

선루프 모터 과열 방지를 위한 데이터 기반 열 차폐 알고리즘 개발

Development of Data-driven Thermal Protection Algorithm
for Protecting Overheating of Motor in the Sunroof System

김현희¹, 박성우¹, 이경창¹, 황용연^{1*}

Hyun-Hee Kim¹, Kyung-Chang Lee¹, Yeong-Yeun Hwang^{1*}

〈Abstract〉

This paper presents data-driven thermal protection algorithm for preventing overheating of automotive sunroof motor. When a sunroof motor operates abnormally, its coil is overheated and it is failed. Besides, drivers and passengers are damaged. Hence, the sunroof motor observes its temperature and will be stopped when its temperature reach a predefined level. In order to implement low-cost thermal protection function, we drew a knowledge-based temperature increasing and decreasing curve from the result of experimental test. And then, we implemented data-driven thermal protection algorithm which prevents motor's On/Off operation according to motor operating voltage and motor speed. Finally, we implemented experimental test bed and evaluated its feasibility.

Keywords :

Automotive Sunroof System, Thermal Protection Algorithm, Data-driven Method, Temperature increasing and decreasing curve.

^{1*} 정회원, 교신저자, 부경대학교 제어계측공학과
(yyh@pknu.ac.kr)

^{1*} Corresponding Author, Department of Control and
Instrumentation Engineering, Pukyong National University

1. 서론

선루프(Sunroof) 시스템은 차량 실내 환기와 채광을 위하여 소비자가 차량 지붕을 열고 닫을 수 있는 시스템으로서, SMCU(Sunroof Motor Control Unit)라 불리는 ECU (Electronic Control Unit)에 의하여 제어가 이루어진다. 현재 선루프 시스템은 많은 차량에 폭넓게 사용되고 있으며, 구동 형태에 따라 수동식(manual type)과 자동식(automatic type)으로 나뉜다.

자동식의 경우 소비자가 닫힘(close) 스위치를 한 번 누르면 선루프는 자동으로 완전히 닫힌다. 그러나 도로 상태, 차량 가감속 상태, 주변 온도, 동작 전압 등의 이유로 닫히는 도중에 멈추는 경우가 있고, 선루프 사이에 사람의 신체 일부가 끼어 있어도 계속 동작을 하여 시스템이 파손되거나 사람이 상해를 입을 수가 있다[1]-[4].

만약 선루프 사이에 사람의 신체 일부가 끼어 움직이지 못하는 상태에서 선루프 시스템의 모터가 계속 돌아가는 경우, 모터에 많은 전류가 흘러 모터의 온도가 급격하게 상승하게 된다. 즉 모터 권선(coil)의 온도가 높아져 과열(overheating)되면 모터는 비정상적인 동작을 한다. 이런 경우 모터가 비정상적인 동작을 지속하다가 모터가 멈추는 고장이 발생하거나, 선루프가 동작을 하여 소비자가 상해를 입을 수가 있다. 이러한 문제 때문에 북미 지역은 FMVSS(Federal Motor Vehicle Safety System) 118S5, 유럽 지역은 European Directive 2000/4/EC라는 법규를 제정하여 자동으로 문이 닫히는 모든 ECU에 Anti-Pinch 알고리즘의 탑재를 의무화하고 있다[5][6].

선루프 시스템의 비정상적인 동작을 해결하기 위한 방법 중에 하나는 모터의 비정상적인 동작을 방지하는 것이다. 이러한 방법을 선루프 시스템의 열 차폐 알고리즘(thermal protection algorithm)이라고 한다. 현재 선루프 시스템에서는 온도에 의한 모터 손상을 보호하기 위하여 하드웨어인

PTC(positive temperature coefficient) 소자를 사용하고 있다[7].

본 논문에서는 선루프 시스템 회로의 간결함과 단가 감소를 위하여 모터 과열시의 온도 상승과 하강에 따른 실험적 지식을 이용하여 소프트웨어적으로 모터를 보호할 수 있는 열 차폐 알고리즘을 개발하고자 한다.

2. 차량용 선루프 시스템의 구조

선루프 시스템은 차량을 이용하는 소비자의 편의를 위하여 개폐식 채광창(roof panel)을 자동 또는 수동으로 여닫을 수 있는 시스템으로 소비자의 편의 사양 증대와 차량의 고급화로 많은 차량에서 사용되고 있다.

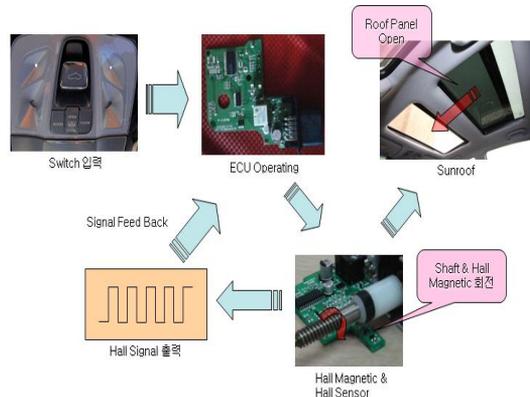


Fig. 1 Operating Diagram of Sunroof System

그림 1은 선루프 시스템의 동작 구성도를 나타낸다. 사용자가 선루프 시스템의 Open / Close / Tilt 스위치 조작을 하면 선루프 ECU는 조작한 스위치를 감지하여 모터를 제어(On / Off)하여 채광창을 이동 시킨다. 이 때, ECU는 홀 센서(hall sensor)를 사용하여 모터가 동작을 하는지 확인한다. 또한, 모터가 동작되면서 발생하는 홀 센서의 신호 발생 수를 헤아려서 채광창의 위치를 감지하

거나 루프 판넬이 완전히 열리거나 완전히 닫히는 지를 감지한다[8].

선루프 시스템마다 다르지만 Tilt 스위치 입력이 있는 경우에는 채광창이 완전히 닫힌 상태에서 Tilt 스위치를 누르면 Tilt up이 되어 채광창의 앞부분이 들어 올려진다. 별도의 Tilt 스위치가 없는 경우에는 채광창이 완전히 닫힌 상태에서 Close 스위치를 한 번 더 누르면 Tilt Up 기능이 수행된다.

3. 선루프 시스템의 데이터 기반 열 차폐 알고리즘

3.1 데이터 기반 열 차폐 알고리즘의 기본 구조

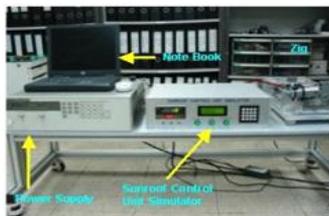
데이터 기반 열 차폐 알고리즘을 구현하기 위해서는 모터의 과열 상태를 검출할 수 있어야 한다. 본 논문에서는 ECU에서 소프트웨어적으로 모터의 구동 전압이나 모터의 회전 속도를 관찰하여

어떤 출력 조건에서 모터의 과열이 발생하는지를 파악한 후, 경험적 데이터를 이용하여 열을 차폐하는 방법을 제안한다.

그림 2는 데이터 기반 열 차폐 알고리즘의 기본 구조를 나타낸다. 열 차폐 알고리즘의 입력으로는 모터 구동 전압(voltage value)과 모터의 회전 속도(motor RPM)가 사용되며, 출력으로는 열 경고(thermal alarm)가 사용된다. 열 차폐 알고리즘은 모터의 구동 전압과 모터의 회전 속도의 증가 또는 감소 경향을 판단하여 모터의 과열 정도를 판단한다. 이 때 과열 정도를 판단하기 위하여 열 보호 값(thermal protection value)과 냉각 값(cooling value)을 추가로 입력받는다.

일반적으로, 선루프 시스템 ECU의 구동 전압 범위는 9~16V이므로, 마이크로컨트롤러의 입력인 0~5V의 값으로 변환하기 위한 회로를 이용한다.

모터의 회전 속도는 입력 전압에 따른 모터의 성능 변화와 선루프 시스템 레일 주위의 온도 변화에 영향을 받는다. 모터의 성능은 모터의 회전 속도가 낮아질수록 토크가 증가한다.



(a) measurement device



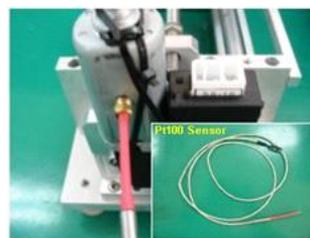
(b) test jig



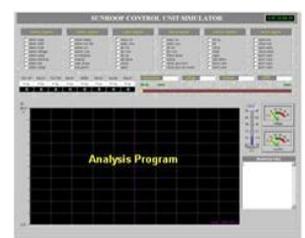
(c) sunroof motor



(d) armature ass'y



(e) temperature sensor



(f) monitoring program

Fig. 3 Part list for experimental test

이 때 모터에 많은 전류가 흘러 모터에 과열 현상이 발생된다. 선루프 시스템에서 모터의 회전 속도는 홀 센서의 펄스값을 이용하여 식(1)과 같이 계산한다[10][11].

$$S = \frac{60 \cdot 1000}{T_s \cdot N_p \cdot R_w \cdot N_H} \quad (1)$$

식에서 S는 모터의 회전 속도(RPM), 분모에 있는 T_s 는 샘플링 타임(ms), N_p 는 모터 아마추어의 샤프트에 부착된 링 마그네틱의 극 수, R_w 는 웹 기어와 샤프트 기어의 기어 수 비, N_H 는 홀 센서의 펄스폭을 샘플링한 수이며, 분자에 있는 $60 \cdot 1000$ 은 샘플링 펄스 기간의 단위[ms]를 RPM의 시간 단위[min]로 변환하기 위한 상수이다.

3.2 데이터 기반 온도 상승 및 하강 곡선

데이터 기반 열 차폐 알고리즘 개발을 위해서는 구동 전압과 모터 회전 속도에 의한 모터의 과열 특성을 파악하여야 한다. 이를 위하여, 그림 3과 같은 시험 장치를 구성하였다.

모터 특성을 파악하기 위하여 모터에 1~2N 정도의 부하를 가한 정상 조건에서 모터 권선의 연소 온도 및 시간을 측정하였다. 상온에서 모터의 입력 전압을 9V, 11V, 13V, 14V, 16V로 변경해 가면서 정상 조건을 인가한 후 모터 아마추어 권선에서의 온도를 측정하였으며, 측정 결과를 표 1에 나타내었다.

측정 결과, 모터가 각 입력전압별로 최대 온도에 도달하는 시간이 약 23~44초로 나타났으며, 최대 온도는 95~130°C로 나타났다. 실제의 경우, 모터가 과열 상태가 되면 모터가 동작되지 않아 홀 IC에서 홀 시그널이 출력되지 않고, ECU는 이 홀 시그널을 감지하지 못하여 모터가 바로 정지되는 것을 확인할 수 있었다.

이상과 같은 실험 결과로부터 95°C부터 연기, 즉 모터 권선의 연소가 발생하므로 권장 온도를 70°C를 기준으로 설정하여 모터의 온도가 70°C가 넘으면 선루프 모터를 정지시키는 알고리즘을 구현할 필요가 있다.

그림 4는 모터 시험의 결과 데이터를 바탕으로 하여 작성된 입력 전압에 따른 온도 상승 및 하강 곡선(temperature increasing and decreasing curve)을 나타낸다. y축은 모터의 온도 구간인 0~70°C을 0~40,000의 ADC 값(ADC value)으로 변환한 값으로 1 ADC 값 당 0.00175°C로 표시하였다. 여기에서, 70°C는 온도 보호 알고리즘의 열 한계 값(thermal limit)으로 정의하였다.

x축은 샘플링 횟수(number of sampling)로 100msec 단위로 설정하였다. 그림에서 모터가 On 상태로 동작을 할 때에는 모터의 온도가 증가하게 되며, 온도가 열 한계 값에 도달하였을 때 모터를 Off시켜 모터의 온도가 내려가도록 하였다.

본 논문에서는 마이크로컨트롤러에서 빠른 계산을 위하여 그림 4의 온도 상승 및 하강 곡선을 100msec 주기의 온도 값으로 테이블화하여 사용하였다.

Table 1. Temperature according to input voltage

입력전압(V)	9	11	13	14	16
연소온도(°C)	95	115	130	96	95
시뮬레이션시간(sec)	44	35	29	27	23

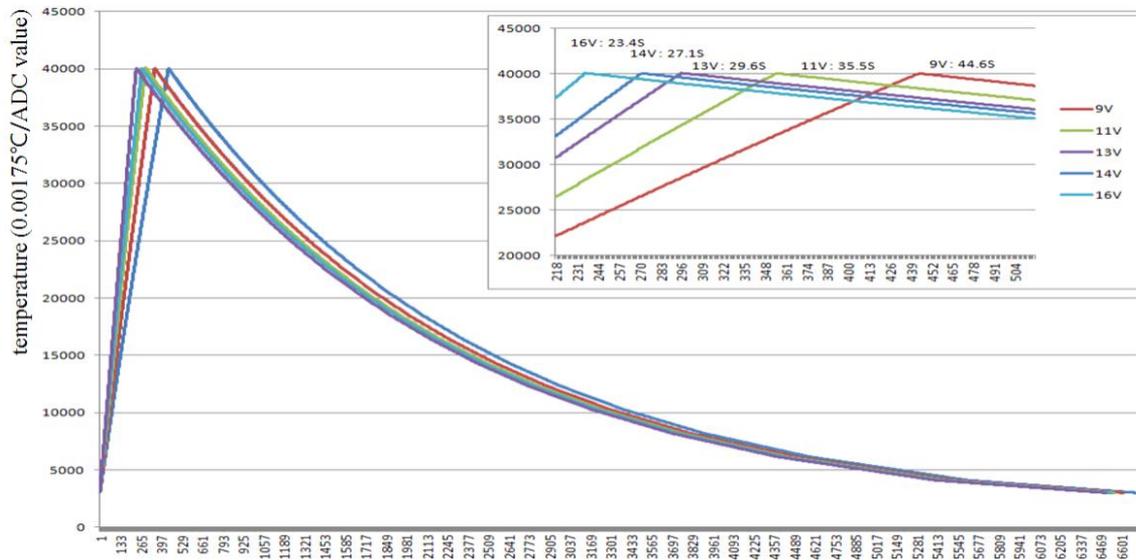


Fig. 4 Temperature increasing and decreasing temperature curve at stall condition

3.3 데이터 기반 열 차폐 알고리즘

그림 5는 데이터 기반 열 차폐 알고리즘을 위한 흐름도를 나타내고 있다. 정상적인 상태(과열 경고가 없는 상태)에서 모터를 동작시킬 경우, 열 차폐 알고리즘은 가열 절차(heating routine)로 들어가서 100msec 주기로 온도 증가 곡선 테이블의 온도 값에 맞추어서 레지스터의 값을 증가시킨다. 시간이 일정시간 흐르는 동안에도 모터가 계속 On 상태를 유지하게 되는 경우, 레지스터의 값이 계속 증가되어 열 한계 값(thermal limit)인 40,000을 넘게 되어 과열 경고가 set된다. 과열 경고가 set 되면, 냉각 절차(cooling routine)에 들어간다. 냉각 절차에서는 모터의 동작을 강제로 멈추고, 100msec 주기로 온도 감소 곡선 테이블의 온도 값에 맞추어서 레지스터의 값을 감소시킨다. 레지스터의 값이 감소되어 열 하한 값(lower bound)이 되면 과열 경고를 clear하게 된다.

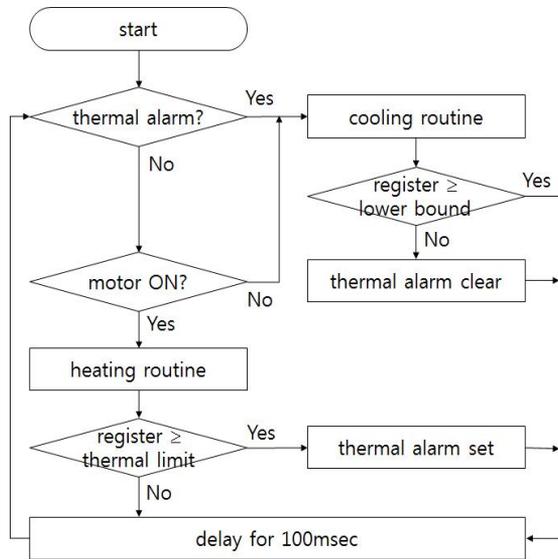


Fig. 5 Flowchart of data-driven thermal protection algorithm

4. 데이터 기반 열 차폐 알고리즘 성능 평가

본 절에서는 데이터 기반 열 차폐 알고리즘을 실제 선루프 시스템에 적용하여 알고리즘의 효용성을 평가하였다.

그림 6은 성능 평가를 위한 테스트베드를 나타낸다. 테스트베드는 선루프 시스템을 제어할 수 있는 제어 파트(control part), 선루프 시스템의 성능(전류, 전압)과 온도를 측정할 수 있는 측정 모니터링 파트(measurement part), 선루프 시스템을 동작하기 위한 기구 파트(motor+ECU test part)로 구성되어 있다. 선루프 시스템 모터의 입력 전압은 13V이며, 선루프에 1~2N 사이의 값이 가해지도록 하였다.

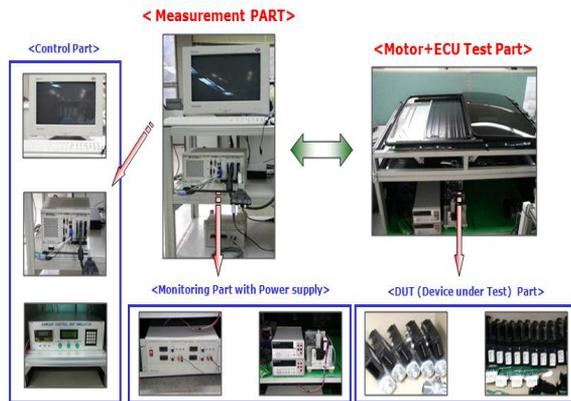


Fig. 6 Test bed for thermal protection algorithm

표 2는 데이터 기반 열 차폐 알고리즘이 적용되지 않았을 때의 온도를 측정된 결과이다. 모터가 비정상적으로 계속 동작하는 경우 모터의 권선의 온도가 높아져 과열되면 모터는 비정상적인 동작을 한다. 즉, 비정상적인 동작을 지속하다가 모터가 멈추는 고장이 발생한 상황이다. 이 때 선루프 모터 프레임의 온도를 측정하면 표 2와 같이

80℃ 이상으로 높게 나타난다. 따라서 이러한 비정상적인 동작 상황을 방지하기 위하여 열 차폐 알고리즘이 필요하다.

Table 2. Temperature without data-driven thermal protection algorithm

Sample No.	Temperature	Sample No.	Temperature	Sample No.	Temperature
#1	86.40 [°C]	#21	84.80 [°C]	#41	84.50 [°C]
#2	84.30 [°C]	#22	82.10 [°C]	#42	84.30 [°C]
#3	85.70 [°C]	#23	83.70 [°C]	#43	82.60 [°C]
#4	86.20 [°C]	#24	85.00 [°C]	#44	86.20 [°C]
#5	86.50 [°C]	#25	82.20 [°C]	#45	85.70 [°C]
#6	88.50 [°C]	#26	89.90 [°C]	#46	83.30 [°C]
#7	85.10 [°C]	#27	84.70 [°C]	#47	87.40 [°C]
#8	83.60 [°C]	#28	86.40 [°C]	#48	88.80 [°C]
#9	81.40 [°C]	#29	87.50 [°C]	#49	82.50 [°C]
#10	81.00 [°C]	#30	88.30 [°C]	#50	84.20 [°C]
최대값	89.90 [°C]	평균	85.09 [°C]		
최소값	81.00 [°C]	표준편차	2.268		

Table 3. Temperature with data-driven thermal protection algorithm

Sample No.	Temperature	Sample No.	Temperature	Sample No.	Temperature
#1	64.79 [°C]	#21	63.99 [°C]	#41	64.67 [°C]
#2	64.66 [°C]	#22	64.99 [°C]	#42	64.17 [°C]
#3	64.73 [°C]	#23	64.83 [°C]	#43	64.62 [°C]
#4	64.80 [°C]	#24	65.51 [°C]	#44	65.27 [°C]
#5	64.63 [°C]	#25	64.51 [°C]	#45	65.14 [°C]
#6	65.00 [°C]	#26	65.11 [°C]	#46	65.17 [°C]
#7	65.72 [°C]	#27	65.30 [°C]	#47	65.21 [°C]
#8	65.11 [°C]	#28	64.98 [°C]	#48	65.13 [°C]
#9	65.25 [°C]	#29	64.16 [°C]	#49	64.60 [°C]
#10	65.70 [°C]	#30	65.20 [°C]	#50	63.82 [°C]
#11	64.52 [°C]	#31	65.47 [°C]	#51	64.31 [°C]
#12	64.91 [°C]	#32	64.52 [°C]	#52	65.31 [°C]
#13	64.80 [°C]	#33	64.05 [°C]	#53	65.05 [°C]
#14	63.99 [°C]	#34	64.50 [°C]	#54	64.97 [°C]
#15	65.39 [°C]	#35	64.39 [°C]	#55	64.88 [°C]
#16	64.87 [°C]	#36	65.93 [°C]	#56	65.69 [°C]
#17	64.93 [°C]	#37	65.30 [°C]	#57	64.55 [°C]
#18	64.43 [°C]	#38	64.90 [°C]	#58	65.93 [°C]
#19	64.91 [°C]	#39	64.28 [°C]	#59	65.21 [°C]
#20	64.66 [°C]	#40	64.80 [°C]	#60	64.60 [°C]
최대값	65.93 [°C]	평균	64.88 [°C]		
최소값	63.82 [°C]	표준편차	0.478		

표 3은 데이터 기반 열 차폐 알고리즘을 적용하였을 때의 온도를 측정된 결과이다. 이 때 열 한계 값은 70℃로 설정하였다. 비정상적으로 모터의 동작을 계속할 경우, 데이터 기반 열 차폐 알고리즘이 작동되어 모터가 70℃가 되기 전에 모터가 멈추는 것을 알 수가 있다.

5. 결론

본 논문에서는 차량용 선루프 모터의 과열방지를 위한 데이터 기반 열 차폐 알고리즘을 제안하였다. 선루프 모터의 경우 시스템 오류로 의도하지 않은 동작이 반복될 경우, 선루프 제어용 모터가 과열되어 모터의 성능 저하는 물론이고 차량 화재로도 이어질 수 있다. 따라서 선루프 모터의 상태를 감시하여 모터 온도가 평균 동작 값 이상으로 상승하면 일정 시간동안 멈추도록 할 필요가 있다. 이를 위하여 본 논문에서는 모터의 동작 전압과 모터 동작 시 발생하는 홀 센서의 출력 값을 이용하여 모터의 동작을 제어할 수 있는 데이터 기반 열 차폐 알고리즘을 구현하였다. 또한 구현된 열 차폐 알고리즘을 실제 선루프 시스템에 적용하여 효용성을 확인하였다.

본 논문에서 제안한 데이터 기반 선루프 시스템은 기존의 선루프 ECU 회로의 제조 원가를 상승하지 시키지 않고도 과열 방지를 할 수 있음을 알 수 있었다.

향후에는 차량 네트워크를 이용하여 차량 내부 및 차량 외부의 온도 데이터를 받아서 온도 상승 및 하강 곡선에 이용하여 보다 더 정확한 기능을 하는 데이터 기반 열 차폐 알고리즘을 개발하여야 할 것이다.

후 기

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2015년)에 의하여 연구되었음.

참고문헌

- [1] H. J. Lee, W. S. Ra, T. S. Yoon, and J. B. Park, "Practical pinch torque detection algorithm for anti-pinch window control system application," ICCAS 2005, pp. 2526-2531, 2005.
- [2] S. H. Kim and S. K. Jeong, "Anti-Pinch System for Power Window by Using Hall Sensor," Journal of the Korea Society For Power System Engineering, Vol. 14, No. 5, pp. 63-70, 2010.
- [3] D. H. Ban, Y. T. Kim, S. S. Kim, and B. H. Wang, "Anti-pinch algorithm for sunroof system using fuzzy logic." International symposium on Advanced Intelligent System. Vol. 6. No. 5. pp. 130-137, 2005.
- [4] K. J. Oh and C. K. Bae. "Numerical analysis of the viscous flow around a Front end cooling fan of the car." Transactions of KOSIA, Vol. 10, No. 4, pp. 221-226, 2007.
- [5] K. Roland. "Process for controlling the displacement of the window pane of a motor vehicle door." U.S. Patent No. 6166508, 2000.
- [6] K. W. Wahyu, "Current based anti-pinch system for power window to satisfy FMVSS 118-S5 regulation." Proceedings of The Korean Society for Power System Engineering, pp. 54-59, 2011.
- [7] M. Sollmann, G. Schurr, D. Duffy-Baumgaertner, and C. Huck, "Anti pinch

- protection for power operated features,” No. 2004-01-1108. SAE Technical Paper, 2004.
- [8] A. Dlugosz, and W. Krzysztof “Anti-pinch and electrical motor protection device.” U.S. Patent No. 7161779, 2007.
- [9] M. G. Kliffken, H. Becker, H. Lamm, H. Prüssel, and J. Wolf, “Obstacle detection for power operated window-lift and sunroof actuation systems,” No. 2001-01-0466. SAE Technical Paper, 2001.
- [10] Z. Haishui, W. Dahu, Z. Tong, and H. Keming, "Design on a dc motor speed control." 2010 International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, pp. 59-63, 2010.
- [11] Y. S. E. Ali, S. B. M. Noor, S. M. Bashi, and M. K. Hassan, “Microcontroller performance for DC motor speed control system,” Power Engineering Conference 2003 (PECon 2003), pp. 104-109, 2003.