
구간변화율을 고려한 기본확률배정함수 결정

서동혁* · 박찬봉**

A Novel Method of Basic Probability Assignment Calculation with Signal Variation Rate

Dong-Hyok Suh* · Chan-Bong Park**

요 약

Dempster-Shafe 증거이론은 다중센서 데이터융합을 위한 좋은 계산방법을 제공해준다. 이때 기본확률배정함수가 절대적으로 필요하다. 본 논문에서는 신호를 평가하여 기본확률배정함수를 계산하고 결정하는 방법을 제안한다. 센서들이 보내온 신호를 구간별로 변화율을 평가하고 이 평가를 기초로 기본확률배정함수를 정하도록 한다. 센서들이 감지하여 보고한 신호들은 상황발생 요인과 관련 있는데, 시간간격에 따라서 변화하는 신호값의 추이를 평가하였다. 센서가 감지한 신호의 변화는 상황구성 및 병화와 밀접한 관련이 있으므로 신호값의 변화를 평가하는 것은 상황추론에 도움이 되는 것이었다. 이것을 기본확률배정함수 결정에 포함함으로써 사전정보가 없는 경우에 대해서도 상황추론이 가능할 수 있음을 보였다.

ABSTRACT

Dempster-Shafer Evidence Theory is available for multi-sensor data fusion. Basic Probability Assignment is essential for multi-sensor data fusion using Dempster-Shafer Theory. In this paper, we proposed a novel method of BPA calculation with signal assessment. We took notice of the signal that reported from the sensor mote at the time slot. We assessed the variation rate of the reported signal from the terminal. The trend of variation implies significant component of the context. We calculated the variation rate of signal for reveal the relation of the variation and the context. We could reach context inference with BPA that calculated with the variation rate of signal.

키워드

무선센서 네트워크, 데이터융합, 상황추론, 기본확률배정함수
wireless sensor network, data fusion, context inference, basic probability assignment

1. 서론

무선센서 네트워크를 이용한 상황인식에 있어서 보다 향상된 상황인식을 위해서는 센서네트워크를 구성할 때 다양한 센서를 채용하는 것이 단일기종의 센서로 네트워크를 구성하는 것보다 유익하다. 다중센서로 구성된 무선센서 네트워크를 이용하여 상황을 추론하

기 위해서 이질적인 센싱 정보에 대한 데이터융합을 필요로 한다[1]. 다중센서 데이터융합을 위하여 좋은 방법을 제공하는 것이 Dempster-Shafer 증거이론(Dempster-Shafer Evidence Theory : DST)이다. DST는 불확실성을 표현하기 위한 확률이론이지만, 다중센서 데이터융합에 유용하게 이용되고 있다[2]. DST를 이용한 다중센서 데이터융합을 하기 위해서

* 교신저자 : 극동대학교 멀티미디어학과(hanhwaco@daum.net)

** 광운대학교 방위사업학과(hipark0007@daum.net)

접수일자 : 2012. 12. 21

심사(수정)일자 : 2013. 02. 20

게재확정일자 : 2013. 03. 22

기본확률배정함수(Basic Probability Assignment : BPA)를 결정하여야 한다. DST를 이용한 다중센서 데이터융합은 BPA를 기초로 진행되기 때문이다.

본 논문에서는 향상된 상황인식을 위해서 BPA를 어떻게 결정할 것인지에 대해서 논한다. 무선센서 네트워크를 이용한 상황인식에서는 사전에 상황정보를 확보하여 미리 데이터 모델링하는 것이 일반적이다 [3]. 그렇지만 실세계의 상황은 사전에 상황정보를 수집할 수 없는 경우가 많다. 예를 들어, 공동주택단지 주변에서의 여성과 어린이들을 납치나 폭행으로부터 보호하는 것을 목적으로 하는 생활안전 예방시스템이 있다고 가정한다면, 이런 안전시스템은 다양한 양상의 범죄발생 상황을 사전에 인지하고 예방할 수 있어야 한다. 이를 위하여 범죄가 발생하고 있는 상황에 대한 인지능력이 중요하지만, 범죄 발생을 예측할 수 있어야 한다. 범죄발생 양상은 매우 가변적이며 다양하다. 수없이 다양하며 지능화되고 있는 범죄에 대한 상황정보를 사전에 충분히 확보하는 것은 어려운 일이다 [4]. 생활안전시스템에 관한 연구에서는 기존의 범죄 발생 양상을 연구하여 구체적인 범죄발생 데이터 및 우범자의 활동에 대한 정보를 정리하고 이를 데이터화 해두는 노력을 기울일 것이다. 그와 함께 필요한 것이 사전에 확보한 상황정보를 벗어나는 것에 대해서도 대비를 하는 것이다. 범죄나 위급한 상황은 단 1회라 하더라도 그 피해가 막심하며 일단 발생하고 나면 돌이키기 어려운 피해를 동반하기 때문이다.

센서로부터의 신호만을 평가하여 상황을 추론해야 하는 필요성이 여기에 있는 것이다. 사전에 입수한 사전정보 없이, 미리 모델링해둔 데이터 없이도 센서가 입수한 신호만 가지고 상황을 추론하는 방안은 상황인식 연구에서 반드시 고려해두어야 하는 것이다. 이 방안이 상황인식의 주된 방법이나 도구가 될 수는 없다고 하더라도, 사전모델링 방식 상황인식의 미비점을 보완하기 위하여 필요하다고 하겠다. 평상시에 자주 발생하지 않는 긴급하고 특별한 경우에 대한 대비책으로서도 필요성이 있는 것이다.

단편적인 신호만을 가지고 상황을 판단하는 것은 어려운 일이지만 무선센서 네트워크를 비롯한 여러 응용 분야에서 필요성이 존재한다[5]. 본 연구에서는 센서가 보내온 신호를 토대로 하여 상황과 관련성을 추정하여 BPA를 결정하는 방안을 제안한다. 이를 통해서 사전

에 확보해둔 인식범위를 벗어나는 특별한 상황에 대해서도 상황을 추론할 수 있도록 할 수 있다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 관련 연구를 기술하고 3장에서는 본 논문에서 제안하는 BPA결정 방안을 제안하고 실험과 그 평가를 기술하고 4장에서 결론을 맺는다.

II. 관련연구

BPA를 어떻게 결정할지에 관한 연구는 최근 들어 더욱 활기를 띠고 있다. 퍼지이론과 DST에서는 BPA의 역할이 중요하고, 문제해결을 위해서 퍼지이론과 DST를 도입하는 연구들이 많기 때문이다.

2.1 기본확률배정함수

DST에서 서로 배타적인 명제들로 이루어진 전체 집합, Θ 이라 하고, 2^Θ 를 Θ 의 power set으로써 모든 가능한 명제들을 포함한다고 하면 관심원소에 배정되는 기본확률배정함수 m 은 다음과 같은 네 가지 성질을 가진다.

- 1) $m : 2^\Theta \rightarrow [0,1]$, 2) $m(\emptyset) = 0$,
- 3) $0 \leq m(A) \leq 1$, 4) $\sum_{A \in \Theta} m(A) = 1$

기본확률배정함수를 이용하여 개별명제들 즉, 관심원소들의 조합 A에 대한 정량화된 총 신뢰도를 할당 한 값과 관심원소들의 개연성 값을 구해낼 수 있으며 상황추론의 바탕이 되는 것이다.

2.2 관련연구

DST가 여러 분야에서 활용되면서 DST의 BPA를 구하는 연구도 활발해지고 있다.

T. Ali(외 1인)는 최소값, 최대값 그리고 근사값의 연산자가 인지된 상황에서의 BPA결정 방안을 제안하였다[6]. W. Jiang은 파악하고자 하는 대상의 속성과 테스트된 샘플 데이터간의 거리를 측정함으로써 BPA를 구하는 방안을 제안하였다[7]. Z. Zuo(외 2인)는 random set이론에 기초한 rough set이론과 BP 신경망을 이용하여 BPA를 구하는 방안을 제안하였으며

[8], A. O. Boudraa(외 3인)은 이미지 히스토그램에서 구한 퍼지 멤버십 등급 픽셀을 이용하는 이미지 선분법을 이용하여 BPA를 구하는 방안을 제안하였다[9].

III. 클러스터링 기반 다중센서 데이터융합

DST를 이용한 데이터융합에서 BPA는 융합처리의 기본이 되는 것이다. 관심원소들이 구성되고 관심원소들에게 BPA가 할당되면, 각 관심원소들의 BPA를 가지고 계산하여 관심원소들의 belief와 uncertainty를 계산해낸다. 각 관심원소들의 belief와 uncertainty를 기초로 상황에 대한 추론을 할 수 있다.

센서들이 감지한 신호정보에 입각하여 관심원소들을 구성하고 각 관심원소들에게 타당한 BPA를 결정하여 부여하는 것이 데이터융합에서 중요한 과정이라고 할 수 있다.

무선센서 네트워크에서 센서들은 감지한 값을 호스트로 보고할 것인지 데이터필터링 기준에 입각하여 결정한다. 센서모드는 일정한 시간간격으로 센싱하며 보고할만한 가치가 있는 정보를 호스트로 전송한다. 이렇게 보고된 신호에 대한 적절한 평가는 상황을 추론하는데 꼭 필요하다.

사전정보가 확보되지 않은 환경에서 센서의 신호값만을 기초로 상황을 추론하기 위해서는 타당한 신호평가가 이루어져야 하는데, 일정한 시간간격을 정하고 그 시간 내에서의 신호값의 변화양상을 평가함으로써 상황에 어떠한 연관이 있는지 추정할 수 있는 것이다. 다음은 음향센서와 초음파센서, 적외선센서를 사용하는 무선센서 네트워크 환경에서 센서들로부터 보고된 값을 평가하는 방안을 수식과 함께 정리한 것이다.

3.1 신호 변화율 평가방안

음향 센서와 초음파 센서, 적외선 센서를 이용한 함수를 다음과 같이 정의한다. 음향 함수, $I(t)$, 초음파로 측정된 거리 함수, $D_1(t)$, 적외선 센서를 이용한 근거리 측정 함수를, $D_2(t)$ 라고 한다.

음향 센서의 시간별 변화율을 다음과 같이 나타낸다.

$$\Delta I(t) = \frac{I(t_n) - I(t_{n-1})}{t_n - t_{n-1}} \quad (1)$$

$$\begin{cases} I < 0, & \Delta I(t_n)' = 0 \\ I \geq 0, & \Delta I(t_n)' = |\Delta I(t_n)| \end{cases}$$

음향 센서의 값, I 가 음수의 값을 가진다면 위험요소가 사라지는 것으로 볼 수 있기 때문에 시간에 따른 음향 변화율을 0으로 두어 위험요소에 영향을 주지 않게 한다.

초음파와 적외선 센서를 이용한 시간별 거리 측정함수의 변화율은 다음과 같이 나타낸다.

$$\Delta D(t) = \frac{D(t_n) - D(t_{n-1})}{t_n - t_{n-1}} \quad (2)$$

$$\begin{cases} D > 0, & \Delta D(t_n)' = 0 \\ D \leq 0, & \Delta D(t_n)' = |\Delta D(t_n)| \end{cases}$$

거리 측정 센서들로부터 측정된 거리 값이 만약, $D > 0$ 라면 다가오는 물체가 점점 멀어지고 있음을 의미하기 때문에 거리 변화율을 0으로 두어 위험 요소에 영향을 주지 않도록 한다.

시간 1~30초까지를 1초 단위로 측정한다.

$$t_n = 1, 2, 3, \dots, 30$$

음향값 $I(t_n)$, 초음파 측정거리 $D(t_n)$, 적외선 측정거리 $D'(t_n)$

$$\text{음향값의 변화량, } \Delta I(t_n) = \frac{I(t_n) - I(t_{n-1})}{t_n - t_{n-1}} \quad (3)$$

단 $\Delta I(t_0) = -\Delta I(t_1)$, 초기값은 다음 음향값이 측정되어 변화량이 계산되는 첫 계산값의 음수이다.

이 때, 델타값의 구간별 기울기 변화율, α 를 다음과 같이 정의한다.

$$\alpha = \frac{\sum_{k=0}^n \arctan(\Delta I(t_k)) \left(\frac{t_n}{T}\right)^2}{\sum_{k=0}^n \arctan(|\Delta I(t_k)|)} \quad (4)$$

T=총 시간

$\arctan(\Delta I(t_k))$ 은 델타값 $\Delta I(t_k)$ 를 $\left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right]$ 의 구간 값으로 표현한 값이다. 따라서 음의 변화량이거나

양의 변화량 값에 상관없이 총 델타 절대값으로 델타 값의 총합을 나누고 $(t_n/총시간)^2$ 을 곱하여 나타낸 것이다.

시간이 지남에 따라 음향값이 지속적으로 증가한다면 큰 값을 가진다. 만약, $a>0$ 인 경우 a 이고, $a\leq 0$ 인 경우 0으로 한다. 음향이 크게 감소하는 경우에 값을 0으로 하여 [0,1] 사이의 값으로 고정한다.

거리 측정값의 경우는 $a\geq 0$ 인 경우 0이고, $a<0$ 인 경우 $|a|$ 로 한다. 거리가 크게 증가하면 멀어지는 경우이므로 값을 0으로 한다.

센서값의 변화양상, 센서값의 변화하는 양상은 상황과의 연관성을 평가할 수 있는 근거를 가지고 있는 것이다. 센서값의 변화추세를 감지하고 평가함으로써 그 평가결과가 Dempster-Shafer이론을 활용한 다중센서 데이터융합을 위한 BPA결정에 반영되도록 하였다.

3.2 실험 및 평가

본 절에서의 실험은 주변상황인지능력이 현저히 저하된 보행자가 보행중 이동체와의 접촉 및 충돌가능성을 미리 인지하도록 하는 환경을 가정한다.

사용 센서 : 음향센서, 초음파센서, 적외선 센서

음향센서 - Sensitivity : -403dB

Impedence : Max 2.2x

Directivity : Omnidirectional

초음파센서 - Detectable range(m) : 0.03-6m

Nominal Frequency : 40Hz

Resolution[mm] : ±3mm

적외선센서 - Field of view : 138°

Operating Voltage : 3~10 V DC

지원O/S : TinyOS 2.0

실험내역 : 음향센서는 이동체가 발생시키는 음향을 감지하여 보고한다. 이후 음향센서는 이동체가 보행자에게 접근하는지 멀어지는지 여부를 감지하는 자료를 제공하기 위해 음향의 크기를 추가적으로 감지하여 보고한다. 음향센서가 이동체의 발견을 보고하면 초음파센서가 감지활동을 시작하여, 해당 이동체가 접근하는지 여부를 보고한다. 초음파센서는 일정시간간격으로 이동체를 감지하여 이동체가 다가오는지 회피하려하는지 여부를 감지하여 보고한다. 초음파센서의 감지능력을 보완하기 위해서 근접거리에 이르러서는 적외선센서를 작동하여 접근여부를 추가 확인 한다.

여기서 보고된 값들의 변화양상이 의미를 지닌다. 지속적으로 커지는지 혹은 작아지는지 커졌다가 작아지는지 여부에 따라서 의미가 달라지는 것이다. 센서 시스템을 이용하여 이동체가 보행자를 향해 접근하고 있는지 멀어지고 있는지 회피하여 가는지 감지하는 것이 목표이기 때문이다. 감지하여 보고한 신호에 대한 평가는 각 시간대의 센싱값들의 차이를 연속으로 비교함으로써 가능하다.

다음 표는 음향, 초음파, 적외선 센서들이 감지하여 호스트에 보고한 값을 나타낸 것이다.

표 1. 센서로부터 보고된 실측값
Table 1. The measured by sensor mote

시간(s)	음향(dB)	거리1	거리2
1	22	60	-
2	23	55	-
3	30	47	-
4	34	40	-
5	39	31	-
6	42	23	-
7	43	20	-
8	41	23	-
9	37	30	-
10	32	35	-
11	27	42	-
12	23	57	-
13	24	56	-
14	30	50	-
15	41	43	-
16	46	37	-
17	53	24	-
18	42	27	-
19	40	31	-
20	36	40	-
21	31	48	-
22	27	56	-
23	23	61	-
24	29	55	-
25	37	47	-
26	49	31	-
27	58	14	14.3
28	71	9	9.4
29	93	5	4.7
30	109	3	2.1

입수된 신호를 변화율로 계산하고 각 센서들의 변화율을 평가하여 이동체가 접근하고 있는 정도를 나타내면 다음 그림 1과 같다.

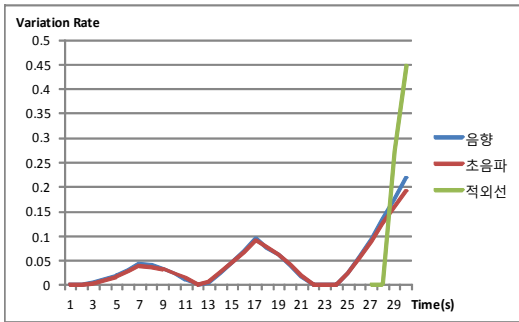


그림 1. 센서별 감지결과
Fig. 1 Results of calculation

각 센서별로 감지한 값을 기초로 시간변화에 따르는 변화율을 계산한 후 변화양상을 평가하여 접근하고 있는지 또는 멀어지고 있는지에 대한 연관관계를 0에서 1사이의 값으로 정규화 시킨 결과이다.

표 1.에서 나타나는 음향신호의 크기가 증가함에 대한 평가결과 그림 1.에서 보이는 바와 같이 접근으로 인한 위험도가 증가하고 있는 것으로 나타났다. 또한 초음파센서가 감지한 이동체와의 거리에 대한 평가에 의하여 역시 거리가 가까워지면서 위험도가 증가한다는 결과가 나타났으며 이동체가 근접하였을 때, 적외선센서가 감지하여 보고한 신호에 대하여서도 위험도를 표시하는 평가결과가 급격히 증가함을 나타내고 있다.

이와 같이 사전정보가 없는 상황에서 신호의 변화율을 평가하고 그 결과를 반영한 BPA를 결정하였을 때, 이동체의 접근과 그로 인한 위험도가 증가한다는 상황을 추론할 수 있음을 확인할 수 있었다.

IV. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 상황을 추론하기 위한 다중센서 데이터융합을 위해 BPA를 어떻게 결정할 것인지에 대하여 연구의 초점을 맞추었다. 센서가 보내는 신호 값만을 평가하고 이를 BPA에 반영하여 결정하는 방안을 제안하였다. 매우 위급한 상황이거나 사전정보를 확보하지 않은 경우에 센서로부터의 신호를 평가하여 상황추론에 반영하는 것이 필요한 것이다. 이를 위하여 신호의 증가양상에 따라 평가하는 방안을 제안하였다. 증가추세와 감소추세 그리고 증가와 감소가 혼

재하는 경향에 대해서 타당성 있는 평가를 하고 이러한 평가를 토대로 BPA를 결정하도록 하였다. 이렇게 결정된 BPA값을 가지고 다중센서 데이터융합을 실시했을 때 상황을 추론하고 위험을 식별하는 결과를 얻을 수 있었다. 추후연구과제로는 사전상황 모델링 방법과 결합하여 종합적인 상황인식 시스템으로 발전시켜 나가는 연구가 필요하다.

감사의 글

이 논문은 2013년 광운대학교 학술연구지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] 배성환, 임익현, "3G 네트워크 기반 광센서를 이용한 맥박측정시스템에 관한 연구", 한국전자통신학회논문지, 7권, 6호, pp. 1555-1560, 2012.
- [2] 송봉기, 유운식, "모델링 기법을 이용한 차량용 IPC 소프트웨어구조 설계 및 구현", 한국전자통신학회논문지, 7권, 6호, pp. 1567-1572, 2012.
- [3] 박중훈, "온톨로지 기반의 학과 교과과정 관리 시스템 설계", 한국전자통신학회논문지, 7권, 6호, pp. 1363-1368, 2012.
- [4] 정신출, 정희택, "해양 USN 환경에서 수질환경의 온라인 정상 비정상", 한국전자통신학회논문지, 7권, 4호, pp. 905-915, 2012.
- [5] 장태수, 권재현, 김용갑, 박준배 "유비쿼터스 센서 네트워크용 LED 가시광통신 송수신 모듈 및 효율 연구", 한국전자통신학회지, 7권, 6호, pp. 1513-1518, 2012.
- [6] T. Ali, and P. Dutta, "Methods to Obtain Basic Probability Assignment in Evidence Theory", International Journal of Computer Applications, Vol. 38, No.4, 2012.
- [7] W. Jiang, "A New Method to Determine BPA in Evidence Theory", Journal of Computers, Vol. 6, No. 6, 2011.
- [8] Z. Zuo, Y. Xu, and G. Chen, "A New Method of Obtaining BPA and Application to the Bearing Fault Diagnosis of Wind Turbine", Proceedings of the 2009 International Symposium on Information Processing(ISIP'09), 2009.
- [9] A. O. Boudraa, A. Bentabet, F. Salzenstein,

and L. Guillon, "Dempster-Shafer's Basic Probability Assignment Based on Fuzzy Membership Functions", Electronic Letters on Computer Vision and Image Analysis, Vol. 4, No. 1, 2004.

저자 소개



서동혁(Dong-Hyok Suh)

1989년 단국대학교 전자공학과 졸업
(공학사)

2005년 호서대학교 대학원 컴퓨터공
학과 졸업(공학석사)

2012년 충북대학교 대학원 컴퓨터과학과 졸업(공학박사)

2005년 나사렛대학교 정보통신학과 겸임교수

2008년~현재 극동대학교 멀티미디어과 겸임교수

※ 관심분야 : USN데이터처리, 데이터베이스



박찬봉(Chan-Bong Park)

1996년 한국방송통신대학교 전자계산
학과(공학사)

2001년 경희대학교 대학원 전자계산
학과 졸업(공학석사)

2012년 광운대학교 대학원 방위산업학과 (공학박사수료)

2006년 공군 중앙전산소

2007년~현재 방위사업청 지휘정찰사업부

※ 관심분야 : USN데이터처리, 데이터베이스