http://dx.doi.org/10.14400/JDC.2015.13.7.207

사물 인터넷 환경에서 Radical Line을 이용한 센서 노드간의 지역화방법

신봉희*, 전혜경**
인천대학교 컴퓨터공학부*, 인하대학교 컴퓨터정보공학과**

The Method of Localization using Radical Line among Sensor Nodes under the Internet Of Things

Bong-Hi, Shin*, Hye-Kyoung, Jeon**
Dept. of Computer Science & Engineering, Incheon National Univ.*
Dept. of Computer Science & Information Technology, Inha Univ.**

요 약 사물 인터넷을 구성하는 센서 네트워크는 주변 환경의 여러 정보들을 효율적으로 수집하여 앵커 노드로 보내기 위해서 최적의 경로를 선택하여 센서 간의 통신비용 및 수명 연장을 위해 많은 연구가 필요하다. 센서 네트워크에서 센서노드는 저전력, 저용량을 갖는 확장 장치이다. 이들 노드들 간의 데이터 전송을 위한 라우팅 방법을 위해 인접한 지역에 있는 앵커와 노드간의 연결은 적은 오류로 비교적 정확해야 한다. 이러한 지역화를 위한 기존의 방법 중 CA(Centroid Algorithm)는 자주 사용하는 방법이기는 하지만 오류가 자주 일어난다. 본 논문에서는 이러한 오류 발생의 문제점을 최소화하기 위해 Radical Line을 기반으로 한 센서 노드 간에 range-free 지역화 방법을 제안한다.

주제어 : 사물인터넷, Radical Line, 센서노드, 지역화, 융복합

Abstract The sensor network that is component of the Internet of Things require a lot of research to select the best route to send information to the anchor node, to collect a number of environment and cost efficient for communication between the sensor life. On the sensor network in one of the components of IOT's environment, sensor nodes are an extension device with low power low capacity. For routing method for data transmission between the sensor nodes, the connection between the anchor and the node must be accurate with in adjacent areas relatively. Localization CA (Centroid Algorithm) is often used although an error frequently occurs. In this paper, we propose a range-free localization method between sensor nodes based on the Radical Line in order to solve this problem.

Key Words : Internet of Things, Radical Line, Sensor Node, Localization, Convergence

1. 서론

본 연구는 사물 인터넷 기반의 다양한 스마트 환경을 위한 맞춤형 서비스를 제공하기 위해서 각각의 센서 노드의 지역화(Localization)에 대한 정밀도 향상 기법을 연구하고자 한다. 미국의 시장조사기관인 가트너는 인터넷

* 본 논문은 인천대학교 2014년도 자체연구비 지원에 의하여 연구되었음
Received 3 May 2015, Revised 22 June 2015
Accepted 20 July 2015
Corresponding Author: Hye-Kyoung Jeon(In ha University)
Email: jhk7010@nate.com

ISSN: 1738-1916

© The Society of Digital Policy & Management. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

산업의 지속적 성장으로 2020년에 인터넷 인구는 50억 명, 1,000억 대의 인터넷 접속기기가 인터넷에 연결될 것으로 전망하였다. 이처럼 사물통신 시장은 빠르게 성장할 것으로 기대되고 있으며, 다양한 분야에서 활용가능성이 높아지면서 차세대 주력사업으로 주목되고 있다[1]. 사물 인터넷을 구성하는 센서 네트워크는 주변 환경의 여러 정보들을 효율적으로 수집하여 앵커 노드로 보내기 위해서 최적의 경로를 선택하여 센서 간의 통신 비용 및 수명 연장을 위해 많은 연구가 필요하다. 센서 네트워크는 전통적으로 서로 통신을 하는 앵커와 센서로 구성된다. 앵커는 자신의 위치 좌표와 명령어들을 센서에게 브로드캐스트한다. 센서는 앵커로 보낼 자신의 위치를 결정할 필요가 있다. 위치 결정은 TOA(Time-Of-Arrival), TDOA(Time-Diffrence-Of-Arrival), AOAM(Angle-Of-Arrival)등의 측정법을 사용한다[2,3].

일반노드와 앵커노드 간 거리 측정 방법에 따라 무선 센서네트워크 위치측위 기술은 Range-based 기법과 Range-free 기법으로 나뉜다. Range-based 기법은 일반노드가 앵커노드로부터 수신하는 신호의 세기, 지연시간, 지연시간차, 또는 입사각 측정을 통해 얻은 거리정보를 위치추정에 이용하며[4,5,6,7], Range-free 기법은 네트워크 내 노드 간 연결정보(connectivity)에 기반을 두어 일반노드의 위치를 추정한다[8,9,10,11].

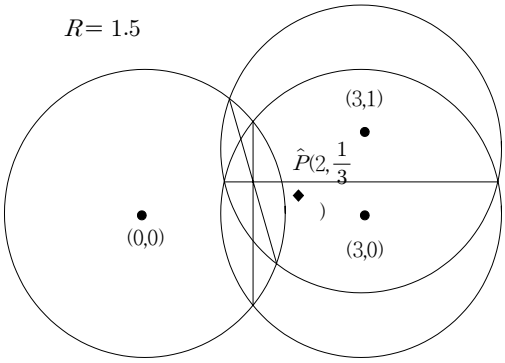
일반적으로 센서는 연산 시 제한된 자원을 갖는 저비용, 저전력, 확장 가능한 장치이기 때문에, 센서 네트워크의 구성요소를 운영하기 위한 개별 센서 노드의 지역화는 반드시 선행되어야 한다[12]. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 센서 네트워크를 위한 Radical Line을 기반으로 한 Range-free(RF) 지역화 방법에 대해서 연구한다.

2. 연구배경

RF 지역화에서 센서는 자신의 알려지지 않은 위치 $P=[x,y]^T$를 결정한다. 이 때 위치 $a_i=[x_i,y_i]^T$로 알려진 앵커 a_i와 연결된 N을 이용하고 Radio 범위 $R_i, i=1,...,N$ 를 갖는다. 센서 위치는 아래 수식을 만족한다.

$$\|P-a_i\|^{1/2} = [(x-x^i)^2+(y-y_i)^2]^{1/2} \le R_i, i=1,2,....,N \quad (1)$$

수식 (1)은 비선형적이기 때문에 여러 개의 해가 존재할 수 있다.



[Fig. 1] A Solution of CA and proposed method

Centroid Algorithm[13]을 통해 간단한 추정치 $\hat{P}=[\hat{x},\hat{y}]^T$를 얻을 수 있고 $\hat{x}$와 $\hat{y}$은 아래와 같다.

$$\hat{x}=\frac{\sum_{i=1}^{N} x_i}{N}\ ,\ \hat{y}=\frac{\sum_{i=1}^{N} y_i}{N} \quad (2)$$

정의된 반경 R를 갖는 a_i를 중심으로 하는 원의 교차지역(RI-Region of Intersections)밖에 $\hat{P}$가 있을 수도 있다. [Fig. 1]을 보면 $\hat{P}$는 세 원의 RI 밖에 있다.

이러한 문제점을 보완하기 위해 본 논문에서는 새로운 RF 방법을 제안한다.

두 원의 교차점을 연결한 선을 Radical Line이라고 한다. [Fig. 1]서 RI는 두 원의 의 세그먼트를 포함하고, 세 개의 RL은 RI내의 한 점에서 만난다. [14]에서는 중점이 동일선상에 있지 않은 세 RL원에 대해서 세 RI은 항상 한 점에서 교차한다는 것을 증명한다. 이 교차점이 밖에 있을 수도 있지만 대부분의 경우는 RI안에 있다.

3. 제안방법

무선 센서네트워크에서 센서는 앵커로부터 수신된 비콘 신호에 따라 앵커 노드가 전송 범위 내에 있는지를 결

정한다. 범위에 자유로운 지역화를 다룬 대부분의 논문에서는 R를 가정한다. 즉 앵커는 자신으로부터 R 미터 범위 내에 있는 센서와 통신할 수 있다. 그러나 실제 실험을 해보면 전파 조건에 좌우된다. 적용 범위 내에서 변화량의 측정은 불규칙의 정도(DOI - Degree Of Irregularity)이다. DOI는 Radio 전파 방향에 따라 변화하는 장치 당 최대 범위 변화량을 나타낸다. [15]에서는 앵커와 센서의 성공적인 연결에 요구되는 조건을 보였다. a_i로부터 센서에 전송된 전력량을 $W(a_i)$로 하고 Q는 확인되지 않은 노이즈의 양으로 하고 S는 무선 센서 네트워크에서 추론된 전력량이다.

$$\frac{W(a_i)}{Q+S} \geq TH \tag{3}$$

위 수식에서 TH 는 하드웨어에 의존하는 임계치이다.

센서 P가 알려지지 않은 위치 $P=[x,y]^T$ 에 있다고 하면 그 센서의 위치는 알려진 위치 $a_i=[x_i,y_i]^T$를 갖는 N개의 앵커 a_i와 연결되어 있고 Radio 범위 R_i를 갖는다. 그러므로 센서 P는 반드시 N개의 원의 RI 내에 있게 된다. N에 따라서 고려해야 할 사항들이 몇 가지 있다.

2.1 $N \rangle 3$

N개의 원에는 $\frac{N!}{2!(N-2)!}$개의 RL이 있다. 연산량을 줄이기 위해서, 제안방법은 N개의 원 사이의 거리 중 가장 큰 거리에 있는 중심을 갖는 두 원의 RL만을 선택한다. 이유는 그 두 원의 RL이 가장 작기 때문에 RL은 모든 N개의 원들의 RI에 있을 확률이 높기 때문이다.

$$d_{ij}= \| a_i-a_j \|^{1/2}= d_{ji},\ i,j=1,.....,N \tag{4}$$

a_i와 a_j의 중점 사이의 거리를 $d_{ij}=d_{ji}$ 로 둔다. d_{qk}는 수식 (4)의 최대값이다. 간단하게 하기 위해, $q=1$, $k=2$ 로 한다. [Fig. 2]에서 보는 것처럼, RL의 끝점은 $I_a=[x_a,y_a]^T$, $I_b=[x_b,y_b]^T$ 로 하고, $O=[x_o,y_o]^T$ 는 RL과 a_1과 a_2를 연결하는 선 사이의 교차점이다. O와 a_1, a_2사이의 거리는 아래 식으로 구할 수 있다.

$$d_{o1}= \| O-a_1 \|^{1/2}=[(x_o-x_1)+(y_o-y_1)]^{1/2} \tag{5}$$

$$d_{o2}= \| O-a_2 \|^{1/2}=[(x_o-x_2)+(y_o-y_2)]^{1/2} \tag{6}$$

반경 R은 아래 수식을 통해 구할 수 있다.

$$d_{o1}^2+m^2=R_1^2 \tag{7}$$

$$d_{o2}^2+m^2=R_2^2 \tag{8}$$

수식 (7)에서(8)을 빼면 아래와 같은 수식을 얻을 수 있다.

$$2(x_2-x_1)x_o+2(y_2-y_1)y_o = R_1^2-R_2^2+k_2-k_1 \tag{9}$$

여기서

$$k_i=x_i^2+y_i^2 \tag{10}$$

이 된다.

O와 a_1의 기울기와 a_1과 a_2 사이 선의 기울기는 같다. 그러므로 아래의 식을 산출할 수 있다.

$$\frac{y_2-y_0}{x_2-x_0}=\frac{y_2-y_1}{x_2-x_1} \tag{11}$$

또한 이 식은 아래와 같은 전개를 만들 수 있다.

$$(y_2-y_1)x_0-(x_2-x_1)y_0 = x_2(y_2-y_1)-y_2(x_2-x_1) \tag{12}$$

(9)식과 (12)의 수식을 이용해 $O(x_0,y_0)$를 구한다. $d_{12}=D$ 치환하여 아래 식으로 정리해 보면

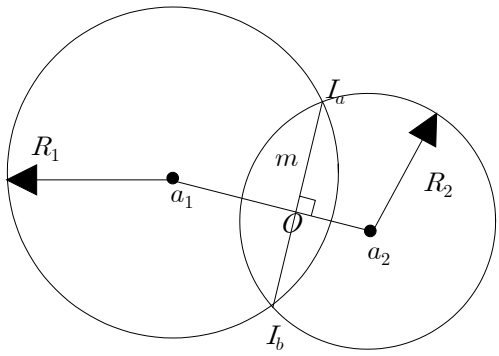
$$R^2-d_{o1}^2=m^2=R^2-(D-d_{o1})^2 \tag{13}$$

$$d_{o1}=\frac{R_1^2-R_2^2+D^2}{2D} \tag{14}$$

을 얻을 수 있고, 여기서

$$m = \sqrt{(R_1^2 - d_{o1}^2)} \tag{15}$$

를 얻을 수 있다.



[Fig. 2] The representation of coordinates associated with the RL

[Fig. 2]는

$$\frac{x_o - x_a}{m} = \frac{y_o - y_1}{d_{o1}} \tag{16}$$

와

$$\frac{y_o - y_a}{m} = \frac{x_o - x_1}{d_{o1}} \tag{17}$$

같은 삼각관계식을 내포하고 있다.

수식 (16)과 수식 (17)로부터 I_a를 위한 좌표를 아래와 같이 구할 수 있다.

$$x_a = x_o - \frac{m}{d_{o1}}(y_o - y_1) \tag{18}$$

$$y_a = y_o - \frac{m}{d_{o1}}(x_o - x_1) \tag{19}$$

I_b를 위한 좌표도 이와 같이 구할 수 있다.

$$x_b = x_o - \frac{m}{d_{o1}}(y_o - y_1) \tag{20}$$

$$y_b = y_o - \frac{m}{d_{o1}}(x_o - x_1) \tag{21}$$

다음으로, 제안방법은 RL상에 있는 테스트 포인트노드 $t_l = [x_l, y_l]^T, l = 1, ..., L$ 를 갖는 L을 선택한다. I_a와 I_b 사이에 일정한 증가를 통해 다음의 식을 얻는다.

$$x_l = x_a + \frac{l(x_b - x_a)}{L+1} \tag{22}$$

$$y_l = y_a + \frac{l(y_b - y_a)}{L+1} \tag{23}$$

L은 사용자 파라미터이다. 각 t_l에 있어 제안방법은 t_l이 RI내에 있는지와 RI로부터 얼마나 떨어졌는지를 에러를 계산하여 검사한다.

$$\epsilon_{li} = \tag{24}$$
$$\| t_l - a_i \|^{1/2} - R_i = \begin{cases} \epsilon_{li} & \text{if } \epsilon_{li} > 0 \\ 0 & \text{if } \epsilon_{li} \le 0 \end{cases}$$

그런 다음 주어진 모든 a_i 상에 에러를 더한다.

$$S_l = \sum_{i=1}^{N} \epsilon_{li} \tag{25}$$

만약 $S_l = 0$ 이면, 대응하는 t_l은 RI 내에 있고 P에 대한 측정치가 된다. 만약 $S_l > 0$ 이면 RL은 N개 원의 RI 안에 없다. 그렇기 때문에 CA 에러를 계산할 필요가 있다.

$$S_c = \sum_{i=1}^{N} \epsilon_{ci} \tag{26}$$

ϵ_{ci}는 수식 (24)에서 도출된다. 또한 t_l을 대신해서 수식 (22)로부터 $c = [\hat{x}, \hat{y}]^T$ 를 갖는다. P에 대한 마지막 측정치 $\hat{P}$는 t_l 또는 c를 선택함으로써 생기는데 t_l과 c는 S_l과 S_c에 대응한다.

2.2 $N = 2$ 과 $N = 3$

$N = 2$ 일 때 $\hat{P}$은 $O(x_o, y_o)$와 같다. $N = 3$ 일 때 제안방법은 세 RL들의 교차점을 계산한다. 교차점을 $I = [x_I, y_I]^T$ 라고 한다. [Fig. 2]를 세 개의 원으로 확장해서 $h^2 \le m^2$ 인 아래식의 결과를 만들어 낸다.

$$(x_I - x_i)^2 + (y_I - y_i)^2 + h^2 = R_i^2, \quad i = 1, 2, 3 \tag{27}$$

위 식에서 i들을 감산한 결과 아래의 식이 생긴다.

$$AI = b \tag{28}$$

이 때 A와 b는 다음과 같다.

$$A = \begin{bmatrix} x_2 - x_1 & y_2 - y_1 \\ x_3 - x_1 & y_3 - y_1 \end{bmatrix} \tag{29}$$

$$b = \frac{1}{2}\begin{bmatrix} k_2 - k_1 + R_1^2 - R_2^2 \\ k_3 - k_1 + R_1^2 - R_3^2 \end{bmatrix} \tag{30}$$

수식 (28)은 아래처럼 바꿀 수 있다.

$$I = A^{-1}b \tag{31}$$

만약 $A = 0$ 라면 세 개의 원은 동일선상에 있다. 또 $\| I - a_i \|^{1/2} > R_i$ 라면 I는 RI의 밖에 있다. 이 두 가지 경우에 대해, 제안방법은 $\hat{P}$처럼 두 원의 중심을 취한다.

4. 결론

최근 등장한 사물인터넷은 여러 분야를 구성요소로 갖는다. 그 중에 하나인 센서 네트워크 환경의 노드들은 자신의 위치를 서로간에 통신하여 전달한다. 센서의 위치 결정 방법은 여러 방법이 있지만 저전력, 저용량의 특징은 갖는 센서 노드에서는 비교적 간단한 방법인 Range Free 방법이 유용하다. 본 논문에서는 Radical Line을 기반으로 한 센서 노드 간에 지역화 방법을 제안하였다. 향후 계획은 제안된 논문의 정확성과 타당성을 검증하기 위해 실험 및 분석을 할 계획이다.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by the Incheon National University Research Grant in 2014.

REFERENCES

[1] Wilhelm Rauss, “TiViT Interactive: Internet of Things Program Overview”, TiViT, 2012, 4.

[2] J. Luo, H. V. Shukla, and J.-P. Hubaux. “Non-interactive location surveying for sensor networks with mobility-differentiated toa. In INFOCOM”, 2006.

[3] M. Heidari, N. A. Alsindi and K. Pahlavan, “UDP Identification and Error Mitigation in ToA-based Indoor Localization Systems using Neural Network Architecture,” IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol.8 No.7, p.3597-3607, July 2009.

[4] A. S. Paul and E. A. Wan, “RSSI-based Indoor Localization and Tracking Using Sigma-Point Kalman Smoother,” IEEE J. Sel. Topics Signal Process., vol. 3, no. 5, pp. 860-873, Oct. 2009.

[5] S. D. Chitte, S. Dasgupta and Z. Ding, “Distance Estimation from Received Signal Strength under Log-Normal Shadowing: Bias and Variance,” IEEE Signal Process. Lett., vol. 16, no. 3, pp. 216-218, Mar. 2009.

[6] X. Li and K. Pahlavan, “Super-resolution TOA EStimation with Diversity for Indoor Geolocation,” IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 3, no. 1, pp. 224-234, Jan. 2004.

[7] Y. Shen and M. Z. Win, “On the Accuracy of Localization Systems Using Wideband Antenna Arrays,” IEEE Trans. Commun., vol. 58, no. 1, pp. 270-280, Jan. 2010.

[8] Q. Xiao, B. Xiao, J. Cao and J. Wang,“Multihop Range-free Localization in Anisotropic Wireless Sensor Networks: A Pattern-driven Scheme,” IEEE Trans. Mobile Comput., vol. 9, no. 11, pp. 1592-1607, Nov. 2010.

[9] B. Xiao, L. Chen, Q. Xiao and M. Li,“Reliable Anchor-based Sensor Localization in Irregular Areas,” IEEE Trans. Mobile Comput., vol. 9, no. 1, pp. 60-72, Jan. 2009.

[10] A. A. Kannan, B. Fidan and G. Mao, “Use of Flip Ambiguity Probabilities in Robust Sensor Network Localization,” Wirel. Netw.,vol. 7, no. 5, July 2011.

[11] M. Li and Y. Liu, “Rendered Path: Range-free Localization in Anisotropic Sensor Networks with

Holes,"IEEE/ACM Trans. Netw., vol. 18, no. 1, pp. 320-332, Feb. 2010.

[12] N. Bulusu, J. Heidemann, and D. Estrin. "Gps-less low cost outdoor localization for very small devices". IEEE Personal Comm. Magazine, 7(5):28 - 34, 2000.

[13] P. Biswas, T.-C. Lian, T.-C.Wang, and Y. Ye. "Semidefinite programming based algorithms for sensor network localization". TOSN, 2(2):188.220, 2006.

[14] S. Biswas and R. Morris. "ExOR: opportunistic multi-hop routing for wireless networks". SIGCOMM Comput. Commun. Rev., 35(4):133 - 144, 2005.

[15] T. Moscibroda, R. Wattenhofer, and A. Zollinger. "Topology control meets sinr: The scheduling complexity of arbitrary topologies". In MobiHoc, pages 310.321, 2006.

신 봉 희(Shin, Bong Hi)

- 1977년 2월 : 인하대학교 전자공학과 공학사
- 1981년 2월 : 인하대학교 전자공학과 공학석사
- 1995년 2월 : 단국대학교 전자공학과 공학박사
- 2010년 2월 ~ 현재 인천대학교 컴퓨터공학부 교수
- 마이크로프로세서, 임베디드시스템 등
- E-Mail : bhshin@incheon.ac.kr

전 혜 경(Jeon, Hye Kyoung)

- 1995년 2월 : 인하대학교 일문과(문학사)
- 1999년 8월 : 인하대학교 정보공학과(공학석사)
- 2002년 9월 ~ 2005년 8월 : 인하대학교 컴퓨터정보학과 박사수료
- 2009년 4월 ~ 2015년 2월 : 이스트림 선임연구원
- 관심분야 : 상황인식, 센서 네트워크, 유비쿼터스, 사물인터넷
- E-Mail : jhk7010@nate.com