

논문 2007-44CI-5-6

무선센서네트워크에서의 노이즈 감쇄필터

(Noise Reduction Filters for Wireless Sensor Networks)

서 경 룡*

(Kyungryoung Seo)

요 약

센서네트워크에서 신호처리를 수행하는 경우 노이즈 감쇄문제는 우선적으로 해결되어야 할 과제이다. 센서노드가 수집한 데이터에 포함된 노이즈가 센서네트워크의 신호처리 결과에 악영향을 미치는 것은 자명하다. 본 논문에서는 무선센서네트워크에서 사용할 수 있는 노이즈 감쇄 필터를 제안한다. 제안된 필터는 센서노드간의 상대적인 거리정보만을 사용하여 동작하며 구성이 단순하며 구현도 쉽다. 또한 센서노드의 통신반경을 적절한 범위에서 조정하여 전력소모를 줄이고 전체 네트워크의 수명을 연장할 수 있다. 다양한 조건에 대하여 성능평가를 수행하여 제안된 필터가 수집된 데이터에 대한 노이즈 영향을 감소시키는 것을 확인 하였다.

Abstract

In the sensor networks, the first step in the signal processing is noise reduction. It is obvious that the noise in the sensing data by sensor nodes have a bad effect on the collaborative signal processing results. In this paper we propose noise reduction filters for the wireless sensor networks. The proposed filters use only relative distance information between sensor nodes, thus it is very simple in complexity and easy to implement. Also it will be able to extend the sensor network life time by adjusting communication radius of sensors within proper limit to reduce consuming power. Various simulation results are presented to verify our approaches, we observed that the proposed filters can reduce the effect of the noise on the sensing data.

Keywords : Wireless sensor networks, noise reduction, collaborative processing

I. 소 개

무선센서네트워크는 연산과 무선 통신능력을 지닌 여러 센서노드로 구성된 시스템으로 각 센서노드는 특정한 장소의 위치, 온도, 오염도, 조도 등의 물리적인 데이터를 측정하고 인접한 다른 센서들과 무선통신을 통하여 데이터를 교환하며 협동처리를 수행한다^[1].

초기의 센서 네트워크는 목표추적이나 환경감시등에 활용 되었으나 관련 기술의 발전으로 멀티미디어 센서

네트워크^[3~4]나 신호처리 센서네트워크에 관한 연구가 주목을 받고 있다^[6~10].

센서네트워크에서 각 센서노드가 센서를 통해 특정 데이터를 수집할 때 수집된 데이터에는 센서특성이나 기타 데이터 수집환경에 의하여 노이즈가 포함된다. 노이즈가 포함된 데이터를 다른 센서노드와 상호 교환하면서 신호처리를 수행하면 이러한 노이즈로 인하여 잘못된 처리결과를 얻게 되며 노이즈가 포함된 환경에서 신호처리를 수행할 때 시스템에서 노이즈의 영향을 최소화 하는 방안이 필요하다^[8~10].

노이즈 제거문제는 신호처리나 영상처리분야의 전통적인 문제로 많은 연구가 진행되어 왔는데 규칙적으로 배열된 센서에서 추출한 데이터나 영상데이터에 포함된 노이즈를 제거하도록 설계되어 있는 전통적인 방식은 무작위로 배치되는 센서네트워크에 그대로 적용

* 정회원, 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부
(Division of Electronics, Computer and
Telecommunication Engineering Pukyong National
University)

※ 본 연구는 2004년도 부경대학교 연구년 교수지원사업에 의하여 연구되었음
접수일자: 2007년6월13일, 수정완료일: 2007년9월4일

하는 것은 불가능 하다^[10~12]. 또한 센서네트워크의 경우 전원의 공급이 불가능한 배터리를 사용해야하므로 전력사용을 최소화 하여 수명을 연장할 수 있도록 하여야 한다.

본 연구와 관련한 센서노드의 전력문제에는 통신능력을 들 수 있는데 센서노드의 통신범위가 넓을수록 많은 다른 센서노드와 교신할 수 있고 다양한 형태의 통신방식이 가능하지만 통신범위와 전력소비는 밀접한 관계가 있어 특정 값 r 로 제한된다. 동일한 전력으로 전파를 방출할 때 전파신호는 $1/r^\alpha$, ($\alpha = 3 \sim 5$) 으로 거리에 따라 급격히 감소하며 센서네트워크는 작은 r 을 유지할 수 있도록 설계되어야 한다^[1, 6~7].

본 논문에서는 센서네트워크에 적용할 수 있는 노이즈 감쇄필터를 제안한다. 제안된 방식은 센서의 통신기능을 활용하여 필터구성에 필요한 규칙성을 확보한다. 무작위로 배치된 센서에 규칙성을 구하기는 매우 어렵지만 완벽한 규칙성을 필요로 하지 않으면서 보다 우수한 성능을 얻을 수 있도록 센서네트워크 환경에서 얻을 수 있는 센서간의 상대거리정보를 활용하여 필터를 구성한다.

제안된 필터는 거리정보를 활용하므로 통신반경을 변경시켜 필터의 성능을 조정할 수 있다. 따라서 필요에 따라 통신반경을 변화시켜 전력소비를 조절하는 능력도 가지고 있다. 또한 제안방식은 노이즈 제거에 독자적으로 사용될 수도 있지만 필요에 따라 센서네트워크에서 신호처리를 수행할 때 전처리 과정으로 사용이 가능하다.

본 논문은 II장에서 센서모델과 가우시안필터를 포함한 기존의 노이즈제거 필터에 대하여 살펴보고 III장에서 센서네트워크의 노이즈 제거필터의 구성과 동작을 설명하며 제안된 필터의 동작을 예로 보인다. IV장에서는 제안된 필터에 대한 성능평가와 검토를 하며 V장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

관심의 대상인 필드 $I(x, y)$ 에 N 개의 센서 $S = \{S_i | i = 1, 2, \dots, n\}$ 가 무작위로 위치하고 있으며 센서노드 S_i 는 좌표 (x_i, y_i) 에 위치하며 데이터를 측정한다. 이때 S_i 가 측정한 측정된 데이터는 아래식과 같이 노이즈가 포함되어 있다^[11].

$$M(i) = I(i) + E(i) \tag{1}$$

여기서 $I(i)$ 는 $I(x_i, y_i)$ 를 간략히 표시한 것이며 $E(i)$ 는 노이즈를 나타낸다.

센서노드 S_i 는 통신범위인 반경 r 내부에 위치한 다른 센서노드들과 데이터를 교환하는데, 이때 교환되는 데이터는 센서가 수집한 데이터와 센서노드의 인식번호나 센서노드의 위치정보 같은 연산에 유용한 다른 정보를 함께 교환한다. 데이터 교환이 완료되면 S_i 는 통신범위내의 모든 센서노드의 데이터와 위치정보를 알게 된다.

신호처리를 수행하는 경우 센서노드의 위치정보는 매우 중요한데, 센서노드가 자신의 위치정보를 알고 있는 경우에는 이를 활용한 다양한방식의 협동처리가 가능하기 때문이다.

센서노드 위치계산에 관한 연구는 위치추적이나 모니터링 시스템에 적용할 수 있도록 많이 연구되어 있으며 GPS를 활용하거나 AOA(Angle of Arrival), TOA(Time of Arrival)또는 RSS(Received Signal Strength) 같은 방법으로 상호센서노드간의 부분적인 거리정보를 구한 후 다양한 알고리즘을 적용하여 실제위치를 결정한다. 완전한 위치정보가 필요하지 않은 경우 데이터 교환 중에 TOA나 RSS방식으로 구한 상대적인 거리만을 활용하는 경우도 있다^[12~14].

신호처리나 영상처리분야에서는 주로 활용되는 노이즈 제거기법에는 평균화 필터가 많이 사용된다^[7]. 평균화 필터는 주변의 픽셀 값과 자신의 픽셀 값을 평균하는 방법으로 계산을 단순화하기 위하여 특정한 크기의 커널로 필터를 구성하여 픽셀에 대하여 컨벌루션(convolution)을 적용하는데 계산을 하려는 픽셀을 커널의 가운데 두고 픽셀 값과 자신의 위치에 할당된 커널 값을 곱하여 평균을 취하는 방법으로 계산을 간단히 한다. 그림 1(a)에서는 단순한 3×3 평균화 커널의 예를 보인다.

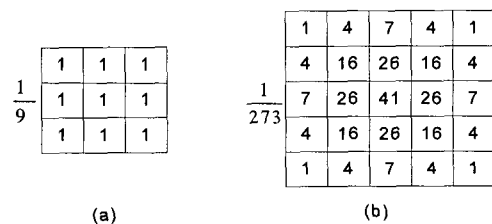


그림 1. 노이즈 제거 커널:(a) 3×3 평균화 커널, (b) 5×5 가우시안 커널

Fig. 1. Noise reduction kernel:(a) 3×3 averaging kernel, (b) 5×5 gaussian kernel.

또 다른 필터구성으로 보통 가우시안 분포함수를 사용하는 점 확산(point-spread)방식이 있다. 2차원 평면 상에서의 분포의 분산이 σ^2 인 가우시안 분포함수는 다음과 같다.

$$G(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (2)$$

영상처리분야에서는 모든 영상평면에 대하여 가우시안 분포함수와 컨벌루션을 취하는데 계산을 간단하게 하기 위하여 가우시안 분포함수를 그림 1(b)와 같이 5×5 크기의 커널로 간략화 하여 사용 한다. 그림 1(b)는 $\sigma = 1.0$ 일때 5×5 크기의 커널을 나타낸다.

그림 1의 두 커널을 살펴보면 각 픽셀 값에 할당된 가중치에 차이가 있음을 알 수 있다. 평균화 필터는 모든 픽셀에 동일한 가중치를 부여한 반면 가우시안 필터는 중심에 위치한 픽셀에 가우시안 분포함수에 따라 큰 가중치를 부여하고 중심에서 멀어질수록 작은 가중치를 부여한 것을 볼 수 있다. 이러한 필터는 영상정보와 같이 각 이미지 픽셀이 서로 일정한 간격으로 배열되어 있을 때 적용 가능한 것으로 센서 시스템과 같이 무작위로 배열된 경우 에는 적용할 수 없다.

III. 노이즈 감쇄 필터

노이즈 감쇄필터를 구성방법에는 센서노드간의 통신을 지속적으로 수행하는 방식도 가능하다. 하지만 본 논문에서는 각 센서는 수집된 데이터를 인접센서노드와 교환한 후 다른 통신을 수행하지 않고 수집된 데이터로만 수행하는 방식을 택한다. 제안된 방식은 센서의 전력소비를 감소하는 효과도 있으며 실험결과 통신을 지속적으로 수행하는 경우에도 성능이 크게 향상 되지 않았기 때문이다. 또한 한 번의 데이터 교환으로 작업을 완료할 수 있어 필터링 동작이 단순하며 후처리에 영향을 주지 않는다. 따라서 필요한 경우 다른 협동처리의 전처리 과정으로 쉽게 활용할 수 있다.

이 경우 데이터 교환을 수행한 센서는 독립적인 연산을 수행하기 때문에 특정한 센서 하나에 대하여서만 고찰 하면 된다.

1. 평균화 필터

우선 각 센서노드를 불규칙하게 배치된 픽셀에 대응하여 앞에서 설명한 평균화 필터와 근사한 동작을 수

행하는 매우 단순한 필터를 구성한다. 즉 모든 인접센서노드에 대하여 같은 거리에 있는 것으로 간주하여 동일한 가중치를 부여하고 센서노드 S_i 는 인접센서노드로부터 수집된 데이터로 다음의 식으로 평균화를 수행 한다.

$$M(i)' = \frac{1}{|S_I|} \sum_{S_j \in S_I} M(j) \quad (3)$$

여기서 S_I 는 S_i 의 통신범위에 위치한 모든 센서노드를 표시하고 $|S_I|$ 는 S_I 의 원소 수이다.

식 (3)의 동작은 매우 간단하다. 센서노드 S_i 는 자신의 통신범위에 있는 모든 센서노드의 데이터와 자신의 데이터를 단순 평균하는 것으로 커널의 크기를 통신반경으로 제한하였을 뿐 그림 1(a)의 커널과 동일하다.

이 방식으로 구성한 필터를 필터 F1이라 한다. 필터 F1의 장점은 계산이 단순하고 인접센서의 위치정보가 전역 필요 없다는 점이다. 따라서 위치결정(localization)이 되어 있지 않거나 위치결정을 수행하기 어려울 정도로 기능이 미약한 센서 시스템에 적합하다.

2. 가우시안 필터

센서노드의 위치 정보를 알 수 있으면 보다 개선된 필터를 구성 할 수 있다. 식 (2)의 가우시안 분포함수에는 위치정보가 포함되어 있다. 이식을 센서시스템에 적용할 수 있도록 $x^2 + y^2 = r^2$ 로 하여 다음 식을 얻는다.

$$G(r) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}} \quad (4)$$

식 (4)를 센서모델에 적용하면 중심에 위치한 센서노드 S_i 가 거리 r 떨어진 센서노드 S_j 에 대하여 $G(r)$ 의 가중치를 부여하는 것으로 볼 수 있다. 센서노드 S_i 와 센서노드 S_j 간의 거리를 d_{ij} 로 표시하면 센서노드 S_j 의 데이터는 가중치가 적용되어 $G(d_{ij}) \cdot M(j)$ 로 계산되고 센서노드 S_i 는 통신범위내의 모든 센서노드에 대하여 가중 데이터를 평균하는 아래 식으로 가우시안 필터를 구성 할 수 있다.

$$M(i)' = \frac{1}{\left| \sum_{S_j \in S_I} G(d_{ij}) \right|} \sum_{S_j \in S_I} G(d_{ij}) \cdot M(j) \quad (5)$$

식 (5)는 센서 S_j 에 대하여 가우시안 분포에 따른 가

중치를 부여하여 계산하는 방식으로 식 (2)를 적용한 가우시안 필터와 동일하다. 하지만 계산능력이 부족한 센서네트워크에는 이식을 바로 적용하기 어렵다.

3. 가중평균화필터

식 (3)와 식 (5)는 서로 다른 필터 구성 식인데 면밀히 검토하면 기본 형식은 동일하며 가중치 부여방식에서 차이를 발견 할 수 있다. 즉 식 (3)이 모든 센서에 동일한 가중치를 부여한 반면 식 (5)는 인접센서의 거리에 따른 가우시안 분포함수를 가중치로 사용한 것이다. 이 사실을 토대로 필터 구성 식을 일반화 하여 다음 식을 얻는다.

$$M(i)' = \frac{1}{\left| \sum_{S_j \in S_i} G_j \right|} \sum_{S_j \in S_i} G_j \cdot M(j) \quad (6)$$

여기서 G_j 는 센서 S_j 의 가중치를 표시한다. 여기서 G_j 를 1로 하면 식 (3)와 동일하며 G_j 를 식(4)으로 하면 식(5)와 동일하다.

따라서 센서 네트워크에서 노이즈 감쇄 필터의 구성은 적절한 G_j 를 구성하는 문제로 변환 된다. 일반적으로 센서노드의 배치는 불균일하며 G_j 는 센서간의 거리 정보에 의존하는데 거리정보에도 오류가 포함될 수 있으며 여기에 잘 대응하여야 한다. 또한 과도한 계산으로 불필요한 전력소모를 하지 않도록 하여야 한다. 즉 배치가 불균일한 센서네트워크 환경에서 센서의 위치정보에 오류에 잘 견딜 수 있는, 계산이 간단한 G_j 를 구성하여야 하는데 논문의 공간분할에 의한 가중치 결정 방법은 이상의 조건에 잘 부응한다.

공간분할 방식은 S_i 가 자신의 주변공간을 반경에 따라 n 개의 구역으로 분할하고 분할된 구획에 위치한 센서는 동일 가중치를 가지도록 하는 것을 말한다. 다

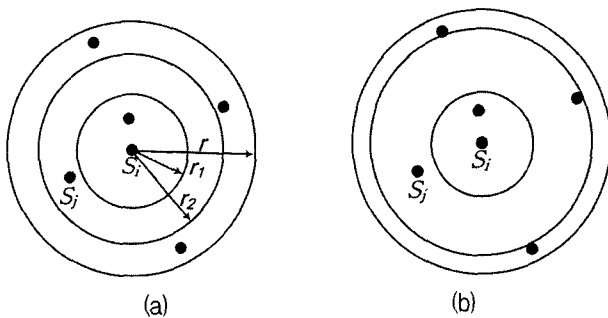


그림 2. 공간분할방법의 예
Fig. 2. Spatial partition examples.

양한 공간분할방법이 가능한데 우선 면적에 의한 분할 방법을 설명한다.

이 경우 센서 S_i 는 자신의 주변공간을 동일면적의 n 개의 구역으로 반경에 따라 분할한다. 그림 2(a)는 3분할의 한 예인데 $r_1 = \sqrt{1/3}r, r_2 = \sqrt{2/3}r$ 로 결정하면 각각 구획의 면적이 동일하다. 그리고 각각의 분할된 공간에 위치한 센서노드의 데이터에 다른 가중치를 부여하는데 가중치 결정에는 가우시안 분포함수를 참고하여 결정한다.

이 방식을 적용한 필터를 F2라고 한다. 필터 F2는 분할구간수를 증가시키고 주변센서의 밀도가 높아지면 이상적인 가우시안 필터와 같은 결과를 얻게 된다.

하지만 센서네트워크에서는 각 센서의 분포가 균일하지 않고 밀도도 높지 않아 분할된 구역에 쏠림현상이 발생하게 된다. 이를 극복할 수 있는 방법으로 센서개수에 의한 공간분할이 가능하다. 그림 2(b)가 센서개수에 의한 공간분할의 한 예인데 인접센서의 수를 계산하고 분할공간의 수를 정한다음 각 분할공간에 균일한 개수의 센서가 할당되도록 분할 반경을 결정한다. 그 이후 동작은 앞의 방식과 동일하며 이 필터를 F3으로 구분한다. F3은 센서노드 분포밀도가 일정하지 않는 경우에도 잘 동작한다.

F3은 F2에 비하여 더 큰 메모리와 복잡한 연산과정이 필요하다. 이는 균등한 공간분할을 위하여 각 센서의 데이터와 거리정보 저장기능과 정렬연산을 수행해야 하기 때문이다. F2는 정해진 반경에 따라 단순 연산을 수행하여 데이터수집과 동시에 필터링 작업을 완료할 수 있다.

4. 각 필터의 실행예

각 필터의 동작을 그림 2의 센서네트워크에 대하여 표 1의 데이터를 사용하여 설명하고자 한다. 각 센서의

표 1. 각 필터의 실험 조건표
Table 1. evaluation factors for filters.

S_i	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6
d_{ij}	0	1.72	3.54	4.18	5.26	5.73
$I(i)$	7	7	7	7	7	7
$E(i)$	0.5	0.4	-0.35	-0.46	0.12	-0.21
$M(i)=I(i)+E(i)$	7.5	7.4	6.65	6.34	7.12	6.79
$G_{F1}(i)$	1	1	1	1	1	1
$G_{F2}(i)$	26	26	16	16	16	7
$G_{F3}(i)$	26	26	16	16	7	7

필드 $I(i) = 7$ 로 동일한 값을 가지도록 하였으며 20dB 의 백색잡음이 $E(i)$ 로 부가된 예이다. S_1 은 중심에 위치하고 있으며 잡음제거를 수행하는 센서노드이다.

F1의 경우 모든 센서에 대한 가중치 $G_{F1}(i) = 1$ 로

$$M = \frac{1}{6} \{7.5 + 7.4 + 6.65 + 6.34 + 7.12 + 6.79\} = 6.97 \quad (7)$$

로 계산 된다. 즉 7.5 인 데이터가 F1을 통하여 6.97 로 개선되었다.

F2는 그림2(a) 와 같이 거리에 따른 3분할방식을 채택하였으며 내부로부터 2개, 3개, 1개 의 센서가 각각의 구획에 분포한다. 이 경우 가중치는 그림2(b)에서 중심을 기준으로 가까운 구역의 값을 차용하여 26, 16, 7 을 사용하였으며 식 (6)에 따라

$$|\sum G| = 26 + 26 + 16 + 16 + 16 + 7 = 107 \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \sum G \cdot M &= 26 \times (7.5 + 7.4) \\ &+ 16 \times (6.65 + 6.34 + 7.12) \\ &+ 7 \times 6.79 \\ &= 756.69 \end{aligned} \quad (9)$$

$$M' = \frac{1}{|\sum G|} \sum G \cdot M = \frac{756.69}{107} = 7.07 \quad (10)$$

으로 계산한다. 이 경우 노이즈가 포함된 데이터 7.5에서 7.07로 개선되었다. 같은 방법으로 F3은,

$$|\sum G| = 26 + 26 + 16 + 16 + 7 + 7 = 98 \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \sum G \cdot M &= 26 \times (7.5 + 7.4) \\ &+ 16 \times (6.65 + 6.34) \\ &+ 7 \times (7.12 + 6.79) \\ &= 692.61 \end{aligned} \quad (12)$$

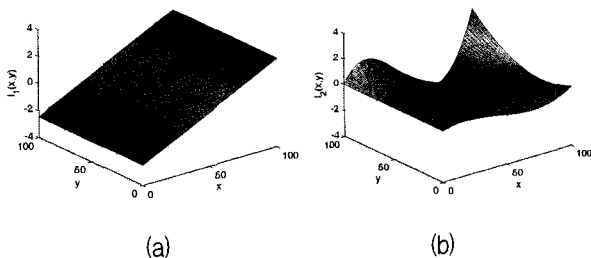


그림 3. 성능평가에 사용된 필드:(a) 필드 I_1 , (b) 필드 I_2
Fig. 3. Test fields for performance evaluation:(a) field I_1 , (b) field I_2 .

$$M' = \frac{1}{|\sum G|} \sum G \cdot M = \frac{692.61}{98} = 7.07 \quad (13)$$

과 같은 결과를 얻게 된다.

이상의 예로 각 필터의 동작과 필터의 노이즈 감쇄효과를 확인할 수 있다.

IV. 성능평가

제안된 필터의 성능평가를 실시하였다. 실험환경은 컴퓨터를 활용한 가상실험이며 UNIX 환경에서 C 를 상용하여 프로그램 하였다. 실험으로 구한 결과는 MATLAB 으로 처리하였다. 필터 F2, F3는 3분할 방식을 채택하였으며 필드평면은 100×100 으로 구획된 2차원 평면상에 동일한 통신범위 r 인 센서 N 개가 분포되어있는 경우를 사용하였다.

알려진 바와 같이 노이즈 필터는 주어진 필드의 노이즈를 감쇄하기도 하지만 필드평면의 데이터를 왜곡하기도 한다. 센서네트워크는 분포가 균일하지 않아 센서의 배치에 따라 왜곡이 크게 발생할 수 있다.

따라서 다양한 형태의 필드에 대한 조사가 필요한데 본 논문에서는 그림 3(a)와 같이 $I_1(x,y) = Ax + B$ 의 기울기만 있는 단순한 필드와 그림 4(b)와 같이 $I_2 = Ax(x-40)(x-90)(y-30)^2 + B$ 의 복잡한 형태의 필드를 사용 하였다. 성능평가를 단순화하기 위하여 각 필드의 상수 A,B를 $\frac{1}{XY} \iint I(x,y) dx dy = 0$ 이 되도록 정하였으며 여기에 다양한 강도의 백색잡음 $E(x,y)$ 를 필드에 부가 하였다.

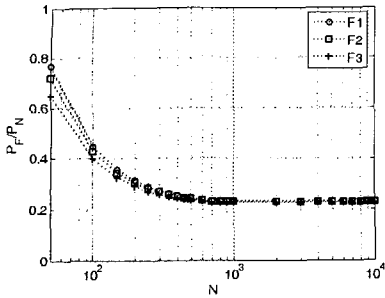
필터를 적용하지 않은 경우 전체 센서네트워크의 노이즈 강도를 RMS(root mean square)로 다음 식 과 같이 계산한다.

$$P_N = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N E(i)^2 \quad (14)$$

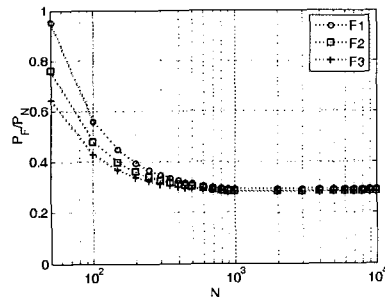
각 필터를 적용하여 센서노드 S_i 는 측정된 데이터 $M(i) = I(i) + E(i)$ 를 $M'(i)$ 로 바꾸게 된다. 이 경우 오차는 $E'(i) = M'(i) - M(i)$ 이고 이때의 잡음강도는

$$P_F = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [M'(i) - M(i)]^2 \quad (15)$$

로 계산한다. 이 경우 주어진 필드에 대한 노이즈 개선정



(a)



(b)

그림 4. N 변화에 따른 제안된 필터의 성능평가: (a) 실험필드 I1, (b) 실험필드 I2

Fig. 4. Performance evaluation with proposed filters(N is varied): (a) for test field I1, (b) for test field I2.

는 P_F/P_N 로 표시할 수 있다.

센서통신반경 $r=10$ 으로 하여 센서 수 N 을 100개에서 10,000개 까지 변화시켜 각 필터의 노이즈 개선정도를 실험하여 그림 4에 보였다. 여기에 사용된 잡음강도는 20dB 이며 각 N 에 대하여 센서를 무작위로 발생시켜 100회 계산 후 결과 값의 평균을 취하였다. 이 경우 센서밀도 $\rho = N/A$ 이며 하나의 센서에는 $\pi R^2 \rho$ 개의 인접센서노드가 존재하게 된다. 따라서 100개의 센서노드가 배치되었을 때 각 센서노드의 통신범위에는 $\pi \times 10^2 \times \frac{100}{10,000} = \pi$ 개의 센서가 존재하게 된다. 인접센서가 없을 경우에는 센서네트워크의 협동 작업이 무의미하기 때문에 100을 N 의 최저한계로 정하였다.

실험 결과 각 필터의 성능은 N 이 증가함에 따라 좋아지는데 N 이 400을 넘어가면, 즉 인접센서노드의 개수가 12-13 정도가 되면 더 이상 센서 밀도에 의한 성능개선효과를 볼 수 없게 된다. 따라서 센서노드 밀도가 높을 때 12개 정도의 인접센서노드가 존재하도록 통신반경을 조정하면 성능변화 없이 통신 전력을 줄이고 센서노드의 수명을 연장할 수 있다.

표 2. SNR의 평균개선능력

Table 2. Average Improvement in SNR.

SNR	I ₁			I ₂		
	F1	F2	F3	F1	F2	F3
∞	178.34	182.17	180.46	90.23	152.24	163.12
30	35.23	36.18	36.08	33.19	34.23	34.84
20	26.18	27.02	28.32	25.21	26.15	26.34
10	18.73	19.32	20.46	17.83	20.13	21.72

센서노드의 밀도가 낮을 경우 필터에 따라 서로 다른 결과를 보이는데 계산의 복잡도와 비례하여 성능이 좋아지는 것을 확인할 수 있다.

복잡한 필드의 경우 단순한 경우보다 개선정도가 낮음을 알 수 있는데 이는 필터링동작에서 필터의 깊이 작용하기 때문으로 보이며 여기에 대한 논의는 다음 실험에서 설명한다.

표 2에서는 $r=10, N=300$ 으로 하고 노이즈강도를 변화시켜 각 필터의 노이즈 개선정도를 보였다. SNR= ∞ dB 은 노이즈가 없는 경우이고 노이즈를 증가시켜 30, 20, 10dB의 백색잡음이 있는 경우에 대하여 각 필터의 노이즈 감쇄효과를 측정하였다.

신호의 RMS 값은 다음의 식으로 표시되고

$$P_s = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I(i)^2 \tag{16}$$

필터를 적용한 경우 노이즈 강도 P_F 는 식(15)와 같으므로 필터의 노이즈 감쇄정도를 다음 식으로 계산하였다.

$$SNR = 10 \log \frac{P_F}{P_s} \tag{17}$$

실험결과를 보면 각 필터에 의하여 필드의 노이즈가 감쇄되었음을 확인할 수 있다. 앞에서 설명한 바와 같이 필터의 복잡도에 따라 성능의 차이가 발생하며 특히 복잡한 필드의 경우 F3의 노이즈 감쇄능력이 가장 우수함을 확인할 수 있다.

노이즈가 없는 경우, 즉 SNR= ∞ 일때 모든 필터는 필드에 노이즈가 없음에도 노이즈를 발생시키고 있다. 이는 노이즈 필터의 잘 알려진 현상으로 필드의 데이터를 평균화하려는 작용에 의한 것이다. 이 경우에도 단순한 필터보다는 거리정보를 활용한 필터의 성능이 더 우수한 것이 확인된다. 이러한 결과는 F2, F3가 근접한 센서에 가중치를 크게 적용하여 필드의 변화를 적게 반영하여 데이터 왜곡현상을 줄이기 때문이다.

이결과는 통신반경을 작게 유지하는 것이 데이터 왜곡현상에 좋은 대응이라는 것을 말한다. 하지만 짧은 통신반경은 인접센서의 수를 줄여서 필터의 품질에 영향을 미치게 되므로 F3 같이 적절한 반경을 유지하면서 가중치를 조절하는 필터가 유용함을 알 수 있다.

가중 평균화방식을 채택한 F2, F3의 경우 공간분할 개수 n 이 중요한 변수가 될 수 있는데 실험결과에서와 같이 인접센서의 개수가 12개 이하인 경우 좋은 결과를 얻을 수 있으며 이 경우 더 큰 공간분할은 의미가 없다고 하겠다. 실제로 다른 n 에 대한 실험결과 큰 변화를 확인할 수 없었고 본 논문에서는 $n=3$ 인 경우만 사용하였다.

V. 결 론

본 논문에서는 무선 센서네트워크에서 사용할 수 있는 노이즈 감쇄필터를 제안하였다. 통상적인 노이즈 감쇄필터가 규칙적으로 배치되어 있는 경우에 적용하도록 설계되어 있어 규칙성이 없는 센서네트워크에 적용하기 어려워 센서노드가 통신을 수행 하면서 얻을 수 있는 단순 거리정보를 활용한 필터를 구성 하였다.

제안된 필터는 인접센서의 존재만을 이용하는 아주 단순한 필터 F1과 센서노드간의 거리만을 이용하여 인접센서노드를 분할한 F2, 분할된 센서노드의 수를 동일하게 유지하도록 설계한 F3가 있으며 각각의 필터성능을 다양한 조건하에서 실험하여 확인하였다.

실험결과 각 필터는 노이즈 감쇄동작을 잘 수행하였으며 필터의 동작에 통신범위가 매우 중요한 변수로 작용하는 것을 보여 주었다. 필터의 성능을 최대화하기 위해서는 통신범위 내에 인접센서노드가 많아야 하는데 큰 통신범위는 많은 전력소비를 야기하고 필드 왜곡현상도 통신범위가 클수록 많이 발생한다. 하지만 실험의 결과로 약 12개 정도의 인접센서노드만 있으면 만족할 만한 노이즈 감쇄효과를 얻을 수 있고 거리에 따라 가중치를 변형하는 F2나 F3는 복잡한 형태의 필드에도 필드 왜곡을 작게 하는 것을 확인하였다.

제안된 필터는 구조가 간단하여 단순한 센서네트워크에 적용할 수 있으며 독자적으로 노이즈를 처리할 수도 있으며 특정한 신호처리를 수행할 때 쉽게 전처리 과정에 적용할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] Feng Zhao, and Leonidas Guibas, Wireless Sensor Networks, Elsevier, 2004.
- [2] D. Ganesan, D. Estrin, and J. Heideman, "DIMENSIONS: Why do we need a new data handling architecture for sensor networks?" Proceedings of IEEE/ACM HotNets-I, Princeton, NJ, October 2002.
- [3] L. Ferrigno, and A. Pietrosanto, "A Low Cost Visual Sensor Node for BlueTooth Based Measurement Networks," Instrumentation and Measurement Technology Conference, Como, Italy, 2004.
- [4] H.Q. Li, J.K. Wu, X.M. Bao, D.L. Cheng, and L. Dong, "Real-Time Activity Monitoring Using Wireless Wearable Sensors," Int. Conf. Pervasive Systems and Computing, Las Vegas, USA, 2005.
- [5] S. Gneriwal, C. Han, and M. Srivastava, "Going beyond Nodal Aggregation in Sensor Networks," NESL Technical Report, University of California at Los Angeles, August 2004.
- [6] N. Patwari, Alfred O. Hero III, Matt Perkins, and Neiyer S. Correal, "Relative Location Estimation in Wireless Sensor Networks," IEEE Trans. on Signal Processing, Vol. 51, No. 8, August 2003.
- [7] Jim Chou, Dragan Petrovic, and Kannan Ramchandran, "A distributed and Adaptive Signal Processing Approach to Reducing Energy Consumption in Sensor Networks," in IEEE INFOCOM 2003, San Francisco, USA, Apr. 2003.
- [8] K. Chintalapudi and R. Govindan, "Localized Edge Detection in Sensor Fields," Ad-hoc Networks Journal, 2003.
- [9] R. Nowak, and U. Mitra, "Boundary Estimation in Sensor Networks: Theory and Methods," Proceedings of the First International Workshop on Information Processing in Sensor Networks, April 2003.
- [10] D. Devaguptapu and B. Krishnamachari, "Applications of Localized Image Processing Techniques in Wireless Sensor Networks," SPIE's 17th Annual International Symposium on Aerospace/Defense Sensing, Simulation, and Controls, (Aerosense '03), Orlando, Florida, April 2003.
- [11] R. Gonzalez and R. Woods, Digital Image Processing, Addison-Wesley Publishing Company, 1992.

- [12] S. Slijepcevic, S. Megerian, and M. Potkonjak. "Charaterization of location error in wireless sensor networks: analysis and applicaitons." In Int. Workshop Inf. Process. Sensor Networks(IPSN), 2634, pp. 593-608, 2003.
- [13] D. Nicules, and B. Nath. "Ad hoc positioning system (APS) using AoA." inIEEE INFOCOM, San Franciso, pp.1734-1743, 2003.
- [14] K. Yedavalli, B. Krishnamachari, S. Ravula, and B. Spinivasan, "Ecolocation: a sequence based technique for RF localization in wireless sensor networks," in Proceedings of the Fourth Int. Symposium on Information Processing in sensor Networks, 2005.

 저 자 소 개



서 경 룡(정회원)

1983년 부산대학교

전기기계공학과 학사졸업.

1990년 한국과학기술원(KAIST)

전자공학과 석사 졸업.

1995년 한국과학기술원(KAIST)

전자공학과 박사 졸업.

1991년~현재 부경대학교 전자컴퓨터정보통신
공학부 정교수.

<주관심분야 : 분산시스템, 컴퓨터 네트워크>