

IEEE 802.11 RSSI 기반 무인비행로봇 실내측위를 위한 AP 선택 기법

AP Selection Criteria for UAV High-precision Indoor Positioning based on IEEE 802.11 RSSI Measurement

황준규, 박준구*
(Jun Gyu Hwang¹ and Joon Goo Park^{2,*})

¹Department of Mobile Communication, Kyungpook National University

²Kyungpook National University, School of Electronics Engineering

Abstract: As required performance of UAV (Unmanned Aerial Vehicle) becomes more complex and complicated, required positioning accuracy is becoming more and more higher. GPS is a reliable world wide positioning providing system. Therefore, UAV generally acquires position information from GPS. But when GPS is not available such as too weak signal or too less GPS satellites environments, UAV needs alternative positioning system such as network positioning system. RSSI (Received Signal Strength Indicator) based positioning, which is one method of network positioning technologies, determines its position using RSSI measurements containing distance information from AP (Access Point)s. In that method, a selected AP's configuration has strong and tight relationship with its positioning errors. In this paper, for, we additionally account AP's configuration information by adopting DOP (Dilution of Precision) into AP selection procedures and provide more accurate RSSI based positioning results.

Keywords: indoor positioning, DOP, RSSI

I. 서론

최근 통신 및 센서 기술의 발달로 자율 무인시스템에 대한 관심이 증가하고 있으며 국내외에서 다양한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 특히 무인비행로봇(UAV: Unmanned Aerial Vehicle)은 운송, 정찰 및 다양한 업무를 수행할 수 있어 각광을 받고 있다. 무인비행로봇을 활용함에 있어 기체의 위치를 찾는 측위기술(Positioning Technology)은 비행로봇 항법시스템에 필요한 핵심기술이다. 측위기술은 크게 실외측위와 실내측위로 나뉜다. 실외측위에서는 GPS가 안정적으로 사용되고 있다. 하지만 GPS 신호가 도달하지 못하는 실내에서는 IEEE 802.11 WLAN의 부가정보를 이용한 측위방법에 대한 연구가 활발하다.

기존 IEEE 802.11 WLAN의 RSSI 기반 실내측위에서는 3개의 AP를 선택하는데 이는 측위시 오차가 적게 섞인 AP를 선택함으로써 위치정확도를 높이려는 의도다. 하지만 단순히 RSSI 정보만을 이용하여 측위 AP를 결정함으로써 AP 위치에 따라 측위오차가 증가하는 경우가 생긴다. 본 논문에서는 측위오차를 최소화하기 위하여 RSSI와 AP간의 상대위치정보를 반영한 DOP을 사용하여 측위에 적합한 AP를

선택한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II 장에서는 DOP과 RSSI의 일반적인 특성을 설명한다. III 장에서는 RSSI와 DOP을 고려한 AP 구성 결정 기준을 제시한다. 그리고 IV 장에서는 실험결과를 분석하고, V 장에서 결론을 맺는다.

II. DOP와 RSSI의 특성

1. DOP

DOP (Dilution of Precision)는 위성위치추정에서 주로 사용되는 개념이다. DOP는 다음과 같이 주어진다.

$$\text{표준편차(위치)} = DOP \cdot \text{표준편차(입력)} \quad (1)$$

SD (Standard Deviation)는 입력위치의 표준편차와 DOP의 곱으로 나타낸다. GPS 위성과 같이 실내측위시 여러 개의 AP들을 사용하므로 다차원방정식의 해를 구해야한다. 그리고 DOP은 감지되지 않은 신호에 영향을 받지 않는다. 오직 수신기 위치와 AP의 상대위치에만 영향을 받는다. AP위치는 미리 알 수 있으며 수신기 위치 또한 알 수 있다. DOP은 아래와 같은 구성요소로 나뉘어진다.

VDOP : Vertical DOP

HDOP : Horizontal DOP

PDOP : Positional DOP

TDOP : Time DOP

GDOP : Geometric DOP

* Corresponding Author

Manuscript received August 30, 2014 / revised September 15, 2014 / accepted September 22, 2014

황준규: 경북대학교 모바일통신공학과(cjstk891015@naver.com)

박준구: 경북대학교 전자공학과(jgpark@knu.ac.kr)

※ 본 연구는 2012학년도 경북대학교 연구년 교수연구비 사업의 일환으로 수행되었음.

표 1. DOP 등급.

Table 1. DOP Level.

DOP value	Rating
1	Ideal
1~2	Excellent
2~5	Good
5~10	Moderate
10~20	Fair
>20	Poor

이중에서 PDOP가 가장 많이 쓰인다. 위치오차는 거리측정 오차와 PDOP의 곱으로 나타난다.

$$Positioning\ error = Distance\ error \cdot PDOP \quad (2)$$

즉, PDOP가 작을수록 작은 위치오차를 가지고 PDOP가 클수록 큰 위치오차를 가진다. 그리고 통상적인 DOP의 퍼포먼스에 따라 위의 표와 같이 등급이 나누어져 있다.

1.1 DOP 값 계산

DOP 값 계산을 위해서 먼저 i번째 위성으로부터 수신되는 단위벡터를 고려해야한다.

$$\left(\frac{x_i - x}{R_i}, \frac{y_i - y}{R_i}, \frac{z_i - z}{R_i} \right) \quad (3)$$

$$R_i = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2}$$

x, y, z: 수신기 위치

x_i, y_i, z_i: 위성 위치

식 (3)의 단위벡터를 행렬형태로 정리한다.

$$A = \begin{bmatrix} \frac{x_1 - x}{R_1} & \frac{y_1 - y}{R_1} & \frac{z_1 - z}{R_1} & -1 \\ \frac{x_2 - x}{R_2} & \frac{y_2 - y}{R_2} & \frac{z_2 - z}{R_2} & -1 \\ \frac{x_3 - x}{R_3} & \frac{y_3 - y}{R_3} & \frac{z_3 - z}{R_3} & -1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

행렬 A의 1에서 3열까지는 수신기로부터 각각의 위성까지의 단위벡터원소이다. 넷째 행은 네 번째 위성을 고려하였을 때 원소이다. 하지만 실내측위시 사용하는 AP의 개수가 3개이므로 넷째 AP는 무한히 멀리 떨어진 곳에 위치하고 있다고 가정한다. 그러면 각축(x,y,z)의 위치차이와 거리가 근사되므로 넷째 행 원소가 1이된다.

행렬 A를 변환하여 행렬 Q를 계산한다.

$$Q = (A^T A)^{-1} = \begin{bmatrix} d_x^2 & d_{xy}^2 & d_{xz}^2 & d_{xt}^2 \\ d_{xy}^2 & d_y^2 & d_{yz}^2 & d_{yt}^2 \\ d_{xz}^2 & d_{yz}^2 & d_z^2 & d_{zt}^2 \\ d_{xt}^2 & d_{yt}^2 & d_{zt}^2 & d_t^2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

이제 행렬 Q의 원소를이용하여 DOP를 계산하게 된다.

$$PDOP = \sqrt{d_x^2 + d_y^2 + d_z^2} \quad (6)$$

$$TDOP = \sqrt{d_t^2} \quad (7)$$

$$GDOP = \sqrt{PDOP^2 + TDOP^2} \quad (8)$$

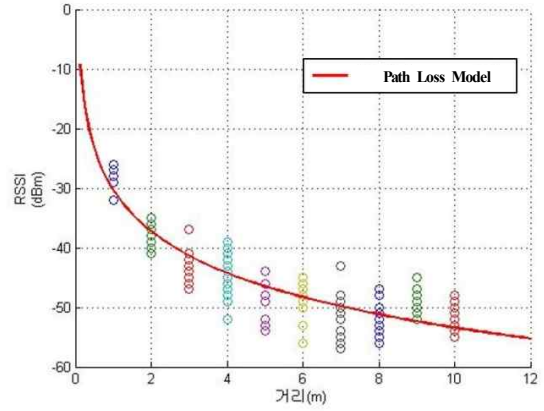


그림 1. 수신신호세기 감쇠특성.

Fig. 1. Characteristics of RSSI Attenuation.

실내측위는 시간정보를 활용하지 않으므로 식 (6)의 PDOP를 DOP값으로 활용하게 된다.

2. RSSI

RSSI (Received Signal Strength Indicator)은 송수신전력의 비로 정의되며, 수신되는 신호의 강도를 반영하는 값을 dBm단위로 표현한다. RSSI는 거리에 따라 지수적으로 감소하는 특성을 가지고 있다. 이와 같은 감쇠특성을 바탕으로 수신신호세기를 거리기반의 측위방식에 적용하기 위해서 수학적인 모델링과정을 거치게 된다. 본 논문에서는 식 (9)를 사용하였다.

$$RSSI[dBm] = -10n \log_{10} d + A \quad (9)$$

$$distance [m] = 10^{\frac{RSSI - A}{-10n}} \quad (10)$$

식 (9)에서 n은 신호감쇠상수로서 환경에 따라 감쇠되는 수신신호세기의 특성을 반영한 값이고, n은 신호원에서의 거리이다. A는 offset 값으로 1m 지점에서 측정된 RSSI 값이다.

하지만 그림 1에서 확인할 수 있듯이, 실제 수신되는 신호세기는 다양한 오차요인에 의해 설정된 로그감쇠모델과는 차이를 가진다. 이러한 오차는 실제 측위시 측위오차를 발생시키는 주요한 요인이 된다.

III. AP 선택을 위한 기준

1. DOP, RSSI와 측위오차 간의 상관관계 분석

먼저 RSSI와 DOP이 각각 오차와 어떤 관계를 가지는지 파악해야한다. 앞에서 보았듯이 RSSI는 측정된 신호세기의 값이 클수록 측위정확도가 증가하고, DOP은 그 값이 작을수록 측위정확도가 증가한다. 이상적으로 RSSI가 크고 DOP값이 작은 AP조합을 선택하는 것이 높은 측위정확도를 얻을 수 있겠으나 이 두 조건을 모두 만족시키기는 어려우므로 RSSI와 DOP의 특성에 따른 AP 조합 선택함수를 만들기 위해 RSSI와 DOP이 오차와 어떤 관계가 있는지 파악한다.

DOP은 앞서 본 표 1과 같이 등급이 나누어져 있는데 연속적인 값이 아니면 선택함수를 적용하는데 어려움이 있으

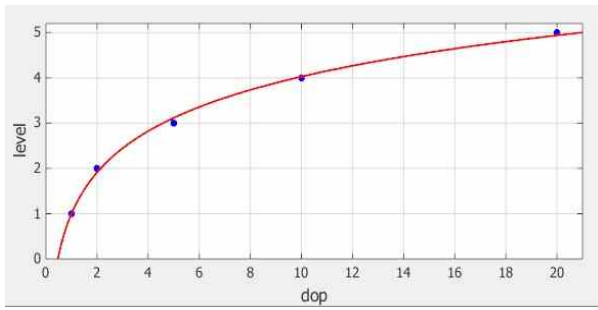


그림 2. DOP와 DOP 등급의 상관관계.

Fig. 2. Relationship between DOP and DOP Level.

므로 식 (11)과 같이 DOP 등급을 정의하였다 그림 3은 DOP와 DOP 등급의 상관관계를 보여준다.

$$DOP\text{등급} = 1 + \ln DOP \quad (11)$$

RSSI는 그림 1에서 보듯이 거리마다 일정하게 노이즈가 발생하지만 거리가 멀수록 오차범위가 커짐을 볼 수 있다. 1m에서는 오차범위가 인데 반해 10m에서의 오차범위는 10배 증가한다. 즉, RSSI 값이 작아질수록 거리 오차범위가 증가함을 볼 수 있다.

2. DOP, RSSI를 고려한 선택함수

WLAN 측위알고리즘에 의하면 RSSI의 크기만 고려하여 큰 순서대로 AP를 선택하여 사용하게 되는데 그림 3과 같이 A의 경우보다 B의 경우가 측위정확도가 더 높게나오는 경우가 발생한다.

이는 3번과 4번 AP의 RSSI차가 그리 크지 않고 4번 AP의 배치상태가 3번 AP의 배치상태보다 더 좋을 경우 즉, DOP가 더 작을 경우에 이런 결과가 나타난다. 다시 말해 RSSI 값과 DOP를 고려하여 AP 조합을 선택한다면 더 좋은 측위결과를 얻을 수 있다.

AP 구성 선택 함수

$$f = \frac{1}{|RSSI_1 + RSSI_2 + RSSI_n| \sqrt{var}} \times \frac{1}{1 + \ln DOP_{1,2,n}} \quad (12)$$

RSSI n : n번 AP의 RSSI

Var : 1, 2, n번 AP의 RSSI 분산

DOP_{1,2,n} : 1, 2, n번 AP를 포함한 DOP

식 (12)에서는 나온 f는 3개의 AP를 선택하였을 때 이 구성이 줄 수 있는 측위 신뢰도를 말해준다. 이 선택함수는 크게 RSSI 파트와 DOP파트 이 두 가지로 나뉜다.

먼저 RSSI 파트는 RSSI 값이 클수록 좋은 지표의 값을 나오게 된다. RSSI 값은 음수로 측정되므로 RSSI 값이 클수록 그 절대값은 작게 나온다. 또 RSSI 값들의 합으로 나타내져 있으므로 같은 RSSI합이 나올 수 있다. 그래서 RSSI값들의 표준편차로 나누어서 RSSI 편차가 골고루 나오는 AP 조합을 선택하게 만들었다.

DOP파트는 식 (11)에서 결정한 DOP level의 역수를 사용하여 DOP 값이 작을수록 높은 값이 나오도록 만들었다. 측위 정확도는 RSSI 값이 클수록 DOP 값이 작을수록 높아

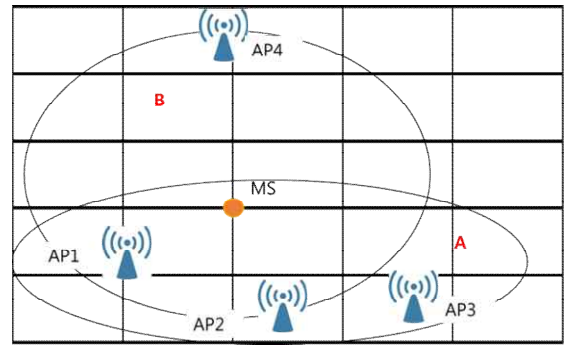


그림 3. DOP을 고려한 AP 선택.

Fig. 3. AP Selection considering DOP.

표 2. RSSI 차를 고려한 DOP 선택지표.

Table 2. DOP Selection Index considering RSSI Difference.

DOP A	DOP B	RSSI 차이 (dBm)
Good	Excellent	3
Moderate	Excellent	5
	Good	2
Fair	Excellent	-
	Good	5
	Moderate	3

지므로 이 선택함수를 AP 구성에 적용하면 측위 신뢰도를 높일 수 있다.

3. RSSI 차를 고려한 DOP 선택지표

실험환경[12]에서 앞서 적용한 선택함수를 적용한 후 AP를 구성하여 측위를 하였을 때 실제로 측위정확도가 떨어지는 구간이 있었다. 그 결과를 정리하면 표 2와 같다.

표 2는 선택함수가 더 크더라도 RSSI 값의 차가 일정 이상이 되면 선택함수가 무효화되는 값을 나타낸다. 예를 들어 어떤 AP 구성 A의 DOP가 Good level이고 다른 AP 구성 B의 DOP가 Excellent에 있을 때 각각의 AP 구성의 선택함수의 값이 구성 B가 더 큰 상태에서, 구성 A가 구성 B보다 RSSI 값이 3dBm 더 크다면 구성 A로 측위하는 것이 더 정확하다는 것을 보여준다.

선택함수가 더 크고 DOP가 좋더라도 RSSI 절대값 차이가 표와 같이 어느 이상 넘어가면 선택함수보다 RSSI가 유효함을 보여준다.

IV. 시뮬레이션 및 결과 분석

1. 시뮬레이션 설정

시뮬레이션 환경은 [12]를 기반으로 만들었으며 가상의 공간은 실내환경으로 14m x 14m의 평면공간에서 MS가 (7m, 7m)에 존재하며 AP들은 6개가 랜덤하게 생성되도록 만들었다. 거리감쇠모델은 신호감쇠상수 n을 2.69, 1m에서 수신되는 오프셋(offset) 값은 -26dBm으로 설정하였다. 그리고 RSSI값에 -2dBm의 가우시안 노이즈가 발생한다고 가정하였다.

2. 시뮬레이션 결과

그림 5는 측위오차를 CDF (Cumulative Density Function)로 나타낸 것으로 기존 RSSI가 가장 센 것을 측위 AP로

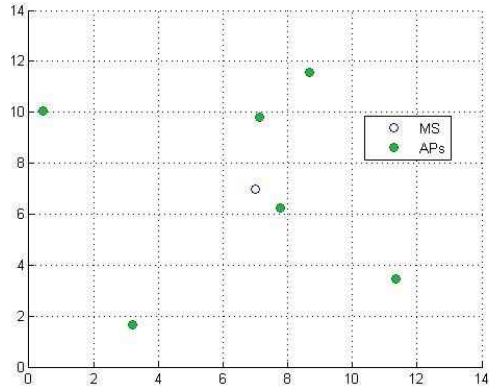


그림 4. 시뮬레이션 환경.

Fig. 4. Simulation environment.

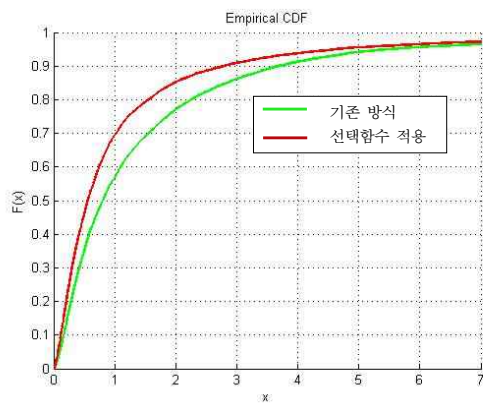


그림 5. 선택함수를 고려한 측위방법 향상 (CDF).

Fig. 5. Positioning result of considering Selection Function (CDF).

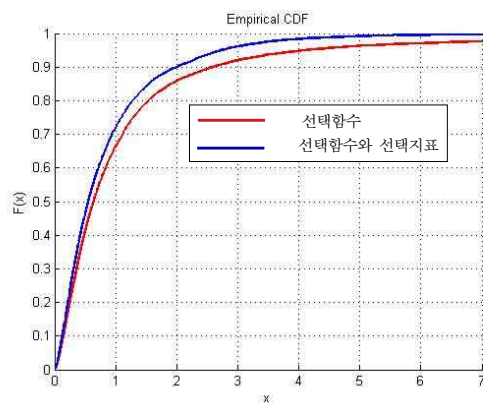


그림 6. 선택지표를 적용한 측위방법 향상 (CDF).

Fig. 6. Positioning result of applying Selection Index (CDF).

선택하였을 때는 샘플의 90%가 3.6m 이내의 측위오차를 가짐을 확인 할 수 있다. 그리고 선택함수를 적용하였을 때는 샘플의 90%가 2.8m 이내의 측위오차를 가진다는 것을 알 수 있다. 그림 6은 선택지표까지 적용한 성능을 나타낸다. 선택함수와 RSSI 차를 고려한 DOP 선택지표를 같이 고려하면 샘플의 90%가 2m 이내의 측위오차를 가짐을 확

표 3. 시뮬레이션 결과.

Table 3. Result of Simulation.

	기존방식	선택함수 적용	선택함수 + 선택지표
평균 측위오차 [m]	2.23	1.79	1.3
오차 향상률	-	19.7 %	41.7 %
최적 AP 구성률	61 %	78 %	85 %

인 할 수 있다.

표 3은 기존방식과 선택함수, 선택지표를 적용한 측위방법에서의 평균오차와 오차 향상률, 최적 AP 구성률을 나타낸다. 평균오차는 측위오차를 평균한 값이며 오차 향상률은 기존 방식에 비해 향상된 오차율을 나타낸다. 마지막으로 최적 AP 구성률은 AP 후보군 중에 측위시 가장 좋은 AP 구성을 선택할 확률을 나타낸다.

V. 결론

본 논문에서는 무선랜 환경에서 주어지는 RSSI 측정치와 위성 측위에서 사용되는 DOP 개념을 활용하여 측위를 하였다. 그리고 측위에 사용되는 AP의 배치상태와 RSSI 값을 통합적으로 다룰 수 있는 선택함수, 선택지표를 도입하여 평균측위오차는 1.3m까지 줄였으며 최적 AP 구성률을 61%에서 85%까지 끌어올렸다. 향후 비행체의 움직임을 고려한 알고리즘을 실제 비행체에 적용하여 검증 및 최적화 등을 추가 진행할 예정이다.

REFERENCES

- [1] A. Nafarieh and J. Ilow, "A testbed for localizing wireless LAN devices using received signal strength," *IEEE CNSRC*, pp. 481-487, 2008.
- [2] E.-J. Zhong and T.-Z. Huang, "Geometric dilution of precision in navigation computation," *IEEE MLC*, pp. 4116-4119, 2006.
- [3] G. Lachapelle, "GNSS indoor location technologies," *Journal of Global Positioning Systems*, vol. 3, no. 1-2, pp. 2-11, 2004.
- [4] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, "An in-building RF-based user location and tracking system," *INFOCOM*, vol. 2, pp. 775-784, 2000.
- [5] C.-B. Lim, S.-H. Kang, H.-H. Cho, S.-W. Park, and J.-G. Park, "An enhanced indoor localization algorithm based on IEEE 802.11 WLAN using rssi and multiple parameters," *ICSNC*, pp. 238-242, 2010.
- [6] R. Want, A. Hopper, V. Falcao, and J. Gibbons, "The active badge location system," *ACM Transactions on Information Systems*, vol. 10 pp. 91-102, 1992.
- [7] B. B. Parodi, H. Lenz, A. Szabo, H. Wang, J. Horn, J. Bamberger, and J. Obradovic, "Initialization and on-line-learning of RSS maps for indoor/campus local-

- ization,” *IEEE/ION PLANS 2006*, San Diego, USA, pp. 164-172, 2006.
- [8] M. Vossiek, L. Wiebking, P. Gulden, J. Wieghardt, and C. Hoffmann, “Wireless local positioning-concepts, solutions, application,” *IEEE MicrowaveMagazine*, vol. 4, pp. 77-87, 2003.
- [9] H. Wang, H. Lenz, A. Szabo, J. Bamberger, and U. D. Hanebeck, “WLAN-based pedestrian tracking using particle filters and low-cost MEMS sensors,” *Workshop on Positioning, Navigation and Communication*, Hannover, Germany, 2007.
- [10] P. Krishnamurthy, K. Pahlavan, and J. Beneat, “Wide band Radio Propagation modeling for indoor geolocation applications,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 36, no. 4, pp. 60-85, 1998.
- [11] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, “RADAR: An in-buildingRF-based user location and tracking system,” *IEEE Infocom2000*, Tel Aviv, Israel, vol. 2, pp. 775-784, 2000.
- [12] N. B. Priyantha, A. Chakraborty, and H. Balakrishnan, “The cricket location-support system,” *Proc. the 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, Boston, Massachusetts, United States, pp. 32-43, 2000.
- [13] A S. Kim, J. Hwang, and J. Park. “Enhanced indoor positioning algorithm using WLAN RSSI measurements considering the relative position information of AP configuration,” *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 19, no. 2, pp. 146-151, 2013.



황 준 규

2012년 영남대학교 전자공학부 졸업.
2012년~현재 경북대학교 모바일통신공학 석사과정 재학중. 관심분야는 유비쿼터스 센서 네트워크, LBS.



박 준 구

1994년 서울대학교 제어계측공학 졸업.
1996년 서울대학교 제어계측공학 석사.
2001년 서울대학교 전기컴퓨터공학박사. 2005년~현재 경북대학교 IT대학 전자공학부 부교수. 관심분야는 이동통신표준화, 모바일네비게이션.