

# 비전 기반 스마트 와이퍼 시스템을 위한 지능형 레인 감지 알고리즘 개발

이경창\*(부산대 기계공학부), 김만호, 임홍준(부산대 대학원 지능기계공학과),  
이 석(부산대 기계공학부)

## Intelligent Rain Sensing Algorithm for Vision-based Smart Wiper System

K. C. Lee(Sch. of Mecha. Eng. , PNU), M. H. Kim, H.J.Lim(Dpet. of Int. & Mecha. Eng. , PNU),  
S.Lee (Mecha. Eng. , PNU)

### ABSTRACT

**Abstract:** A windshield wiper system plays a key part in assurance of driver's safety at rainfall. However, because quantity of rain and snow vary irregularly according to time and velocity of automotive, a driver changes speed and operation period of a wiper from time to time in order to secure enough visual field in the traditional windshield wiper system. Because a manual operation of windshield wiper distracts driver's sensitivity and causes inadvertent driving, this is becoming direct cause of traffic accident. Therefore, this paper presents the basic architecture of vision-based smart windshield wiper system and the rain sensing algorithm that regulate speed and operation period of windshield wiper automatically according to quantity of rain or snow. Also, this paper introduces the fuzzy wiper control algorithm based on human's expertise, and evaluates performance of suggested algorithm in simulator model. In especial, the vision sensor can measure wide area relatively than the optical rain sensor, hence, this grasp rainfall state more exactly in case disturbance occurs.

**Key Words :** Smart Wiper System (스마트 와이퍼 시스템), Intelligent Vehicle (지능형 차량), Rain Sensor (레인 센서), Wiper System (와이퍼 시스템), Vision Sensor (비전 센서), Fuzzy Control (퍼지 제어)

### 1. 서론

최근 들어, 승용차나 트럭, 산업용 차량, 군사용 차량 분야에서 지능화 차량(intelligent vehicle)에 대한 관심이 급속히 증대되어 가고 있다.

특히, 운전자의 안전성과 편의성에 영향을 미치는 지능형 차량 부품 중에서, 윈드실드는 운전자의 시야와 안전에 가장 많은 영향을 미치는 부분이다. 즉, 운전자의 시야를 방해하는 우천시엔, 윈드실드 와이퍼시스템(windshield wiper system)은 운전자의 안전성을 보장하는 데 있어 매우 핵심적인 역할을 수행한다. 그러나, 비나 눈의 양은 시간과 차량의 속도에 따라 불규칙적으로 변하기 때문에, 전통적인 와이퍼 시스템의 경우, 충분한 시야를 확보하기 위해서는 와이퍼의 속도와 작동 주기를 수시로 변화시켜야 한다.

이러한 와이퍼제어를 위한 조정은 운전자의 신경을 분산시키고, 부주의한 운전을 야기시켜, 교통 사고의 직접적인 원인이 되고 있다.

이러한 문제를 해결하기 위하여, 비나 눈의 양에 따라 자동으로 와이퍼의 속도와 작동 주기를 조절하여 주는 지능형 스마트 윈드실드 와이퍼 시스템(intelligent smart windshield wiper system)에 대한 연구 개발이 진행되어 왔다.

기존의 지능형 스마트 와이퍼 시스템에서는 주로 광학식 레인 센서(optical rain sensor)가 사용되고 있다. 그러나 광학식 레인 센서의 경우, 외부의 광원으로 인한 간섭 현상이 크다는 단점이 있어 부정확한 성능을 가지고 있다. 또한 간섭 현상을 방지하기 위해 필터를 사용하게 되면 윈드실드 교체시 일반 윈

드셀드가 아닌 필터 브라켓이 부착된 윈드실드만을 사용해야 하기 때문에, 교체시 비용을 추가해야 하는 단점이 발생한다. 뿐만 아니라, 광학식 레인 센서는 매우 작은 영역을 대상으로 비의 양을 의미하는 수분 레벨(rain)과 비가 감지 영역에 얼마나 자주 묻는가를 나타내는 강도(intensity)만을 측정할 수 있기 때문에, 윈드실드의 국부적인 영역에만 비가 묻어 있거나 비가 흘러 내리는 경우와 같은 외란에 대하여 정확한 측정이 어렵다는 단점이 존재한다.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여, 보다 넓은 윈드실드 영역을 측정할 수 있는 비전 센서를 이용한 스마트 와이퍼 시스템(vision-based smart wiper system)의 개념에 대하여 제안한다.

본 논문은 서론을 포함하여 6장으로 구성되어 있다. 2장에서는 비전 기반 스마트 와이퍼 시스템의 기본 구조에 대하여 설명하였으며, 3장에서는 레인 감지 알고리즘에 대하여 설명하였다. 4장에서는 퍼지 제어를 이용한 지능형 와이퍼 제어 알고리즘에 대하여 설명하였으며, 5장에서는 시뮬레이터를 구현하고, 제안된 알고리즘의 성능을 평가하였다. 마지막으로, 6장에서는 결론을 제시하였다.

## 2. 비전 기반 스마트 와이퍼 시스템 구조

본 논문에서는 폭 1cm 이하의 좁은 영역에서 수분 레벨과 강도만을 측정할 수 있다는 한계 때문에, 국부적인 외란에 의하여 불규칙하게 변하는 강우 상태를 정확하게 파악하기 위하여, 그림 1 과 같은 비접촉식 센싱 방법인 비전 센서에 기반한 지능형 스마트 와이퍼 시스템에 대하여 제안한다. 시스템의 구성은 스마트 와이퍼 시스템은 와이퍼 모터, 와이퍼 스위치, 퍼지 제어기, 비전 센서, LED 등으로 구성되어 있다. 여기에서, 와이퍼 스위치는 스마트 와이퍼 시스템을 작동시키는 기능을 수행하도록 하였다. 다음으로, 퍼지 제어기에는 비전 센서로부터 비의 영상을 입력 받아

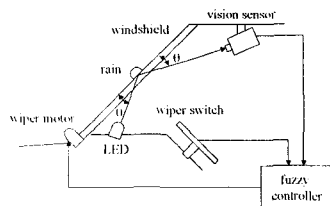


Fig. 1. Schematic diagram of vision-based smart wiper system.

수분 레벨과 분포도를 연산하는 레인 센싱 알고리즘과 연산된 결과를 이용하여 와이퍼 속도와 작동 주기를 계산하는 퍼지 제어 알고리즘이 내장되도록 하였다. 마지막으로, 비전 센서는 운전자의 눈이 바라보는 위치의 윈드실드를 인식하도록 자동차의 천정 부위에 설치하였으며, LED 는 센싱 영역으로 빛을 직사할 수 있도록 윈드실드와 접해 있는 계기판(dashboard) 상단에 설치하였다.

## 3. 스마트 와이퍼 시스템 레인 센싱 알고리즘

비전 기반 스마트 와이퍼 시스템을 위한 레인 센싱 알고리즘은 그림 2와 같다. 와이퍼 스위치가 켜지게 되면, 와이퍼가 1 회 동작하고 나서, 비전 센서를 통하여 윈드실드의 영상을 획득하게 된다. 그리고 나서, 미동의 상태가 꺼져 있는 지를 검사하여 주간 운행(미동이 커진 상태) 상태인지 야간 운행(미동이 꺼진 상태) 상태인지를 검사한다. 다음으로, 획득된 영상을 이용하여 주간과 야간에 따른 영상 처리 알고리즘을 수행하고, 수분 레벨과 분포도를 계산한다. 마지막으로, 계산된 결과를 입력으로 하여 지능형 퍼지 와이퍼 제어 알고리즘이 수행되고, 그 결과에 따라 와이퍼의 속도와 작동 주기가 조절된다.

본 논문에서는 우선적으로 주간에 한하여 영상 처리 및 성능 평가를 수행하였다.

### 3.1. 주간 영상 처리 알고리즘

윈드실드에 묻어 있는 빗방울은 고정된 형상을 가지고 있지 않기 때문에, 윈드실드로부터 빗방울의 영상만을 검출해 내기는 매우 어려운 문제이다. 그러나, 빗방울의 경계선을 효과적으로 검출해 낼 수만 있다면, 빗방울의 대략적인 크기와 분포도를 알 수가 있다.

먼저 연산 속도가 빠른 Sobel 마스크를 사용하여 빗방울의 경계선을 검출하였다. 영상에 Sobel 마스크를 적용하고 나서, 에지 추출을 수행하면 빗방울의 경계선이 비교적 부드럽고 선명하게 검출된다.

그러나, Sobel 마스크를 통하여 인식된 경계선에는 윈드실드 바깥 배경 영상의 희미한 경계선까지 포함되어 있다. 이러한 배경은 Low DOF 에 의하여 희미하게 처리되었기 때문에 발생한다. 이러한 배경의 미세한 경계선을 제거하기 위하여, 본 논문에서는 식 1 과 같이 단일 임계값(single threshold)  $T$  를 이용하였다. 여기에서,  $T$  값으로는 125 가 사용되었다.

$$F(x,y) = \begin{cases} \text{high}(255) & \text{if } f(x,y) \geq T \\ \text{low}(0) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

다음 단계로, 빗방울을 더욱 부각시키기 위하여, 팽창(dilation) 연산을 적용하였다. 연산 속도를 고려하여, 모든 픽셀의 값이 0 인 3x3 팽창 마스크를 사용하였다

### 3.2. 강우 상태 판단 알고리즘

스마트 와이퍼 시스템에서 와이퍼의 제어를 위해서는 강우 상태를 파악할 필요가 있다. 빗방울은 형태에 따른 특징이 존재하지 않기 때문에, 본 논문에서는 수분 레벨과 분포도를 이용하여 강우 상태를 결정하였다.

먼저, 수분 레벨은 영상 처리가 완료된 256x256 영상에서 비가 묻어있는 화소수로 정의하였다.

다음으로, 분포도는 다음과 같이 계산하였다. 먼저, 전체 영상을 16x16 단위로 나누고, 이 구역 내에 high 값을 가진 화소가 하나라도 존재하면 (즉, 빗방울이 묻어 있는 경우), 그 구역 전체에 high 값을 할당한다. 그리고 나서, high 값을 가진 화소수를 전체 화소수(65,536)로 나눈 값의 백분율을 분포도로 정의하였다.

### 4. 퍼지 와이퍼 제어 알고리즘

영상 처리를 통하여 계산된 강우 상태, 즉 수분 레벨과 분포도에 따라 와이퍼의 속도와 작동 주기를 제어하기 위하여 퍼지 제어 알고리즘을 이용하였다. 특히, 운전자의 판단 능력은 정확하게 수학적으로 모사하는 것이 불가능하기 때문에, 퍼지 논리를 이용한 와이퍼 제어는 매우 효과적인 방법이라 할 수 있다.

퍼지 제어 규칙을 결정하기 위하여, 표 1 과 같이 강우 상태에 따라 이루어지는 운전자의 와이퍼 조작 경험을 이용하였다. 이러한 방법을 이용하여 시뮬레이터에서 강우 상태를 모사하여 촬영된 100 여 장의 실험 영상으로부터 표 2 와 같은 퍼지 제어 규칙을 도출할 수 있었다.

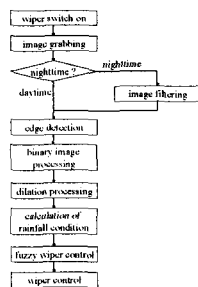


Fig. 2. Flowchart of rain sensing algorithm

Table 1. General linguistic rules for controlling a wiper.

| Antecedent                        | Consequence   |
|-----------------------------------|---|
| IF it is not raining or drizzling | THEN the wiper should be set to "Off."                  |
| IF it is drizzling lightly        | THEN use a long delay interval setting on the wiper.    |
| IF it is drizzling heavily        | THEN use a short delay interval setting on the wiper.   |
| IF it is raining lightly          | THEN use the continuous low speed setting on the wiper. |
| IF it is raining heavily          | THEN use the continuous high speed setting on the wiper |

Table 2. Fuzzy control rules for controlling a wiper.

| (a) Speed    |      |      |         |      |
|--------------|------|------|---------|------|
|              | Rain | Dry  | Drizzle | Wet  |
| Distribution |      |      |         |      |
| Light        |      | Zero | Low     | Low  |
| Medium       |      | Low  | Low     | Low  |
| Heavy        |      | Low  | Low     | High |

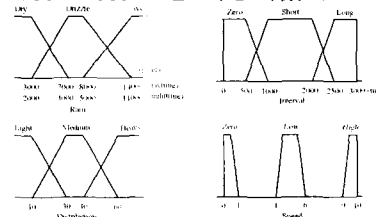
  

| (b) Interval |      |       |         |       |
|--------------|------|-------|---------|-------|
|              | Rain | Dry   | Drizzle | Wet   |
| Distribution |      |       |         |       |
| Light        |      | Long  | Long    | Short |
| Medium       |      | Long  | Short   | Zero  |
| Heavy        |      | Short | Zero    | Zero  |

그림 3 은 스마트 와이퍼 제어기의 퍼지 입출력 변수에 대한 소속 함수(membership function)와 언어 값을 나타낸다. 퍼지 추론법으로는 퍼지 제어기의 계산 부담을 줄이기 위하여, Min-max 합성법을 사용하였으며, 비퍼지화 방법으로서, 와이퍼 속도는 MoM(Mean-of-Maximum) 방법을, 와이퍼 작동 주기는 CoA(Center-of-Area) 방법을 사용하였다.

### 5. 비전 기반 스마트 와이퍼 시스템 성능 평가

비전 기반 스마트 와이퍼 시스템의 레인 센싱 알고리즘과 퍼지 와이퍼 제어 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여, 실험실 환경에서 그림 1에서 제시된 구조와 같은 시뮬레이터를 제작하였다. 시뮬레이터에서, LED 로는 빛의 세기가 강하고 파장이 제일 긴 적색 고휘도 LED를 사용하였으며, 프레임 그래버로는 Euresys사의 Picolo board를 사용하였다. 그리고,



(a) membership of fuzzy input (b) membership of fuzzy output  
Fig. 3. Membership functions of fuzzy input and output variables.

CCD 카메라로는 흑백인 Pulnix 사의 TM-200 을 사용하였다. 특히, 본 실험에서 조리개를 최대한 개방시키기 위하여 f0.4 로 고정하였다. 또한, 사용된 렌즈는 최소 물체 거리를 나타내는 렌즈의 MOD(minimum object distance)가 조금 길기 때문에 빗방울을 최대한 부각시키기 위해 렌즈 시스템과 CCD 칩 사이의 거리를 늘이는 역할을 하는 2mm 두께의 접사링(spacer ring)을 사용하여 MOD 를 줄였다.

이상과 같은 시뮬레이터에서, 실험실 환경에서 비가 오는 상황을 모사하여, CCD 카메라로부터 256x256 실험 영상을 획득하고, 제안된 레인 센싱 알고리즘과 퍼지 와이퍼 제어 알고리즘의 성능을 평가하였다.

그림 4 는 빗방울이 보슬비와 같은 형태를 띄고 있을 때, 영상 처리 알고리즘을 수행한 결과이다. 그림 4(a)와 같은 원 영상으로부터 Sobel 마스크를 적용하여 경계선을 추출한 결과, 그림 8(b)와 같이 차량 외부 배경의 경계선이 미세하게 검출됨을 볼 수 있다. 이를, 이진영상 처리를 수행하면, 그림 4(c)와 같이 배경이 완전히 제거됨을 알 수 있다. 팽창 연산을 수행하게 되면, 그림 4(d)와 같은 보다 더 분명해진 영상을 얻을 수 있다. 이러한 레인 센싱 알고리즘의 결과, 수분 레벨은 2,183 화소로 계산되었으며, 분포도는 30.5%로 계산되었다. 이 입력 값을 이용하여 퍼지 와이퍼 제어 알고리즘을 수행하면, 와이퍼 작동 주기는 2,450msec, 와이퍼 속도는 5 로 저속 모드로 결정되었다. 즉, 와이퍼는 2.45 초 주기로 저속 모드로 동작하도록 결정되었다.

그림 5 는 빗방울이 많이 존재하는 경우의 레인 센싱 알고리즘을 적용한 결과이다. 이 경우, 수분 레벨은 15,831 화소로, 분포도는 83.2%로 계산되었다. 와이퍼 작동 주기는 350msec, 와이퍼 속도는 9.8 로서 고속 모드로 결정되었다. 즉, 비가 많이 오는 상황에서는 와이퍼 작동 주기는 매우 작고, 와이퍼 속도는

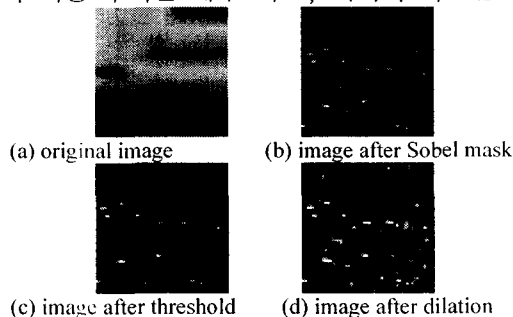


Fig. 4. Result of image processing in case of drizzle condition in daytime.

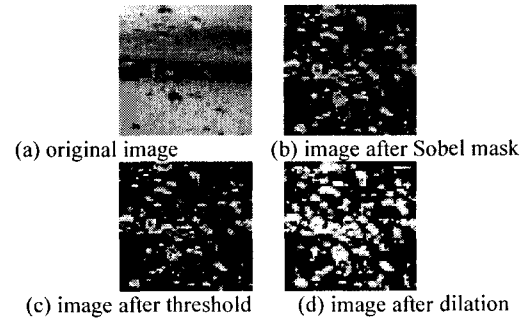


Fig. 5. Result of image processing in case of wet condition in daytime.

고속 모드로 동작하도록 결정되었다

이상과 같은 실험 결과로부터, 주간인 경우, Low DOF 를 이용함으로써 쉽게 배경으로부터 빗방울만을 획득할 수 있었다. 또한, 제안된 레인 센싱 알고리즘에 의하여, 운전자가 느끼는 정도의 강우 상태를 파악할 수 있었으며, 이를 이용하여 퍼지 와이퍼 제어 알고리즘을 수행한 결과, 운전자가 내릴 수 있는 판단과 거의 유사하게 와이퍼 속도와 작동 주기를 결정할 수 있음을 알 수 있었다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 비전 센서 기반 스마트 와이퍼 시스템의 기본 구조와 수분 레벨과 분포도를 이용하여 강우 상태를 인식할 수 있는 레인 감지 알고리즘을 제안하였으며, 계산된 수분 레벨과 분포도에 따라 와이퍼의 속도와 작동 주기를 결정할 수 있는 퍼지 와이퍼 제어 알고리즘을 제안하였다.

본 논문에서는 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 주간의 경우, 비전 센서의 Low DOF 를 이용함으로써 쉽게 배경으로부터 빗방울만을 획득할 수 있었다.

둘째, 제안된 빗방울 분포도를 이용하는 경우, 운전자의 경험과 매우 유사한 결정을 내릴 수 있을 알 수 있었다.

향후 야간의 경우에 대한 추가적인 연구가 이루어져야 할 것이다.

#### 참고문헌

1. K.C. Cheok, K. Kobayashi, S. Scacia, and Scaccia, "A fuzzy logic-based smart automatic windshield wiper." IEEE Control System, vol. 16, no. 6, pp 28-34, Dec. 1996