다. 이러한 단점을 피하기 위해, CCR(corner cube retroreflector) 반사경과 레이저를 이용하여 광(光)채널을 형성하고, 데이터를 전송하는 방식이 제안되었다[1]. 광채널을 사용하면, 노드에서 복잡한 RF 변복조 장치를 줄일 수 있기 때문에 장치의 간소화 및 전력 사용에 이점을 가져온다[3]. 또한 통신 채널의 형성이 센서 노드와 베이스 간의 시선 거리가 확보된 상황에서 이루어지기 때문에 도청 등의 외부 개입이 있는 경우, 네트워크에서 자체적으로 감지할 수 있다는 장점도 가진다. 본 논문에서는 레이저 다이오드와 CCR 반사경을 이용하여 광채널을 형성할 수 있음을 보이고, 이를 이용한 데이터 전송 기법을 제안한다. 또한 이론적 분석과 실험을 통해, 제안된 기법이 실제 데이터 전송에 적용될 수 있는지 살펴 본다.

#### 2. CCR을 이용한 광통신

##### 2.1 CCR(corner cube retro-reflector)

CCR은 corner cube retro-reflector의 약어[1]로 서로 직교하는 세 개의 반사면으로 구성되어 있다. 현재 광온대학교 마이크로-나노 소자 및 패키징 연구실에서 MEMS(micro electro-mechanical structure) 기술을 기반으로 제작하고 있는 CCR 장치는 그림 1과 같은 구조를 가진다[2].



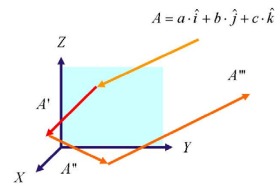
<그림 1> CCR 구조도

그림 1에서 바닥면에 수직으로 위치한 반사면은 고정되어 있으며, 서로 직각을 유지하고 있다. 바닥면은 전압 인가에 의해 경사 각도를 변경할 수 있는 cantilever 방식의 구동기를 이용하여, 입사 광선의 반사 경로를 제어할 수 있도록 설계하였다[2][3].

##### 2.1.1 CCR을 이용한 광채널 형성 및 광반사 제어

우선 CCR 반사경의 반사 특성을 확인하기 위하여, 그림 1의 우측 하단부를 직교좌표계에 대입하여 살펴 보았다. 한 개의 하부 반사면과 이에 직교하며 고정되어 있는 두 개의 수직 반사면

을 가정하고, 서로 다른 두 면이 이루는 모서리를 그림 2와 같이, 각각  $X, Y, Z$  축으로, 이에 대한 단위 벡터를  $\hat{i}, \hat{j}, \hat{k}$ 라고 정한다. 이제 우측 하단부 CCR에 입사한 광선을 식으로 표현하면 다음과 같다.

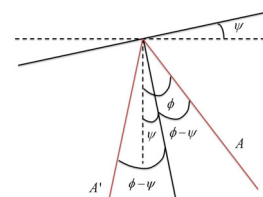


<그림 2> CCR 반사 경로

입사광의 반사 경로는 각각의 반사면( $Y-Z$ ,  $Z-X$ ,  $X-Y$ )에 대한 반사 변환 행렬을 이용하여 식 (1)과 같이 계산된다.

$$A''' = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} A = -A \quad (1)$$

결과로부터, CCR 반사경에 입사한 광선의 최종 반사 경로는 입사 경로와 동일하며, 진행 방향만 반대가 됨을 확인할 수 있다. 그런데 실제 MEMS 제작 공정에서는 그림 2와 같은 이상적인 직교 면을 보장할 수 없으므로[2], 반사면이 서로 직교하지 않는 경우, CCR을 이용한 광채널 형성이 가능한 지 확인해 볼 필요가 있다. 우선, 그림 2에서 첫 번째 반사면이 Yaw 방향으로( $Z$ 축을 엄지손가락 방향으로 둔 오른손 나사 법칙에 따른 회전 방향) 이상적인 직교 면에 대하여 각도  $\psi$ 만큼 기울어져 있다고 가정한다. 이 때, 이상적인 직교면에 대하여 입사각,  $\phi$ 를 가지는 입사 광선을 고려하면 다음과 같이 정리된다.



<그림 3> 기울어진 반사면에 대한 반사 상황

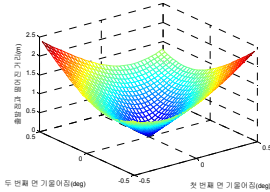
그림 3을 참고하여, 기울어진 반사면에 대한 반사 경로를 입사 각과 벡터 방향 변환(DCM, direction cosine matrix)을 이용하여 다음의 식 (2)와 같이 계산할 수 있다[5].

$$A' = C(\psi) \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} C(-\psi)A, \quad C(\psi) = \begin{bmatrix} \cos \psi & \sin \psi & 0 \\ -\sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

동일한 과정을 통해, 첫 번째 반사면에 Pitch 방향( $Y$ 축을 엄지손가락 방향으로 둔 오른손 나사 법칙에 따른 회전)의 오차,  $\theta$ 를 함께 고려하면, 최종적인 반사 경로는 다음의 식 (3)과 같이 계산된다[5].

$$A' = C(\theta)C(\psi) \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} C(-\psi)C(-\theta), \quad C(\theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & -\sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\theta & 0 & \cos\theta \end{bmatrix} \quad (3)$$

식 (3)을 이용하여, 첫 번째 반사면에 Yaw방향과 Pitch 방향으로 각각  $\psi, \theta$ 의 각도 오차를 가정한 경우의 최종 반사 경로를 구하고, 이를 이용하여 베이스에 위치한 레이저 광원과 최종 반사광 중심 도달 위치 사이의 거리를 계산하면 다음의 결과를 얻는다[4]. 베이스와 노드 사이의 거리는 100m 사양을 적용하였다.

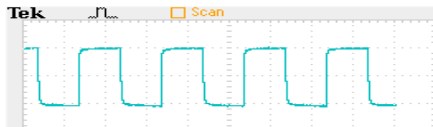


<그림 4> 반사면 기울어짐에 따른 거리 오차(최대 0.5도 오차)

이상의 결과를 통해 CCR 반사경의 수직 반사경이 0.5도 이내의 각도 오차를 가진다면, 100m 거리에서 최대 2.5m의 반지름을 가지는 원 내부에 반사광의 중심이 위치함을 확인할 수 있다[4]. 또한 레이저의 빔 발산각(beam divergence)이 1도에서 5도 사이라고 하면, 베이스에서 점으로 출발한 레이저가 노드에 반사되어 돌아올 때에는 약 3.4m의 빔 폭(beam width)을 가지게 된다. 이를 최대 거리 오차인 약 2.5m와 비교해 보면, CCR 반사경을 이용하여 안정적인 광채널을 형성할 수 있음을 확인할 수 있다[4].

### 2.1.2 CCR 하부 반사경 제어 실험

다음으로 하부 반사경을 구동하여 반사 경로를 제어함으로써, 데이터 전송을 위한 광스위치 기능을 수행할 수 있는지 확인하기 위하여 실제 제작된 CCR에 하부 반사경 제어 명령을 입력하고, 이에 따른 반사광 검출 신호를 확인함으로써, 실제 사용에 대한 가능성을 검토하였다[4].



<그림 5> CCR 반사광 검출 신호(펄스 제어 신호 입력)

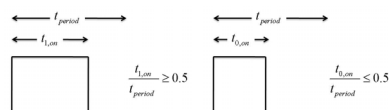
결과로부터, 주어진 제어 입력에 따라 구동된 하부 반사경이 반사 경로를 제어하고 있음을 확인할 수 있다. 즉, CCR 반사경을 이용하여 광채널에 데이터를 변조하는 광스위치 기능을 구현할 수 있는 것이다.

## 2.2 광채널 데이터 통신

광채널에 데이터를 변조하여 전송하기 위해서 변복조 과정이 필요하다. 그런데, CCR은 반사광을 통과/차단하는 형태의 이진 스위칭만 가능하므로, 디지털 변복조 알고리즘이 필요하다. 기존에는 PWM(pulse modulation method) 기법을 사용하였으나, 데이터 전송율의 증가를 위해 변형된 Manchester Coding 방식을 제안하고자 한다.

### 2.2.1 PWM 변복조 기법

PWM(pulse width modulation) 기법은 50%의 듀티비(duty ratio): 펄스 길이에 대한 high 구간의 비)를 기준으로 하여, 그림 6과 같이 듀티비를 다르게 함으로써, 각각 1과 0의 데이터를 구분하여 전송하였다[4].



<그림 6> PWM 변조 기법

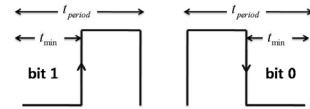
광검출기에 수신된 신호에 변조와 동일한 기준에 따라 0과 1의 정보를 판단함으로써 데이터를 복원하게 된다[4]. 다음으로 그림 6에서  $t_{1,on} = 0.7t_{period}$ ,  $t_{0,on} = 0.3t_{period} = t_{min}$ , 그리고 구동기의 최대 동작 주파수를  $f_{max} = 1/t_{min}$ 로 두고 최대 데이터 전송율을 계산하면 다음과 같다.

$$bps_{max} = \frac{1}{t_{period}} [packet/sec] \times 1 [bit/packet] = 0.3f_{max} [bit/sec] \quad (4)$$

즉, CCR 하부 반사경의 구동 속도에 대해 0.3배의 최대 데이터 전송율을 가지게 됨을 알 수 있다.

### 2.2.2 변형된 Manchester Coding 기법

본 연구에서는 PWM 기법에 비해 증가된 데이터 전송율을 확보하기 위해 변형된 방식의 Manchester Coding 기법을 제안한다. Manchester Coding 기법은 전송 펄스의 중심에서 가지는 상태 천이의 방향으로 0과 1의 데이터를 구분하여 전송하며, 복조를 위해서 변조 과정과 동기화된 클럭을 필요로 한다.



<그림 7> Manchester Coding 변조 기법

그런데, 주어진 센서 네트워크 시스템에서는 베이스와 노드 간에 동기화된 클럭을 사용할 수 없으므로 새로운 복조 알고리즘이 필요하다. 이를 위해, 수신 가능한 data sequence에 대하여, 상태 천이점 사이의 시간 간격을 살펴 보면 표 1과 같다.

<표 1> 수신 가능 bit sequence 조합

|       | bit #1 | bit #2 | 시간 간격                                |
|-------|--------|--------|--------------------------------------|
| 1번 조합 | 0      | 0      | $t_{min}, t_{min}, t_{min}, t_{min}$ |
| 2번 조합 | 0      | 1      | $t_{min}, t_{period}, t_{min}$       |
| 3번 조합 | 1      | 0      | $t_{min}, t_{period}, t_{min}$       |
| 4번 조합 | 1      | 1      | $t_{min}, t_{min}, t_{min}, t_{min}$ |

이로부터 상태 천이점 사이에  $t_{period}$  길이의 시간 간격이 관측되는 경우, 전송 데이터의 상태가 한 번 바뀌게 됨을 알 수 있다. 그렇지 않고,  $t_{min}$ 의 시간 간격이 관측되는 경우, 간격 2회당 이전과 동일한 데이터 전송 1회로 판단된다. 즉 상태 천이점 사이의 시간 간격을 연속적으로 측정하면 동기화된 클럭이 없어도 전송 데이터의 복조가 가능하다.

다음으로 제안된 기법에 의한 데이터 전송율을 계산해 보면 다음과 같다. 여기에서  $t_{min} = 0.5t_{period}$ 로 정해진다.

$$bps_{max} = \frac{1}{t_{period}} [packet/sec] \times 1 [bit/packet] = 0.5f_{max} [bit/sec] \quad (5)$$

식 (5)의 결과로부터 본 연구에서 제안된 기법을 광채널의 데이터 전송에 적용하는 경우, 주어진 CCR 구동 속도의 절반에 해당하는 데이터 전송율을 확보할 수 있으며, 이는 이전 연구 결과에 비해 데이터 전송율이 증가한 결과임을 확인할 수 있다.

## 3. 결 론

본 논문에서는 광채널을 이용한 센서 네트워크 시스템에서 레이저 광원과 CCR 반사경을 이용하여 광채널을 형성하고, 데이터 전송이 가능함을 확인하였다. 또한 변형된 Manchester 기법을 제안하고, 기존의 PWM 기법에 비해 데이터 전송율이 증가할 수 있음을 확인하였다. 추후 제안된 기법을 실제 시스템에 적용하는 연구가 진행될 예정이다.

### [감사의 글]

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소에 의하여 설립된 'MEMS 특화연구센터'의 지원으로 수행되었습니다.

### [참 고 문 헌]

[1] J. M. Kahn, R. H. Katz, K. S. J. Pister, "Next Century Challenges: Mobile Networking for Smart Dust", Proceedings of the 5th annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking, p.271-278, 1999  
 [2] 이덕현, 박재영, "CCR 적용을 위한 압전 구동 Cantilever 방식의 초소형 반사경 설계", 2008년도 한국 군사과학기술학회 종합학술대회 논문집, 2008  
 [3] 이덕현, 오영진, 문공보, 이덕현, 박진성, 김동현, 박찬국, 박재영, 이용식, "MEMS 거울소자를 이용한 광학센서 네트워크의 개발", 제 16회 지상무기 학술대회 논문집, 2008  
 [4] Gong Bo Moon, Chan Gook Park, Jang Gyu Lee, "Optical Communication Method using CCR", ICCAS international conference on control, automation and systems, 2008  
 [5] D.H.Titterton, J.L.Weston, Strapdown inertial navigation and technology, London, Peter Peregrinus Ltd., 1997.