

전위계차센서 기반 스마트TV 제어를 위한 극저주파 전자기간섭 제거 연구

장진수[†], 김영철^{††}

Study on Elimination of EMI in ELF-Band for EPS-Based Smart TV Control

Jin-Soo Jang[†], Young-Chul Kim^{††}

ABSTRACT

In this paper, we propose the method to eliminate EMI (Electro-Magnetic Interference) in ELF (Extremely Low Frequency) band below 2 KHz for extending the gesture-recognition distance of smart TVs to more than 3m using electric potential sensor. First, we measure the electric field generated from the back panel of a TV and propose the effective arrangement of two sets of differential sensors as well as the shielding method using metal fiber. Also, we eliminate the PLN (Power Line Noise) and other noise generated from the TV and sensors as well as surrounding environments using filters. Using the proposed EMI eliminating methods, we evaluate displacement ratio on measured signals according to distance between sensors and a moving hand. Experiment results show that our proposed method can extend the hand-gesture sensing distance using EPS (Electric Potential Sensor) up to more than 3m, which is enough to satisfy applicability of EPS based remote control to Smart TVs.

Key words: EPS, Smart device, ELF, EMI, Kalman Filter

1. 서 론

2007년 마이크로소프트사는 surface computing 이란 이름으로 거실 테이블 모양의 컴퓨터와 함께 자사 연구소에서 2001년부터 개발이 시작된 NUI (Natural User Interface) 기술을 공개함으로써 차세대 디지털 기기의 인터페이스 모형을 제시하였다. 이후, 애플사의 iPhone이 세계적인 성공을 거둠으로써 NUI 기술의 필요성이 확산되었으며, 닌텐도와 마이크로소프트사의 콘솔 게임기에 여러 센서 기술을 결합 응용하여 사람의 움직임을 감지하는 제어장치

를 개발함으로써 사람의 동작과 UI를 연결하는 새로운 인터페이스를 제시하였다, 이러한 NUI 기술은 사람과 디지털 기기의 소통의 폭과 깊이를 비약적으로 향상시키고 다른 IT 기술의 대중적 상품 가치를 결정 짓는 주요한 IT 산업의 동인으로 인식되면서 새로운 인터페이스 기술의 개발을 촉진하고 있다[1,2].

현재 개발 및 상용화 중인 NUI는 IR(InfraRed) 센서와 CIS(CMOS Image Sensor)를 이용한 영상기반의 기술이 주를 이루며, 대표적인 제품으로는 마이크로소프트사의 Kinect와 Leap Motion 등이 있다.

반면 EPIC(Electric Potential Integrated Circuit)

* Corresponding Author : Young-Chul Kim, Address: Department of Electronic and Computer Engineering, Chonnam National University, 300 Yongbong-Dong, Buk-Gu, Gwangju 500-757, Korea, TEL : +82-, FAX : +82-, E-mail : yckim@jnu.ac.kr
Receipt date : Oct. 21, 2014, Revision date : Mar. 5, 2015
Approval date : Mar. 12, 2015

[†] Dept. of Electronics and Computer Engineering, Chonnam National University (E-mail : peace_symbol@naver.com)

^{††} Dept. of Electronics and Computer Engineering, Chonnam National University

* This research was supported by the Human Resource Training Program for Regional Innovation and Creativity through the Ministry of Education and National Research Foundation of Korea(NRF-2014H1C1A1066771)

이라는 전위계차 센서는 현재까지 심전도 및 맥박과 같은 생체신호를 검출하는 의학분야에서 접촉식 센서로 상품화되어 사용되어 왔으나 최근 주변의 전기장 왜란신호의 전위차를 감지하는 수동형 센서로서의 활용가능성이 대두되어 이를 활용한 스마트 기기의 비접촉 원격제어 활용가능성이 주목을 받고 있다 [3-5]. Table 1에서 보는 바와 같이 EPS는 기존의 영상 기반의 NUI 기술에 비해 가격, 크기, 소비전력, 처리속도 등에서 탁월한 장점이 있다. EPS는 주변에 항상 존재하는 지구 전기장 속에 센서와의 사이에 어떤 유전체가 들어오면 정전용량이 변하는 원리를 이용하여 0.5 Hz에서 2 KHz의 ELF(극저주파) 대역의 전기장 변화를 감지한다[3]. 하지만, 실제 일상 공간에서는 60Hz의 전원선 및 ELF 대역에서의 다양한 EMI가 존재하여 이러한 EMI를 제거하지 않은 상태에서는 비접촉식 센서로의 동작 인식거리가 15cm 정도로 극히 제한되어 실용성에 어려움이 있는 것이 현실이다[5,6]. 본 논문은 아직 국내외적으로 EPS를 비접촉식 원격 동작신호에 적용한 본격적인 연구 및 제품개발이 거의 이루어지지 않은 주요인인 EPS의 원격인식거리를 실제 응용 가능한 거리로 확장하기 위하여 극저주파 대역의 EMI 및 주변 전기장 잡음을 효과적으로 제거하여 스마트 TV 동작제어를 위한 10개의 동작제어 시나리오에 적용하여 EPS의 동작신호 검출 및 인식거리를 3m 이상으로 확장할 수 있음을 보여준다.

2. 4-채널 EPS 기반 ELF 대역 EMI 제거 방법

2.1 4-채널 전위계차 센서의 배열

전위계차 센서를 이용한 동작인식은 2차원 동작의 x와 y의 변화량을 측정하기 위해 총 4개의 센서가 사용되며, 이를 차분함으로써 2개의 차분신호를 추출하여 목표물의 2차원 동작을 사상(mapping)한다 [7]. 먼저 스마트 TV에서 발생하는 전기적 잡음의 영향을 최소화하기 위해 TV bezel 상에 배치할 센서의 위치 선정에 따른 TV 후면 패널의 전기회로 기판으로 부터의 EMI 분석이 필요하다. TV 후면 전기회로 기판에서 발생하는 ELF 대역의 전기장을 측정한 결과, Fig. 1과 같이 스마트 TV의 대각선에서 발생하는 전기장의 세기가 가장 약함을 확인할 수 있다. 따라서 Fig. 2와 같이 스마트 TV의 모서리에 두 쌍의 센서를 대각선으로 배치함으로써 TV에서 발생하는 전기장 잡음을 최소화 할 수 있다.

2.2 제안한 EMI 제거 기법

기존의 EPS를 이용한 연구 및 제품개발 적용 사례는 대부분 인간의 심전도나 맥박 신호 추출과 같은 의료 및 헬스케어 분야와 운전자의 좌석에 센서를 부착한 졸음방지 시스템 같이 EPS에 인체를 직접 접촉한 터치형 접촉식 방식이 대부분이며, 비접촉식 응용사례는 초보적 접근인식 및 인체 위치 센싱을 제외한 연구 개발 발표는 국내외적으로 거의 전무하

Table 1. Comparison of typical IR sensor, CIS, and EPS

parameters	ZC-1000(IR)	NA-38S2B(CIS)	PS20401(EPS)
data per frame(Byte)	2904	About 1.3 M	8
size(mm)	100 * 100 * 80	65 * 65 * 68	10.5 * 10.5 * 3
price(\$)	< 32	< 10	< 1
op.current(mA)	< 4000	325	8
operating speed(fps)	30~60	30	5,000



Fig. 1. Electric field strannth from back panel circuit-board of a typical smart TV.

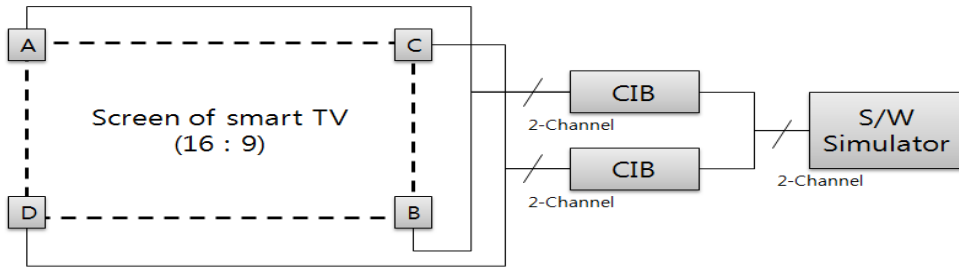


Fig. 2. Proposed arrangement of EPS sensors on a TV bezel.

다[3,4]. 본 논문에서는 EPS의 스마트기기에의 실질적인 비접촉식 응용을 가능케 할 임의의 주변 전기장 환경에서의 극저주파대역 EMI 제거를 위하여 아래의 Fig. 3과 같이 접지, 차폐 그리고 필터기법을 이용한 프로세스를 제시한다. 먼저, 센서 및 스마트 TV의 전원선을 접지함으로써 회로에서 발생하는 전원선 잡음을 제거한다. 다음으로 스마트 TV의 회로와 센서 사이를 차폐함으로써 TV에서 발생하는 전기적 잡음을 차단한다. 마지막으로 하드웨어 및 소프트웨어 필터를 이용하여 목표물의 움직임에 따른 특정

주파수 대역만을 통과시킴으로써 ELF 대역의 환경 잡음을 제거한다.

2.2.1 주파수 성분 분석

Fig. 4는 목표물의 손 동작에 따른 센서의 입력 데이터를 주파수 성분에서 분석한 결과이다. 녹색 그래프는 목표물이 동작했을 때의 데이터로써 10Hz 이하의 주파수 대역에서 신호의 세기가 가장 뚜렷하게 차이가 큼을 확인할 수 있다. 또한 60Hz의 배수에서 신호의 세기가 상대적으로 높음을 확인할 수 있는데,

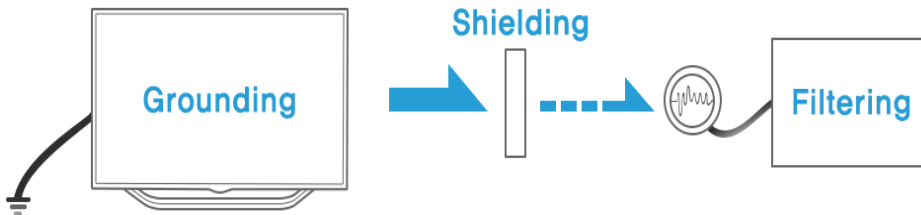


Fig. 3. Proposed process for ELF-band EMI removal.

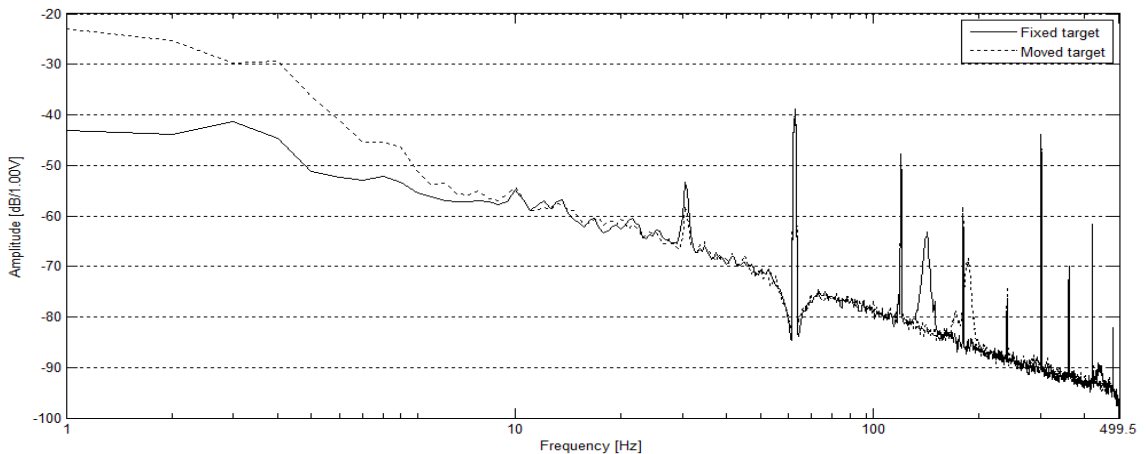


Fig. 4. Signal wave in frequency domain generated by gesture.

이는 60Hz의 전원선에 대한 고조파성분의 잡음을 뜻한다. 따라서 10Hz 미만의 주파수 성분을 통과시키는 저역통과 필터 기법을 사용함으로써 이러한 ELF 대역의 환경 잡음을 제거한다. 마지막으로 남아있는 배경잡음은 칼만필터를 이용하여 제거한다.

2.2.2 접지 및 차폐 기법

먼저 스마트 TV와 센서의 회로에서 발생한 전원선잡음을 제거하기 위해 스마트 TV와 센서를 접지시킨다. Fig. 5는 전위계차 센서에서 추출한 원 입력 신호 데이터를 보여준다. Fig. 6은 접지기법을 처리한 후 전원선 잡음(PLN: Power Line Noise) 이 제거된 센서의 입력 데이터를 보여준다. 다음으로 전기 전도도가 가장 높은 은섭유[전도도: 6.17×10^7 mhos/m] 로 만든 전도성 차폐 천을 사용하여 센서 후면을 차폐함으로써 스마트 TV에서 발생하는 전기적 잡음을 제거한다. Fig. 7은 차폐기법을 처리한 EPIC 센서의 데이터이다.

2.2.3 필터 기법

세 번째 기법은 디지털신호처리를 이용하여 주파수 대역을 차단시키고, 배경잡음을 제거하는 필터기

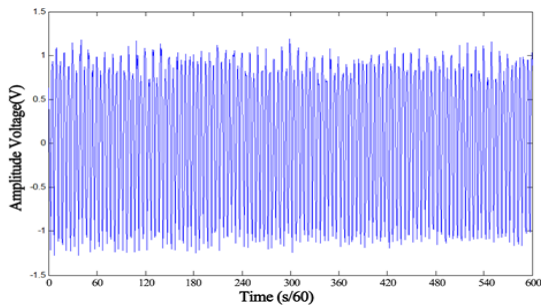


Fig. 5. Original input data of an EPS sensor.

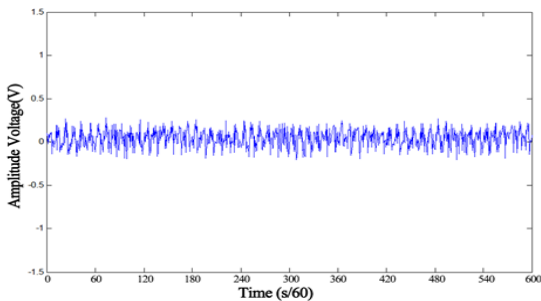


Fig. 6. Input data of an EPS sensor after removing PLN.

법이다. 먼저, 10Hz의 버터워스 저역통과 필터를 사용하여 ELF 대역의 환경 잡음을 제거한다. Fig. 8은 동작이 없을 경우의 저역통과 필터기법을 처리한 후 ELF 대역 EMI가 제거된 전위계차 센서의 입력 데이터를 보여준다. Fig. 8을 통해 저역통과 필터를 이용하면 ELF대역의 EMI가 대부분 제거됨을 확인할 수 있다. 하지만 여전히 미세한 전기적 잡음은 잔존하며, 이러한 전기적 잡음은 인식거리의 장애 및 인식 성능의 저하를 일으키는 요인이 된다. 남아있는 미세 잡음은 저역통과 필터와 60Hz의 전원선 잡음을 제거하고 남은 잡음이기 때문에, 불규칙성을 띤 잡음이다.

본 논문은 이러한 미세잡음 제거를 위하여 칼만필터를 사용한다. 칼만필터는 시계열 데이터를 다루는 여러 분야에서 활용되어온 기법으로, 시계열 자료를 상태 공간 모형으로 표현한 후, 관측치를 통해 우리가 원하는 최상의 추정치를 얻는 필터이다[8,9]. 칼만 필터를 이용한 예측방법은 시간에 따라 입력되는 관측 값과 이전시간을 기준으로 예측된 예측 값을 비교하여 분산의 최소화조건을 만족하도록 필터를 동적

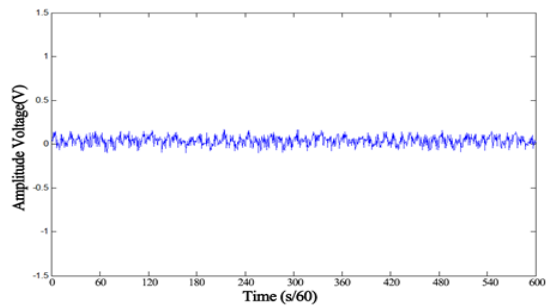


Fig. 7. Sensor data from the EPIC processed with shielding techniques.

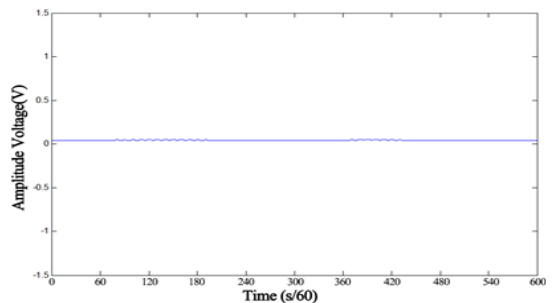


Fig. 8. Input data of an EPS through LPF in no gesture case.

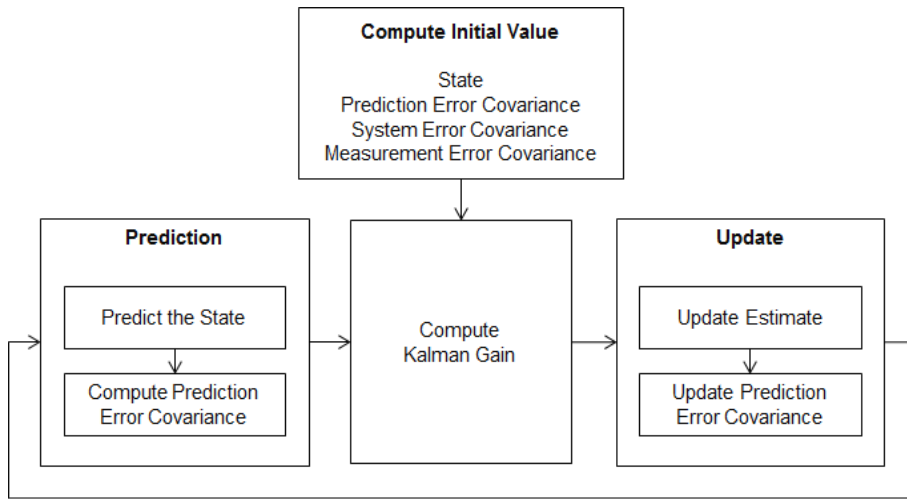


Fig. 9. Applied Kalman Filter model.

으로 적용시키는 것이다. 칼만필터는 반복적으로 새로운 관측치를 즉시 수용하므로 시계열 데이터 처리 시스템에 적용 시 유리하며, 불규칙성을 가지는 자료를 토대로 예측을 하기 때문에 잡음 제거에도 뛰어난 성능을 보인다. 본 논문은 Fig. 9과 같은 형태로 칼만 필터를 구현하였다.

비선형 시스템인 EPS 센서의 입력 시스템을 식 1과 같이 표현한다.

$$x_n = x_{n-1} + w_n, \quad z_n = z_{n-1} + v_n \quad (1)$$

여기서, x_n 는 추정된 센서의 전위 값이며, w_n 는 추정치의 잡음으로서 추정성능에 영향을 미친다. z_n 는

측정된 센서로부터 발생한 전위 값이며, v_n 는 측정된 전위의 잡음을 의미한다.

칼만필터는 1차 마르코프 모델로 설계되기 때문에, 초기 상태인 \hat{x}_0, \hat{P}_0 를 각각 식 2와 같이 정의한다.

$$\hat{x}_0 = x_0, \quad \hat{P}_0 = (\hat{x}_0 - \bar{x}_0)^2 \quad (2)$$

여기서, $n \in \{1, 2, \dots, \infty\}$ 이므로, 갱신과 예측에 대한 계산은 식 3~5에 의해 이뤄진다. 먼저 예측 상태 \hat{x}_n 와 예측 오차 분산 \hat{P}_n 는 다음과 같다.

$$\hat{x}_n = x_{n-1}, \quad \hat{P}_n = P_{n-1} + Q_n \quad (3)$$

여기서, Q_n 는 시스템 잡음을 나타내며, 본 논문

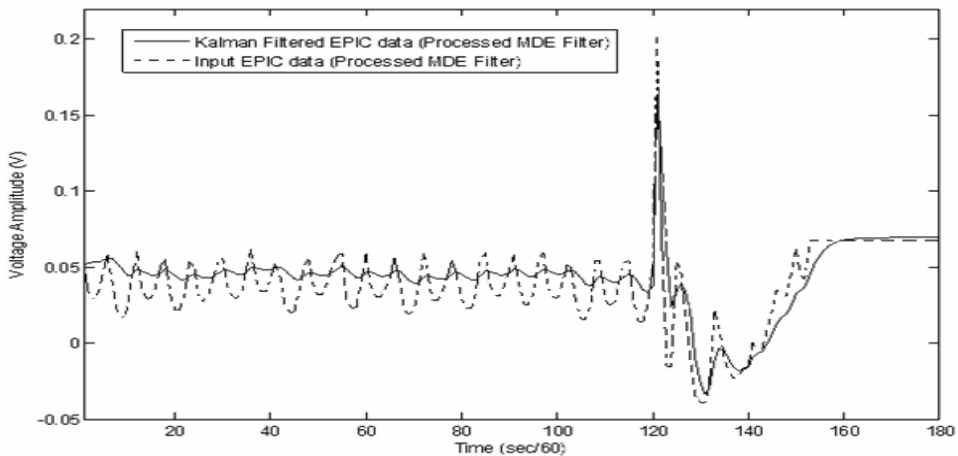


Fig. 10. Comparison of the gesture signals before and after Kalman process.

서는 동작이 잡음으로 제거되는 것을 방지하기 위해 현재 전위에 대한 분산으로 식 4와 같이 정의하였고, 이를 통해 얻어진 예상 오차 분산을 이용하여 Kalman gain K_n 를 아래와 같이 계산한다.

$$Q_n = (\hat{x}_n - \bar{x}_n)^2, K_n = \hat{P}_n(\hat{P}_n + R)^{-1} \quad (4)$$

여기서, R 는 측정 잡음으로써, 동작이 없을 때의 전위에 대한 분산을 근사하여 입력한다. Kalman gain을 통해 보정된 전위 추정치 x_n 와 예상 오차 분산 P_n 를 갱신한다.

$$x_n = \hat{x}_n + K_n(z_n - \hat{x}_n), P_n = (1 - K_n)\hat{P}_n \quad (5)$$

Fig. 10은 저역통과 필터만 거친 동작 신호와 칼만 필터에 의해 추정된 동작 신호를 나타낸 그래프이다. 미세한 잡음이 제거되었으며, 동작 데이터는 효과적으로 보존되었음을 확인할 수 있다.

접지와 차폐, 필터기법을 거친 센서의 데이터는 Fig. 10에서 확인할 수 있듯이 환경에서 발생하는 ELF대역의 EMI를 효과적으로 제거하였음을 확인할 수 있다. EMI 제거기법의 성능을 측정하기 위해 아래의 식 6을 사용하였다. P 는 EMI 제거기법의 성능을 나타내고, σ_p 와 σ_c 는 각각 EMI 제거기법을 적용하기 전, 후에 대한 신호의 표준편차를 나타낸다. Table 2를 통해 필터와 접지 기법의 성능이 매우 뛰어난 것을 확인할 수 있고, 차폐 역시 절반 가까이의 잡음을 제거함을 확인할 수 있다.

$$P = \frac{\sigma_c - \sigma_p}{\sigma_p} * 100 \quad (6)$$

Table 2. ELF-band noise reduction rate of the proposed EMI removal techniques

EMI removal techniques	Standard deviation	Noise removal rate
EPS data	0.793816	.
Shielding	0.05199	45.94%
Grounding	0.09799	87.65%
Filtering	0.001849	96.44%

2.3 성능실험 및 분석

다음 Table 3는 EMI 제거기법을 통한 확장된 인식거리를 나타내는 지표으로써 움직임 변위율을 사용

Table 3. Standard deviation and displacement ratio of gesture signals in terms of distance

Distance	Displacement ratio (%)	Standard deviation
1.0 m	2226	0.791
1.5 m	1806	0.648
2.0 m	712	0.276
2.5 m	241	0.116
3.0 m	121	0.075
3.5 m	50	0.051
4.0 m	24	0.042
4.5 m	9	0.037
5.0 m	3	0.035

한다. 움직임 변위율은 아래의 식 7을 사용하여 계산한다. D 는 움직임 변위율을 나타내며, 움직이기 전의 신호에서 얼마나 변화가 일어났는가를 나타낸다. σ_m 는 목표물이 움직일 때의 표준편차이고, σ_b 는 목표물이 움직이지 않을 때의 표준편차를 나타낸다. EMI 제거기법을 사용하기 전의 인식거리는 불과 1m에 불과하였으나, EMI 제거기법을 사용한 결과, Table 3와 같이, 목표물이 손을 좌우로 30cm가량 움직이는 기준동작에 따라 3m에서는 2배 이상의 신호 변화가 나타났고, 3.5m에서는 25%가량의 신호 변화가 나타났다.

$$D = \frac{\sigma_m - \sigma_b}{\sigma_b} * 100 \quad (7)$$

3. 결 론

본 논문은 사람의 손동작에 따라 스마트 TV를 원격 동작 제어하는데 적용하기 위한 EPS 기반 극저주파 대역 EMI 제거기법과 추가적인 잡음제거기술을 통한 실제 적용 가능한 인식거리 확보기술을 제안하였다. 본 논문에서 제안한 EMI 제거기법 중 금속섬유를 이용한 TV 후면패널 회로로부터의 EMI 차폐 방식은 45.9%의 잡음제거율을 보였으며 접지기법을 더할 경우 87%, 저역통과 필터 및 칼만필터 기법을 추가 적용할 경우 96%의 잡음제거 성능을 보였다. 이러한 다단계 EMI 제거기법을 적용함으로써 센서의 인식거리를 최대 3.5m 이상으로 확장시킬 수 있음을 실험을 통하여 증명하였다. 이러한 실험 결과는 스마트 TV 및 기기 등에 가격, 크기, 속도 및 전력속도 측면에서 기존의 NUI 센서에 비해 실용성이 높은

EPS 센서의 원격제어 시스템으로의 활용 가능성을 입증하였으며 향후 연구에서는 이러한 센싱 및 검출 기술을 기반으로 한 최적 인식알고리즘 및 프로세스 개발을 추진할 계획이다.

REFERENCE

[1] Microsoft, "IT Trend 2012"(2012). <http://www.msittrend.com>. (accessed Aug., 20, 2014).

[2] J.J. Jo and Y.C. Kim. "An Adaptive Pointing and Correction Algorithm Using the Genetic Algorithm", *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 16, No. 1, pp. 67-74, 2013.

[3] C.J. Harland, T.D. Clark, and R.J. Prance, "Electric Potential Probes-New Directions in the Remote Sensing of the Human Body," *Measurement Science and Technology*, Institute of Physics Publishing, Vol. 13, No. 2, pp. 163-169, 2002.

[4] H. Prance, R.J. Prance, P. Watson, and S.T. Beardsmore-Rust, "Position and Movement Sensing at Metre Standoff Distances Using Ambient Electric Field," *Measurement Science and Technology*, Institute of Physics Publishing, Vol. 23, No. 11, pp. 1-7, 2012

[5] J.J. Jo and Y.C. Kim. "Hand Tracking and Calibration Algorithm Using the EPIC Sensors," *Smart Media Journal*, Vol. 2, No. 1, pp. 27-30, 2013.

[6] S.Y. Kim. "EMI Suppression Methods," *The Korean Institute of Electrical Engineers*, Vol. 38, No. 9, pp. 28-34, 1989.

[7] J.J. Jo and Y.C. Kim. "Non-Contact Gesture Recognition Algorithm for Smart TV Using Electric Field Disturbance", *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 17, No. 2, pp. 124-131, 2014.

[8] Greg Welch and Gary Bishop, *An Introduction to the Kalman*, University of North Carolina, Department of Computer Science, TR 95-041, 2002.

[9] H.S. Ko, H.J. Jang, H.S. Han, and Y.W. Choi. "Robust Face Tracking Method through Improvement of Variance Characteristics in Prediction Error of the Kalman," *Proceeding of IEIE Summer Conference*, Vol. 27, No. 1, pp. 1097-1100, 2004.



장진수

2013년 2월 전남대학교 컴퓨터공학과 졸업
 2014년~현재 전남대학교 전자컴퓨터공학과 석사과정
 관심분야 : 정보처리 시스템, 사용자 인터페이스 시스템



김영철

1981년 2월 한양대학교 전자공학과 졸업
 1987년 5월 Univ. of Detroit, EE 공학 석사
 1993년 5월 Michigan State Univ. EE 공학 박사

1993년~현재 전남대학교 전자컴퓨터공학부 교수
 관심분야 : 스마트 NUI 제어 기술, 저전력 SoC 설계