지형을 고려한 전파항법 신호원의 배치 방법

임중수, 채규수, 김영호
백석대학교 정보통신학부
e-mail : jslim@bu.ac.kr

Deployment of RF navigation transmitters considering geographical features

Joong-Soo Lim, Gyoo-Soo Chae, Young Ho Kim
Division of Information & Communication Eng.,
Baekseok University

요 약

본 논문은 지형을 고려한 전파항법신호원의 최적 배치에 대한 연구이다. 전파항법신호원을 지상에 배치 할 때 고도에 따른 신호원 간의 가시선 확보를 위해 배치위치를 일정 범위 내에서 최적의 위치를 찾도록 하는 알고리즘을 적용하였다. 그리고 다양한 배치에 따른 측위 정확도를 이론적인 연구결과를 이용하여 분석한 결과를 제시하였으며 전파항법신호원의 배치를 위한 시뮬레이터를 구현하였다.

1. 서 론

위성항법시스템은 지상으로부터 약 20,000㎞ 높이에 있는 GPS 위성으로부터 송출 되는 신호를 사용하기 때문에 건물 내부와 같이 위성 신호가 도달할 수 없는 환경에서는 사용할 수 없다. 그리고 군사용의 경우에는 GPS를 이용한 위치기반 항법장치에 대한 중요성과 의존도가 급격히 증가될 것으로 예상된다. 그러나 GPS 신호체계는 공개되어 있기 때문에 전파방해에 취약하여 안정적인 항법 환경을 구축 할 필요성이 제기되고 있다.

이러한 위성항법시스템의 이용범위 제한을 지상에 배치된 전파항법신호원을 이용하여 극복할 수 있다. 전파항법신호원은 지상이나 건물 내부에 설치되어 GPS 신호를 송신하는 장치이다. 전파항법신호원 기술은 위성항법 관련 기술 중에서도 가장 난이도가 높은 기술이며, 공장 자동화 뿐만 아니라, 항공기 정밀 착륙, 선박항구 정밀 진입, 대형 구조물 안전점검, 농기계 자동화, 군수분야 등과 같이 위성항법시스템의 응용범위를 획기적으로 확장시키는 중요한 기술이므로 가까운 장래에 위성항법시장에 버금가는 규모의 시장이 형성될 잠재력이 있다고 판단된다.

2. 본론

위성항법시스템을 사용한 위치측정 시 측정 정확도를 감소시키는 요소들이 있다. 첫째, 구조적인 오차 요인으로는 인공위성 시간오차, 위치오차, 전리층과 대류 층의 굴절, 신호잡음, 다중경로, 신호의 차단 등이 있다. 둘째, 인공위성의 기하학적 배치에 다른 오차가 있다. 위치를 측정하는 수신기에서 위성까지의 거리가 비슷하고 위성이 적절하게 떨어져 있어야 한다. 그리고 가장 큰 오차 요인은 민간용 단말기에서 정확한 위치 데이터 파악이 어렵도록 위성에서 암호화된 에러코드를 함께 송출하도록 한 SA (Selective Availability)이다. 이러한 요인들이 합쳐져서 수신기 위치 측위 시 거리오차를 유발하는데 이것을 자승평균사용자위치오차(UERE: User Equivalent Range Error)라고 한다[1-3].

본 연구에서는 전파항법 신호원을 자동으로 배치하는 알고리즘과 배치된 상태에서의 수신기 거리측정 정확도에 대한 결과가 제시되었다. 최적의 항법정확도를 확보하기 위해서는 송신기의 다른 오차요인은 고려하지 않고 송신기의 공간적인 배치에 따른 오차인 DOP(Dilution Of Precision)가 최소화 되도록 전파항법 신호원의 위치를 선정하도록 하였다. 이를

위해 신호원 서비스지역의 지형지물 등 전달경로를 분석하여 신호원으로부터 방사되는 전파의 분포를 계산하는 프로그램의 개발이 요구된다. 그리고 신호원이 일차적으로 배치된 상태에서 각 신호원 간의 가시선이 확보 되어야 하므로 가시선 이 확보되지 않는 신호원은 일정 거리 내에서 위치를 다시 찾는 알고리즘이 적용되었다.

신호원의 공간적인 분포에 따른 측위 정확도는 다음과 같이 구해진다[4-5].

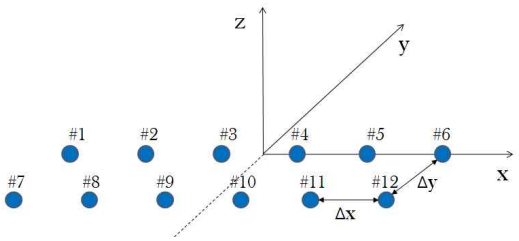
$$Q=(H^TH)^{-1}=\begin{bmatrix} d_x^2 & d_{xy}^2 & d_{xz}^2 & d_{xt}^2 \\ d_{xy}^2 & d_y^2 & d_{yz}^2 & d_{yt}^2 \\ d_{xz}^2 & d_{yz}^2 & d_z^2 & d_{zt}^2 \\ d_{xt}^2 & d_{yt}^2 & d_{zt}^2 & d_t^2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서, H 행렬은 다음과 같이 표현된다.

$$H=\begin{vmatrix} \frac{(x_1-x_o)}{\rho_o^1(t)} & \frac{(y_1-y_o)}{\rho_o^1(t)} & \frac{(z_1-z_o)}{\rho_o^1(t)} & 1 \\ \frac{(x_2-x_o)}{\rho_o^2(t)} & \frac{(y_2-y_o)}{\rho_o^2(t)} & \frac{(z_2-z_o)}{\rho_o^2(t)} & 1 \\ \frac{(x_3-x_o)}{\rho_o^3(t)} & \frac{(y_3-y_o)}{\rho_o^3(t)} & \frac{(z_3-z_o)}{\rho_o^3(t)} & 1 \\ \frac{(x_4-x_o)}{\rho_o^4(t)} & \frac{(y_4-y_o)}{\rho_o^4(t)} & \frac{(z_4-z_o)}{\rho_o^4(t)} & 1 \end{vmatrix} \quad (2)$$

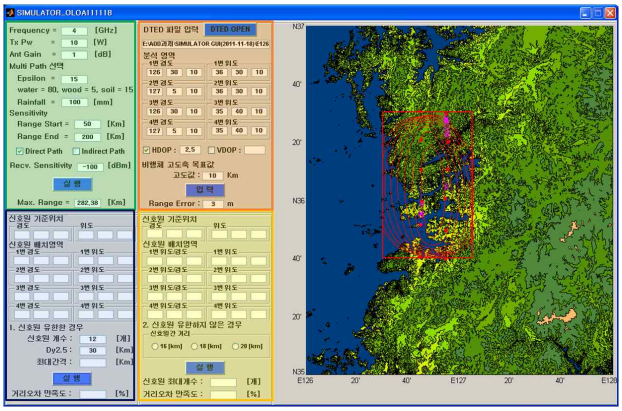
여기서, $\rho_o^i(t)$는 i번째 위성으로부터 수신기의 대략적인 위치까지의 거리를 나타내며, (x_o, y_o, z_o)는 수신기의 위치이며 (x_i, y_i, z_i) i번째 위성의 위치이다.

$$HDOP=\sqrt{d_x^2+d_y^2} \quad (3)$$

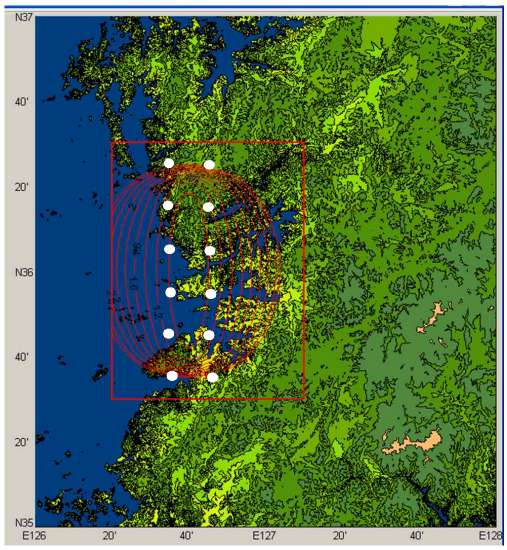


[그림 1] 제안된 전파항법신호원 배치 구조

그림 1에서는 신호원의 배치구조를 보여주고 있다. 12개의 신호원이 2열로 배치되어 있고 x, y축 방향으로 이격거리를 Δx, Δy로 하였다. 이러한 배치에서 안테나 배치영역의 상공 10km에서 거리 측위 정확도를 계산하였다. 그림 2에서는 안테나 간 이격거리가 20km인 경우에 DOP가 2.5 이하인 영역을 표시하고 있다. 안테나 기준선으로부터 37km정도 까지 범위에서 정확도를 유지하는 것으로 계산되었다. 그림 2에서는 전파항법 신호원 배치 실행 화면을 보여주고 있다. 먼저 오른쪽 화면에서 DTED 파일 입력을 통해 실제 지도가 표시되었고 분석 영역의 4개 꼭지 점이 위도, 경도 좌표로 입력 되도록 하였다. 그리고 HDOP 값과 분석 영역의 고도가 입력되고 시행하면 사각형의 분석 영역이 표시된다. 그리고 세 번째 모듈에서는 신호원의 개수와 신호원으로부터 분석 영역 최전방까지의 거리(D_y)가 입력된다.



[그림 2] 전파항법 신호원 배치 실행 화면

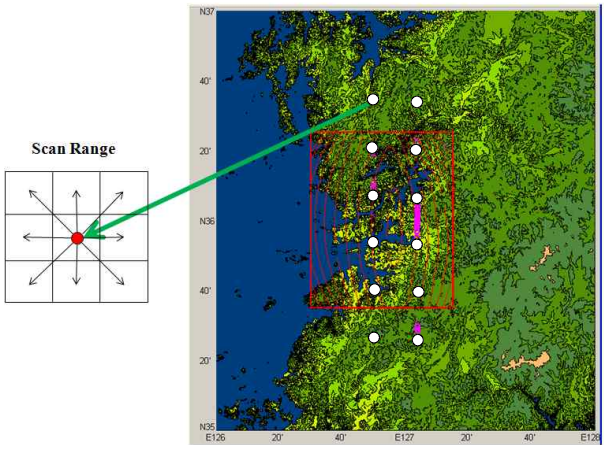


분포

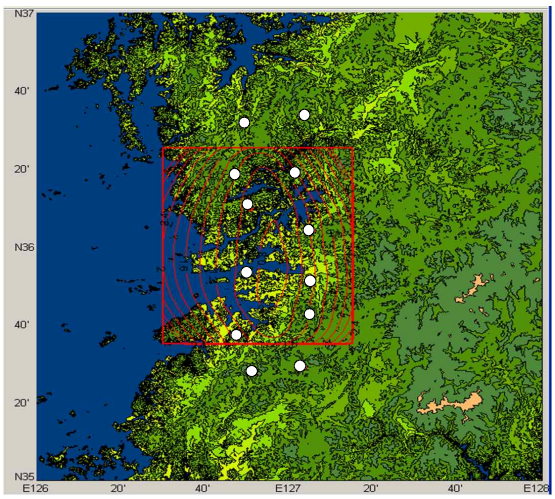
[그림 3] 신호원이 배치된 화면

그림 3에서는 신호원 상공에서 DOP가 2.5이하인 영

역이 나타나도록 신호원이 배치된 상태를 보여주고 있다. 여기서는 신호원간의 가시선은 고려되지 않았으며 개발된 알고리즘을 적용하여 등간격의 신호원 배치만 완료된 상태이다. 그림 4에서는 신호원 간의 가시선 확보 조건이 적용되었고 배치된 신호원 사이에 가시선이 만족 되지 못하는 부분에서는 *로 표시되고 있다. 처음 배치된 신호원 주위에서 1.2km를 스캔하여 가장 높은 위치에 신호원이 배치된 경우이다. 이 경우에는 상당히 많은 부분에서 가시선이 확보되지 않는 것으로 나타나고 있다. 그림 5에서는 가시선 확보를 위해 신호원 주위 11.6km에서 가장 높은 위치를 선정하여 가시선이 확보되지 않는 신호원이 없는 것을 볼 수 있다. 신호원이 배치된 상태를 보면 일정한 거리로 배치되지 못하고 비정형적인 배치가 이루어진 것을 볼 수 있다.



[그림 4] 신호원 배치화면(가시선 확보여부 적용, Scan range 1.2km)



[그림 5] 신호원 배치화면(Scan range 11.6km)

3. 결론

본 논문에서는 지상에 설치된 전파항법신호원의 배치를 위한 시뮬레이터 개발에 관한 연구결과가 제시되었다. 전파항법신호원의 배치와 그에 따른 정확도를 계산하는 프로그램을 개발하여 그 결과를 제시하였다. 신호원의 배치결과가 이론적인 결과에서 예측된 것과 유사한 특성을 얻었으며 본 연구결과를 바탕으로 신호원의 개수를 최소화 하면서 넓은 지역에서 거리 측정 정확도를 높일 수 있는 방법을 제시할 수 있을 것으로 기대된다. 본 연구에서 제시된 시뮬레이터는 지금까지 소개되지 않은 최초의 결과이다.

참고문헌

[1] E. D. Kaplan and C. J. Hegarty, Understanding GPS, Principles and Applications, Artech House, Norwood, MA, 2006.

[2] Richard Curry, Radar System Performance Modeling, Artech Huse, Boston, 2001.

[3] B. R. Mahafza, Radar Systems Analysis and Design Using Matlab, Chapman and Hall/CRC, NY, 2000.

[4] M, Pachter, J. Amt, J. Raquet, “Accurate positioning using a planar pseudolite array,” Position, Location and Navigation Symposium, 2008 IEEE/ION, pp. 433-440, 2008.

[5] R. O. Nielsen, “Relationship Between Dilution of Precision for Point Positioning and for Relative Positioning with GPS,” IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, vol. 33, no. 1, pp. 333-338, Jan., 1997.