

청소 로봇 성능 향상을 위한 먼지 검출 시스템

A Dust Detection Sensor System for Improvement of a Robot Vacuum Cleaner

김 동 회*, 민 병 철, 김 동 한
(Dong-Hoe Kim¹, Byung-Cheol Min² and Dong-Han Kim¹)

¹Kyung Hee University,

²Purdue University

Abstract: In this paper, we develop a dust detection sensor system capable of identifying types of dust for an improvement of a robot vacuum cleaner. The dust detection sensor system is composed of a set of infra-red sensors: a single transmitter and multiple receivers. Given the fixed amount of light transmitted from the transmitter, the amount of light coming in multiple receiver sensors varies, depending on the type and density of dust that is passing between the transmitter and the receivers. Therefore, the type of dust can be identified by means of observing the change of the amount of light from the receiver sensors. For experiments, we use two types of dust, rice and sesame, and validate the effectiveness of the proposed method.

Keywords: Dust Sensor, Robot Vacuum Cleaner, Infra-red (IR) sensor, Pixel-based Image Similarity

I. 서론

최근 서비스 로봇 시장을 이끌고 있는 청소 로봇은 이미 초기 시장이 구축되어, 인간의 생활 패턴 변화를 주도할 수 있는 새로운 생활 가전으로서 그 시장 규모가 지속적으로 확대 되어가고 있다. 또한 청소 로봇은 일반인들에게 로봇에 대한 ‘기술적 접근성’을 높여 줌으로써 연구 차원에서 보여 지던 로봇 기술의 비 현실성, 비 실용성에서 탈피하여 실제 생활에서 로봇이 유익한 서비스를 제공하고 있는 예를 제시 함으로써 기타 서비스 로봇에 대한 친밀도를 높여주고 있다. [1-2] 이에 따라 전 세계 로봇 및 가전 업체, 그리고 연구 기관에서 청소로봇 시장 점유율 확대를 통한 경쟁 우위를 선점 하기 위해 핵심 기술 개발에 박차를 가하고 있다. 국내에서도 대기업 및 로봇 관련 중소기업을 중심으로 다양한 청소로봇 제품들이 출시되고 있으며 괄목할 만한 기술적 성장을 이루어 왔다. 또한 대학 및 연구기관에서도 청소로봇의 성능을 높이기 위한 연구를 활발하게 진행하고 있다 [3].

청소로봇 성능 개선을 위한 방법으로는 크게 로봇의 항법, 위치인식 등 지능 개발을 통한 방법과 로봇의 핵심 부품 개발을 통한 방법으로 나눌 수 있다 [4-6]. 핵심 부품으로는 카메라, 구동, 배터리, 제어기 등을 들 수 있으며, 최근에는 먼지 감지 센서 기술에 대한 연구개발 및 적용에 대해 논의가 되고 있다 [7-8]. 먼지 센서에 대한 실제 적용 예로서, 아이로봇사의 톰바 같은 경우 먼지의 유무를 판단할 수 있는 기능을 가지고 있다. 하지만, 먼지의 유무 정도만 단순히 판단 하기 때문에 청소 성능에 큰 향상을 기대할 수는 없다.

따라서 본 논문에서는 적외선 센서를 이용하여 기존의 먼지 센서 기술보다 발전된 먼지 검출 시스템을 제안하고자 한다. 제안된 시스템은 먼지의 종류를 파악 할 수 있는 센서 시스템으로서 기존의 단순 유무 정도 판단의 기술보다 나은 성능 효과를 기대할 수 있다 [9].

본 논문의 구성은 다음과 같다. II 장에서는 적외선 센서를 이용한 데이터의 검출 방법을 제안하며, III 장에서는 측정된 데이터를 필터링 하는 방법을 소개한다. IV 장에서는 필터링 한 데이터의 유사도를 판단하고 분석하는 기법을 다루며, 실험 방법과 결과는 V장에서 보여진다. 그리고 VI장에서 결론을 맺는다.

II. 적외선 센서를 이용한 데이터 검출

본 논문에서 제안되는 먼지 감지 장치는 적외선 센서들로 구성되어 있으며, 빛을 발생하는 발광부와 먼지에 반사되거나 통과되는 빛을 검출하는 수광부로 구성되어 있다. 장치는 한 개의 발광부와 다섯 개의 수광부를 사용하여 먼지가 센서의 중앙부를 지날 때 수광부에 들어오는 빛의 양의 변화를 분석하여 먼지의 종류를 판단한다.

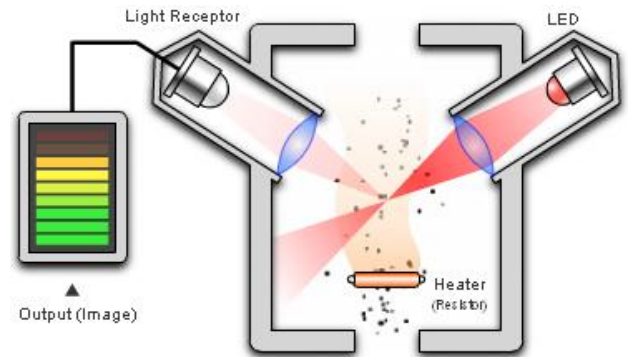


그림 1. 광학식 먼지감지 센서 개념도

Fig 1. Concept of dust detection sensor

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 20xx.xx.xx., 수정: 20xx.xx.xx., 채택확정: 20xx.xx.xx.

김동회, 김동한: 경희대학교 전자전파공학과

(genesis130@khu.ac.kr/donghani@gmail.com)

민병철: 퍼듀대학교 컴퓨터정보기술학과

(minb@purdue.edu)

※본 연구는 지식경제부(과제번호 No. 10041834)와 교육과학기술부(과제번호 No. 2012R1A1A2043822)에 지원받아 연구되었음. 이 논문은 2013제 28회 ICROS 학술대회에 초안이 발표되었음 [11].

그림 1은 광학식 먼지감지 센서의 원리를 설명한 그림으로 발광부(LED)에서 발광한 빛이 먼지의 유무에 따라 반사되어 수광부(Light Receptor)로 들어가는 모습을 보여주고 있다. 그리고 빛의 양은 출력(Output)으로 확인 할 수 있다.

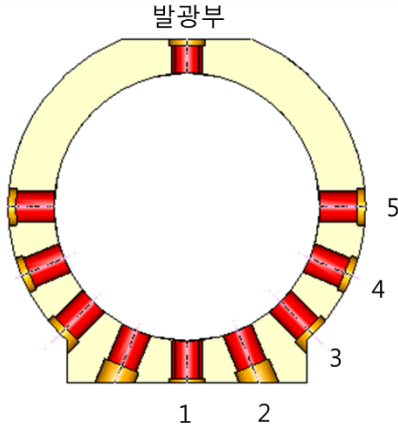


그림 2. 수광 발광 센서의 구성도
Fig 2. Configuration of transmitter and receiver sensors

그림 2는 발광부와 수광부의 구성을 나타낸다. 번호 1부터 5까지는 수광부의 순서를 의미하며, 발광부와 마주보고 있는 센서(1, 2)들은 먼지에 통과되는 빛을, 센서(3, 4, 5)들은 반사되는 빛을 검출 할 수 있다. 또한, 먼지 센서에 먼지가 유입되지 않은 경우에는 수광부1과 수광부2에만 많은 양의 빛이 들어가게 되고, 수광부3,4,5에는 아주 극소량의 빛이 들어가게 된다.

표 1. 수광부 위치에 따른 데이터

측정순서	수광부1	수광부2	수광부3	수광부4	수광부5
1	42	773	1008	1019	1017
2	41	659	1014	1020	1018
3	44	822	1012	1020	1017
4	56	792	987	1011	1014
5	43	641	993	1016	1012

예로서, 수광부에 들어오는 빛의 양을 표 1에 나타내었다. 빛이 많이 들어올수록 숫자가 작아지며, 빛이 적게 들어올수록 숫자는 커지게 된다. 세로축 값인 측정순서에 따라 수광부에 들어오는 빛의 양을 확인할 수 있으며, 실제 1/8 초 단위로 초당 8개의 데이터를 받는 시스템으로 구현되어 있다.

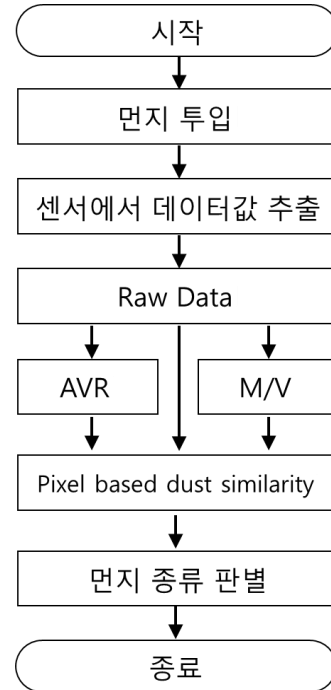


그림 3. 먼지검출 시스템 알고리즘
Fig 3. Algorithm of dust detection sensor system

그림 3은 전체적인 먼지 검출 시스템의 과정을 표현한 순서도이다. 가장 먼저 시스템에 먼지가 투입되고, 그림 2의 장치를 통해 센서 값이 추출된다. 본 논문에서는 센서에서 바로 추출된 값을 “Raw Data”라고 한다. 센서 값은 투입된 먼지의 종류에 따라 투과되고 반사되어 빛의 양이 달라지게 되며, 이 데이터들은 필터링 과정과 유사도 판별 알고리즘을 거치게 된다. 그리고 최종단계로 먼지 종류가 판별된다. 필터링 과정에서는 데이터들의 평균치를 구하는 평균 방법(Average. AVR)과 평균 이동 필터 방법(Moving Average. M/V)을 사용하여 성능을 비교하며, 이에 대해서는 다음 장에서 자세하게 다룬다. 그리고 먼지 종류 판별 방법으로는 Pixel-based Dust Similarity 방법을 이용하고 이에 대해서는 IV장에서 소개한다.

III. Filter

표 1의 경우, 같은 종류의 먼지를 이용하여 실험을 진행하였다. 하지만 수광부 2의 경우, 측정된 값들에서 큰 차이가 보였다. 이는 측정 잡음 또는 먼지가 센서를 지날 때, 분포가 일정하지 못한 것에서 기인된다. 이 차이는 다음 장에서 제안될 먼지 유사도 판별 알고리즘의 오류를 유발할 수 있다. 따라서 차이를 없애거나, 최소화할 수 있는 필터링에 대한 구현은 필수적이다.

센서를 통해 측정된 값을 필터링하는 방법으로 평균치를 이용하는 평균 방법과 평균 이동 필터방법을 사용하였다.

$$\bar{x}^i = \frac{\sum_{j=1}^n x_j^i}{n}, i = 1, \dots, 5 \quad (1)$$

평균 방법은 각각의 수광부 센서에서 측정 된 값들을 평균 내어 데이터를 필터링 하는 방법이다. 수식 (1)에서 \bar{x}^i 는 i 번째 수광부 센서의 평균 값을 의미하며, x_j 는 측정순서에 따른 센서 값들을 의미한다. 그리고 n 은 평균 방법에 사용되는 데이터의 총 개수를 말한다.

표 2. 측정 데이터

측정순서	수광부1	수광부2	수광부3	수광부4	수광부5
1	47	953	990	1015	1016
2	47	935	1008	1018	1019
3	492	987	1008	1014	1011
4	825	736	1008	1012	1008
5	48	768	1005	1020	1019
6	313	775	1003	1001	1013
7	103	860	995	1016	1017
8	914	930	984	1010	1006
9	68	947	999	1001	1009
10	48	892	1007	1015	1005
11	52	934	1004	1019	1022
12	963	915	1004	1019	1021
13	61	973	1001	1017	1020
14	46	676	996	1017	1020
15	56	851	993	1011	1012

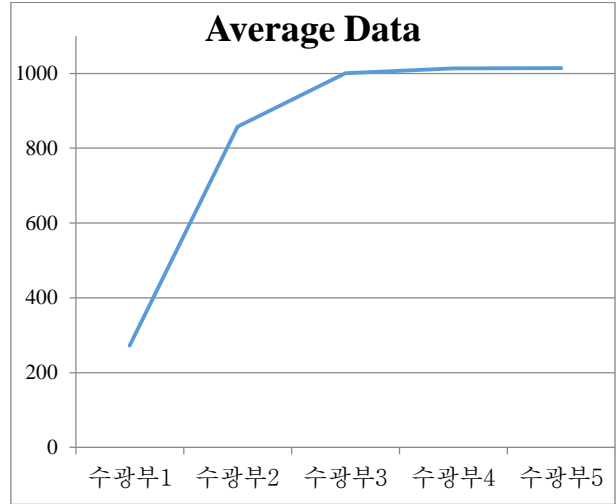


그림 5. 평균 방법 그래프

Fig 5. Graph of average method

표 2 의 값들은 5 개의 수광부 센서에서 측정된 Raw Data 이며, 데이터에서 확인 해 볼 수 있듯이 마주보고 있는 수광부 1 의 데이터 변화폭이 가장 크며 같은 투과성 빛을 감지하는 수광부 2 의 변화도 크게 된다. 나머지 수광부 3,4,5 는 반사되는 빛의 양이 극소량 생겨 데이터 값이 조금씩 증가하는 모습을 볼 수 있다. 표 3 의 값들은 평균 값을 나타낸다. 여기서 15($n = 15$)개의 데이터가 평균 방법에 사용 되었으므로 평균데이터는 약 2 초마다 갱신된다. 그림 4 는 표 2 의 Raw Data 의 그래프이며, 그림 5 에서 볼 수 있듯이 평균 방법을 이용하면 Raw Data 에서 나올 수 있는 측정 잡음을 줄일 수 있다.

평균 이동 필터 방법은 반복적 자료처리라고도 하며, 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\bar{x}^i[t] = \frac{1}{n}(x^i[t] + x^i[t - 1] + \dots + x^i[t - n + 1]), i = 1, \dots, 5 \quad (2)$$

식 (2)에서 확인 할 수 있듯이 i 번째 수광부 센서의 필터링 된 값 $\bar{x}^i[t]$ 은 현재 Raw Data 값 $x^i[t]$ 과 $t - n + 1$ 개의 과거 값 $x^i[t - n + 1]$ 사이에서 측정 된 n 개의 값들의 평균이라는 것을 알 수 있다.

표 4의 값들은 평균 이동 필터 방법을 통해 필터링 된 데이터들이다.

표 4. 평균 이동 (Moving Average) 필터 방법

측정순서	수광부1	수광부2	수광부3	수광부4	수광부5
1	348.625	868	1000.125	1013.25	1013.625
2	351.25	867.25	1001.25	1011.5	1012.75
3	351.375	861.875	1001.125	1011.125	1011
4	296.375	855.25	1000.625	1011.75	1012.375
5	313.625	877.625	1000.125	1012.625	1014

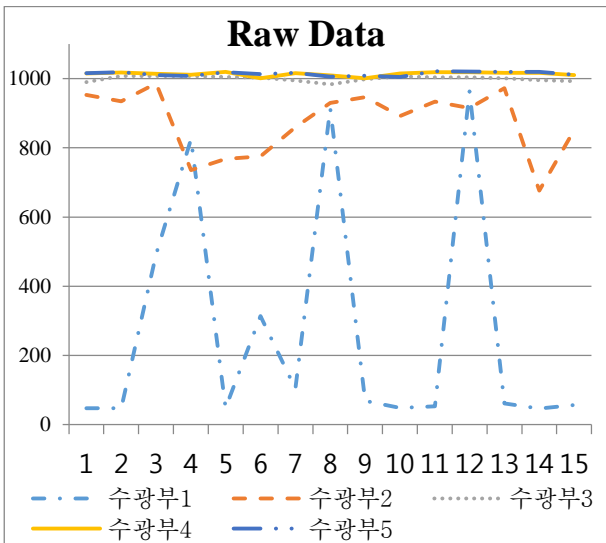


그림 4. 필터 적용 전 초기 데이터 그래프.

Fig 4. Graph of raw data

표 3. 평균 방법

측정순서	수광부1	수광부2	수광부3	수광부4	수광부5
1	272.2	875.4667	1000.333	1013.667	1014.533

6	315.25	903.25	999.625	1012.25	1014.125
7	281.875	890.875	998.75	1014.25	1015
8	276	889.75	998.5	1013.625	1014.375

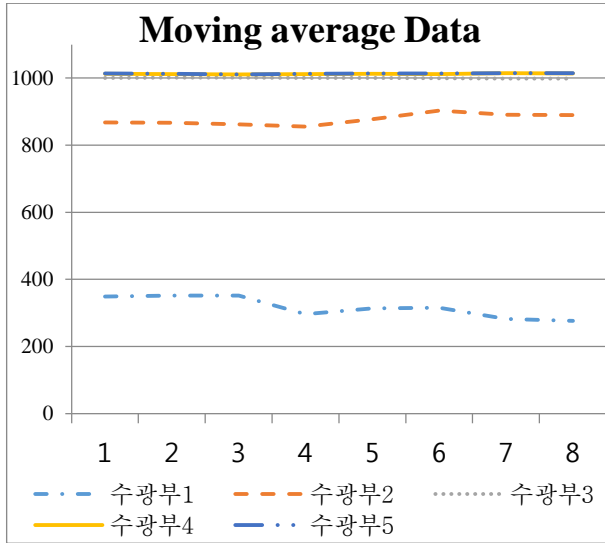


그림 6. 평균 이동 필터 방법 그래프
Fig 6. Graph of moving average method

그림 6 에서 볼 수 있듯이 평균 이동 필터방법을 사용하면 그림 4 의 그래프와 비교해서 수광부의 데이터 값들의 변화가 작아진 모습을 확인할 수 있다. 이를 통해 측정 잡음을 줄인다.

IV. Pixel-based Dust Similarity

수광부를 통해 들어온 빛의 양은 필터링 되고, 이 값들은 이전에 측정된 값들과 비교하여 유사성을 판단하게 된다. 본 논문에서는 유사성 판단을 위한 기법으로 Pixel-based Image Similarity방법 [10]을 사용한다. 이 방법은 두 개의 데이터 세트의 유사성을 비교하는 방법으로 수식 (3)과 같이 표현된다.

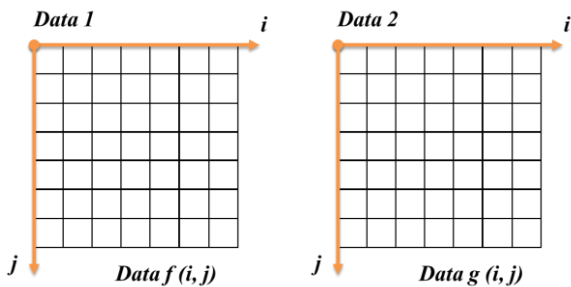


그림 7. 유사도 판별을 위한 두 개의 데이터 세트
Fig 7. Two array of data set for an investigation of similarity

그림 7에서 $f(i,j)$ 은 첫 번째 데이터 세트 (이전에 측정된 값들)의 함수이며, $g(i,j)$ 은 두 번째 데이터 세트 (현재 측정된 값들)의 함수이다. 그리고 i 는 수광부의 순서, j 는 데이터의 순서를 의미하며, n 과 m 은 각각 데이터의 개수 그리고 수광부의 개수를 의미한다. 따라서, 수식 (3)을 통해 계산된

값이 작을수록 두 개의 데이터 세트는 유사하다는 것을 알 수 있으며, 이 유사성을 가지고 먼지의 종류를 구별 할 수 있게 된다.

$$d(f,g) = \sqrt{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n [f(i,j) - g(i,j)]^2} \quad (3)$$

V. 실험 및 결과



그림 8. 중력을 이용한 먼지 검출 장치 테스트베드
Fig 8. Testbed for dust detection sensor using gravity

그림 8과 9의 장치는 중력을 이용한 검출 장치로서 이번 실험을 위해 제작된 테스트 베드이다. 본 장치의 사용을 위해 먼지는 위에서 아래로 떨어 뜨려야만 하며, 떨어지는 먼지들은 중앙의 센서부 (그림 9)를 통해 측정되어 데이터로 변환된다. 그리고 변환 된 데이터들은 컴퓨터로 보내져 먼지 검출 알고리즘을 통해 종류가 판별 된다.

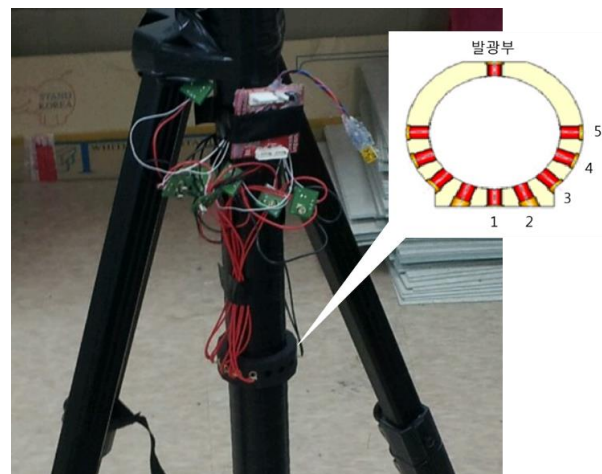


그림 9. 중력을 이용한 먼지 검출 장치 테스트베드의 센서부
Fig 9. Sensors of testbed for dust detection sensor using gravity

성능실험을 위해 두 가지 종류 (쌀과 깨)의 먼지를 사용하였다. 일정 양의 쌀과 깨를 먼지 검출 시스템에 15초 동안 통과시킨 뒤, 각각 8개의 데이터 세트를 구성하였다. 그리고 저장된 데이터들을 원본 데이터인 “Raw” 와, 평균 방법을 통해 필터링 된 “AVR”과, 원본데이터를 초 단위 8개의 데이터로 평균 이동 필터링 한 “M/V”로 구성 하였다. 그리고 수식 (3)을 이용해 두 개의 데이터세트를 골라 서로 번갈아 가며 유사도를 판단 하였다.

표 5. 쌀을 이용한 결과

	Raw	AVR	M/V
쌀1	87.5 %	87.5 %	87.5 %
쌀2	87.5 %	87.5 %	87.5 %
쌀3	87.5 %	87.5 %	87.5 %
쌀4	75.0 %	62.5 %	87.5 %
쌀5	87.5 %	62.5 %	75.0 %
쌀6	87.5 %	87.5 %	87.5 %
쌀7	75.0 %	87.5 %	62.5 %
쌀8	75.0 %	87.5 %	87.5 %

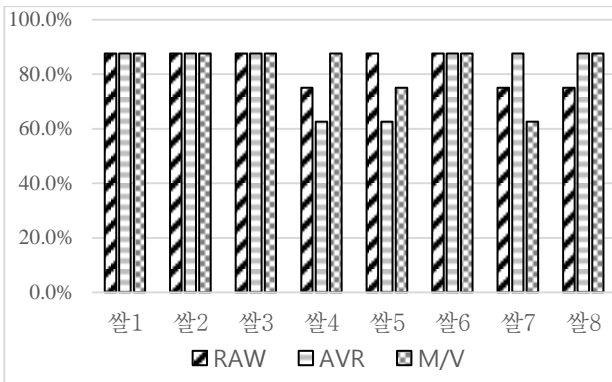


그림 10. 쌀을 이용한 결과 그래프

Fig 10. Graph of using rice result

표 6. 깨를 이용한 결과

	Raw	AVR	M/V
깨1	37.5 %	62.5 %	62.5 %
깨2	62.5 %	87.5 %	87.5 %
깨3	37.5 %	87.5 %	75.0 %
깨4	62.5 %	87.5 %	87.5 %
깨5	37.5 %	50.0 %	75.0 %
깨6	50.0 %	87.5 %	62.5 %
깨7	25.0 %	12.5 %	12.5 %
깨8	25.0 %	50.0 %	62.5 %

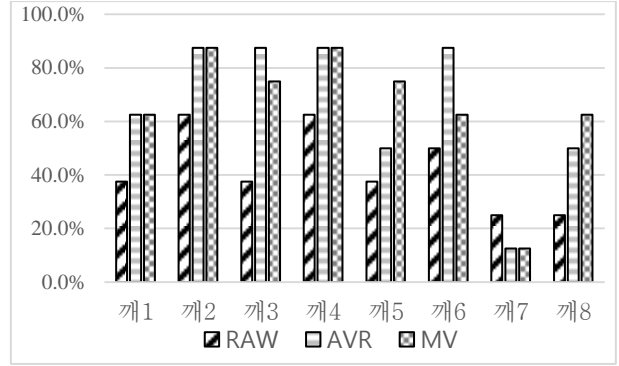


그림 11. 깨를 이용한 결과 그래프

Fig 11. Graph of using sesame result

표 5 와 6, 그림 10 과 11 은 유사도를 판단한 결과를 보여주고 있다. 표에서 결과(%)는 한 종류의 데이터세트와 다른 종류 데이터세트와의 유사도 판정에 따라 결정된다. 유사도 판정은 표 1 과 같이 각 수광부 별 시간에 대한 데이터를 쌀 1 부터 깨 8 까지 모아 Pixel-based Dust Similarity 방법을 이용하여 비교를 통해 각각의 유사도를 판별한다. 유사도 판별을 이용해 쌀 1 과 비교를 했을 때 총 16 개의 데이터를 비교해 표 5 와 표 6 의 결과(%)를 결정한다. 즉 쌀 1 과 깨 1 의 유사도가 쌀 1 과 쌀 2 부터 쌀 8 까지의 유사도보다 높다면, 결과값은 낮아지게 된다.

분석 결과, 쌀 8개의 데이터 세트에서는 Raw에서 평균82%, AVR에서 81%, M/V에서 82%의 유사도 판별결과를 보였으며, 깨 8개의 데이터 세트에서는 Raw에서 평균42%, AVR에서 65%, M/V에서 64%의 유사도 판별결과를 보였다. 깨보다는 쌀을 가지고 실험 했을 때 좀 더 정확한 판별 결과를 보였다. 이는 먼지에 따른 적외선 투과성과 반사도의 차이 때문으로 보인다. 종합적으로 Raw데이터보다는 AVR데이터가 좀 더 좋은 결과를 보였으며, M/V가 제일 좋은 결과를 보였다.

VI. 결론

본 논문에서는 적외선 센서를 이용한 먼지검출 장치에 대해 설명하였다. 두 개의 필터링 방법을 통해 데이터의 유사도 판별력을 높일 수 있음을 보였으며, Pixel-based Dust Similarity 방법을 이용하여 먼지의 종류를 파악할 수 있음을 보였다.

향후 연구과제로는 좀 더 다양한 종류의 먼지를 가지고 시스템의 강건함을 검증 할 것이며, 필터링의 성능 향상을 위해 연구할 것이다. 또한, 실제 로봇 청소 시스템에 사용 될 수 있는 소형 검출 장치를 개발 할 것이다.

참고문헌

- [1] Fink, Julia, et al. "Living with a Vacuum Cleaning Robot." *International Journal of Social Robotics* (2013): 1-20.
- [2] Forlizzi Jodi and Carl DiSalvo. "Service Robots in the Domestic Environment: A Study of the Roomba Vacuum in the Home." *Proceedings of the 1st ACM*

SIGCHI/SIGART conference on Human-robot interaction. ACM, 2006.(pp. 258-265)

- [3] Mee-Kyung Nam, "A Study on present Condition of Development and Market of Artificial Intelligence Robot In and Out of Country," *Journal of the Korean Society of Design Culture*, vol. 16, no. 2, pp. 198-207, 2010.
- [4] Batalin, Maxim A, Gaurav S. Sukhatme, and Myron Hattig. "Mobile Robot Navigation Using a Sensor Network." *Robotics and Automation, 2004. Proceedings. ICRA'04. 2004 IEEE International Conference on.* Vol. 1. IEEE, 2004.
- [5] Doh, Nakju Lett, Chanki Kim, and Wan Kyun Chung. "A practical path planner for the robotic vacuum cleaner in rectilinear environments." *Consumer Electronics, IEEE Transactions on* 53.2 (2007): 519-527.
- [6] Kim, Hyunjin, et al. "User-Centered Approach to Path Planning of Cleaning Robots: Analyzing User's Cleaning Behavior." *Proceedings of the ACM/IEEE international conference on Human-robot interaction.* ACM, 2007 (pp. 273-380)
- [7] Chen, Zhichao, and Stanley T. Birchfield. "Qualitative Vision-based Mobile Robot Navigation." *Robotics and Automation, 2006. ICRA 2006. Proceedings 2006 IEEE International Conference on.* IEEE, 2006. p.2686-2692
- [8] Freire, Eduardo, et al. "A New Mobile Robot Control Approach via Fusion of Control Signals." *Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, IEEE Transaction on* 34.1 (2004): 419-429
- [9] Kawakami, Hiroshi, et al. "Dust detector for vacuum cleaner." U.S. Patent No. 5,163,202. 17 Nov. 1992.
- [10] Ascenso, João, Catarina Brites, and Fernando Pereira. "Motion compensated refinement for low complexity pixel based distributed video coding." *Advanced Video and Signal Based Surveillance, 2005. AVSS 2005. IEEE Conference on.* IEEE, 2005.
- [11] Dong-Hoe Kim, Byung-Cheol Min and Dong-Han Kim "Development of a Dust Detection Sensor System using Infra-red Sensors" ICROS 2013 conference.



김 동 회

2012년 경희대학교 전자전파과 졸업.
2012년~현재 경희대학교 대학원 전자전파공학과 석사과정 재학중. 관심분야는 알고리즘, 로보틱스, 로봇제어.



민 병 철

2008년 경희대학교 전자과 졸업(공학사). 2010년 경희대학교 전자전파과 졸업(공학석사). 2010년~현재 Purdue Univ. 대학원 컴퓨터정보기술학과 박사과정 재학중. 관심분야는 로보틱스, 네트워크 로봇, 인공지능, 센서 네트워크



김 동 한

2003년 KAIST 전기 및 전자공학과 박사학위. 2003년~2004년 일리노이 주립대학 Post Doc. 2004~2007년 삼성전자 무선사업부 책임 연구원. 2007년~현재 경희대학교 전자정보대학 교수. 관심분야는 로봇제어, 다개체 지능제어