論文

정밀 위치결정 성능 최적화를 위한 위성항법 수신국 네트워크 구성

손민혁*, 김규현*, 이은성*, 허문범*

Network Configuration Design of GNSS Receiving Station for Optimizing Performance of Precise Positioning

Minhyuk Son*, Geo-Heon Kim*, Eunsung Lee*, Moon-Beam Heo*

ABSTRACT

In this paper, requirements of GNSS receiver station installation are derived for optimizing the performance of network based GNSS precise positioning by concern of international organization(IGS, NGS) recommendation. Also a analysis method of network based GNSS precise positioning is suggested in order to evaluate the availability depending on various network configurations. To evaluate network candidates, a performance evaluation method is proposed for positioning of users according to a geometric configuration and the baseline distance. After the proposed method is used to Ochang region that is a the test area 6 network candidates are derived and the performance of positioning was analyzed. Finally, *Ansung, Gongju, Eumsung, Boeun* network configuration was selected as the best positioning performance. An optimal Receiving station network was selected using the proposed method.

Key Words : GNSS(전역위성항법시스템), Precise Positioning(정밀위치), Receiving Station(수신국), Network(네트워크)

1. 서 론

전 세계적으로 위치결정에 관련된 연구가 활발하게 진행되고 있으며 그 중 위성항법을 이용한 위치결정 방법은 육상, 해상, 항공 등 사회 전반적인 분야에서 널리 이용되고 있다.

육상교통 분야에서 위성항법 기반의 위치결정

방법은 물류관리 시스템, 요금징수 시스템, 지능형 교통시스템(ITS, Intelligent Transport System) 등에 이용되고 있으며 그 활용분야는 점차 넓어지고 있는 추세이다.

일반적으로 위성항법 기반의 위치결정 방법은 이용 형태에 따라 단독 위치결정 방법, 상대 위치결정 방법으로 구분되며 이용 매체에 따라 코드(Code)를 이용하는 방법, 반송파(Carrier-phase)를 이용하는 방법으로 구분 된다[1].

상대 위치결정 방법은 단독 위치결정 방법에 비해 위치 결정의 정확도가 높다는 장점이 있지만 외부 시스템의 확장 및 연산의 복잡성이 증대되는 단점을 지니고 있다. 또한 반송파를 이용한 측위 방법은 연산의 복잡성이 있지만 위치결정의 정확성이 높다는 장점을 지니고 있다[2].

2012년 11월 07일 접수 ~ 2012년 12월 19일 심사완료
논문심사일 (2012.11.09, 1차), (2012.12.19, 2차)

* 한국항공우주연구원 위성항법팀

연락처, E-mail : nhson@kari.re.kr

대전광역시 유성구 어은동 45번지

반송과 기반의 상대 위치결정 방법에 있어 사용자와 수신국(기준국)간의 기선 거리가 짧을 경우 전리층과 대류권에 의한 오차의 영향이 작은 반면 기선 거리가 길어질 경우 오차의 영향이 커지며 이는 위치결정의 정확도에 영향을 미친다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 네트워크 기반의 상대 위치결정방법이 제시되었으며 이 방법은 기선거리를 고려하여 네트워크 형태로 수신국을 배치, 네트워크 내부에서 균일한 오차정보를 생성하는 방법이다[3~6].

네트워크 단위의 인프라 구축을 위해서는 다수의 수신국을 네트워크 형태로 구축하여야 하는데 육상 교통 인프라용 다중 수신국 구축은 그 사례를 찾기 어려우므로 기존의 상시 기준국 및 측량용 네트워크 구축을 위해 정의된 국제권고안을 기준으로 사용한다. 국제 권고안은 70여개 국가가 참여하고 현재 약 400여개 GPS 상시관측소를 보유한 국제기구 IGS(International GNSS Service)의 상시관측소 장비, 설치, 운영 등에 관한 권고안[7]과 미국 측지, 측량 대표기관 NGS(National Geodetic Survey)의 사이트 권고안을 사용한다[8~9].

본 연구에서는 네트워크 구축 국제 권고안과 배치 제한요소, 목적 시스템을 고려하여 수신국 네트워크 구성 요구조건 도출하였으며 이를 통해 네트워크 구성 후보지를 선정하였다. 또한 수신국 네트워크 적용에 있어 한반도 지역을 대상으로 각 수신국간의 기선거리와 형태를 반영한 네트워크 구성 분석을 수행하였다. 또한 네트워크 구성에 대한 적합성을 평가하기 위하여 Schwarz 방법을 이용한 수신국 배치와 간격에 따른 사용자의 정확도에 미치는 영향을 모델링하였다. 각 후보군에 대한 IDOP(Interpolative Dilution of Precision) 및 RMSD(Root Mean Square Deviation)를 도출하였으며 이에 따른 테스트베드 시험 후보지의 예상 수평, 수직 위치 성능을 도출하였다. 이러한 일련의 과정을 통해 적합한 네트워크 구성을 도출할 수 있었다.

2. 네트워크 구성 요구조건

네트워크 후보군의 선정을 위한 요구 단계는 4단계로 구분된다. 사실 및 공공의 네트워크 운용형태의 결정 단계, 수요 및 비용 편익의 분석 단계, 설치 가용성에 있어 환경적, 기술적 가용성 분석 단계, 기선거리와 배치, 운용 모델에 대한 설계 요소 고려 단계로 구분된다.

Fig 1은 네트워크 후보군 선정을 위한 단계를 나타낸다.

Fig 1. 수신국 네트워크 후보군 선정 단계

이러한 단계에 의한 네트워크 후보군 선정과정은 최적의 네트워크 후보군을 도출하기 위한 중요 과정 중 하나이다.

2.1 네트워크 구성의 이론적 접근

일반적으로 네트워크 구성을 위해 설치되는 수신국 1개소의 구축 및 운영비용은 매우 높은 것으로 알려져 있다. 이는 네트워크 수신국 구축에 앞서 최적 배치에 대한 고려가 선행적으로 필요함을 의미한다. 실제 네트워크 구성의 계획과 설계에 영향을 미치는 요소는 각 수신국간의 기선거리와 기하학적 배치이다.

네트워크 구성을 위한 수신국 배치는 이론적으로 정삼각형의 배치형태가 가장 이상적인 구조이다[7]. Fig 2는 국제 권고안의 기선거리에 따른 수신국 배치 방법을 나타낸다.

Fig 2. 수신국 이론적 배치 방법[7]

네트워크를 구성하는 수신국의 배치 형태에 따라 위치 추정 성능이 단일 네트워크를 사용하는 방법 대비 59%~68%의 차이를 보인다[10]. 동일한 수신국 배치에 대하여 사용자의 위치에 따라 그 성능이 달라질 수 있으며 적용하는 네트워크의 방식도 크게 영향을 미친다. 이러한 점을 고려할 때 네트워크 수신국의 배치를 결정함에 앞서 수신국의 기하학적 배치와 기타 환경인자들

이 사용자 위치결정 성능에 어떠한 영향을 미치는지 분석하고 이에 대한 상관관계 도출이 필요하다.

2.2 수신국 배치 제한요소

수신국 배치의 제한요소 중 가장 우선시 되는 요소는 수신국간의 기선거리이다. 기선거리에 대한 일반화된 경험치는 없으나 비용과 효율성의 측면에서 기선거리가 점차 증가되는 추세이며 현재 50~70km가 보편적이라고 알려져 있다[13].

수신국간의 기선거리가 멀어질수록 태양 활동성에 따라 네트워크의 성능이 저하될 수 있고, 특정 수신국 고장 시 전 네트워크에 미치는 영향이 크므로 이에 대한 고려가 필요하다. 또한 2.1 절의 사용자 최적의 성능을 제공하는 정삼각형 배치는 현실적으로 달성하기 어려우므로 장소 보안의 유지 가능성, 실시간 통신 가능성, 신뢰성이 높은 전력 사용 가능성, 토양 상태, 상공 장애도, 국지적 다중 경로 오차, 전파 간섭 등과 같은 장소적 제약을 고려하여 선정하여야 한다.

2.3 교통인프라 기술개발 네트워크

교통인프라 기술개발은 미래 육상교통의 안정성과 효율성을 증대하기 위하여 다양한 육상 교통 환경에서 위성항법을 활용한 응용분야의 위치 정확도와 신뢰도 향상을 최종 목표로 하는 시스템이며 네트워크는 1개의 클러스터를 기준으로 수신국 3~5기로 구성된다. 각 수신국은 위성항법 데이터를 중앙국으로 전송하며 중앙국은 보정정보를 생성하여 각 클러스터별로 보정정보를 생성 및 전송하여 클러스터별 사용자에게 방송되는 시스템이다. 클러스터 내의 각 수신국간의 기선거리는 60km ~ 70km 이며 네트워크 수신국의 수에 따라 삼각, 사각의 형태가 고려된다.

Fig 3은 교통인프라 기술개발의 시스템 구조도를 나타내고 있다.

Fig 3. 교통인프라 시스템 구조도

3. 수신국 네트워크 성능 예측

3.1 수신국 네트워크 형태 분석

수신국 네트워크 형태 분석은 네트워크 구성의 가용성을 확인하기 위한 방법이다. 이 방법은 수신국 네트워크의 형태 및 각 수신국간의 기선거리의 가변을 통해 각 네트워크 구성에 따른 수신국의 수와 네트워크의 수를 분석하기 위한 방법이다. 이 방법은 실측된 지도위에 각 수신국간의 기선거리가 가변된 삼각, 사각형태의 네트워크를 오버랩(overlap)하여 수신국 및 네트워크의 수를 검증하는 방법이다. Fig 4는 수신국 네트워크 형태 분석 방법에 대한 예시를 나타내고 있다.

Fig 4. 네트워크 형태 분석의 예
(a)삼각 형태, (b)사각 형태

Fig 4의 (a)는 삼각 형태 (b)는 사각 형태의 네트워크를 적용한 예이다. 이러한 방법을 통하여 다양한 네트워크의 형태와 수신국간 기선거리를 적용, 분석하여 수신국 네트워크의 가용성을 확인할 수 있으며 최종적으로 수신국의 수와 네트워크의 수를 도출하여 네트워크의 구축에 따른 가용성 및 구축 수량에 따른 가용성을 평가하는 척도로 사용된다.

3.2 수신국 네트워크 성능 예측

수신국 네트워크 성능 예측은 선정된 후보 지역을 네트워크화 하여 각 수신국간 기선거리 및 배치형태 등의 구성 인자들이 사용자 정확도에 미치는 영향을 검증하기 위한 방법이다. 이러한 방법의 적용을 위해서는 각 수신국 기선거리 및 배치형태를 반영한 모델링이 필요하다.

식 (1)은 수신국의 기하학적 분포와 기선 거리를 반영한 식이다[11].

$$\sigma(IDOP, RMSD) = \sqrt{(\alpha \cdot IDOP)^2 + (\beta \cdot RMSD)^2} \quad (1)$$

$IDOP$ 은 오차를 위·경도에 대한 2차 평면으로 모델링될 때 사용자의 위치에 따른 영향에 대하여 지표화한 것이며, $RMSD$ 는 평면 모델링에 의한 잔여 오차를 나타낸다.

위성항법 오차(z)의 공간적 분포는 식 (2)로 가정한다[11].

$$z = ax + by + c \quad (2)$$

x 는 경도, y 는 위도 방향이다. 특정지점 (x_0, y_0) 에서의 오차 값은 $z_0 = ax_0 + by_0 + c$ 로 나타나며 임의의 지점 (x_i, y_i) 에 대한 오차는 식(3)과 같이 표현된다. ($\Delta x_i = x_i - x_0, \Delta y_i = y_i - y_0$)

$$z_i = a\Delta x_i + b\Delta y_i + z_0 \quad (3)$$

식 (3)에서의 a, b, c 는 최소제곱(least square) 방법으로 산출한다. 관측 값은 통계적으로 독립적이며 각각의 표준편차(σ)를 갖는다고 가정할 때 (x_0, y_0) 에 대한 위성항법 오차(z)의 표준 오차(σ_z)는 식 (4)와 같이 표현된다.

$$\sigma_z = \sigma \sqrt{\frac{R}{Q}} \quad (4)$$

식 (5)는 R 과 Q 에 관한 식이다.

$$\begin{aligned} R &= (\sum \Delta x_i^2)(\sum \Delta y_i^2) - (\sum \Delta x_i \Delta y_i)^2 \\ Q &= nR + 2(\sum \Delta x_i)(\sum \Delta y_i)(\sum \Delta x_i \Delta y_i) \\ &\quad - (\sum \Delta x_i)^2(\sum \Delta y_i^2) - (\sum \Delta y_i)^2(\sum \Delta x_i^2) \end{aligned} \quad (5)$$

$IDOP$ 은 Fig 5와 같이 수신국으로부터의 기선 거리가 아무리 멀더라도 네트워크 중심에 있으면 그 값이 작아지는 특성이 있다.

Fig 5. $IDOP$ 분포[11]

따라서 $IDOP$ 은 수신국간의 거리와는 무관하게 수신국과 상대적인 배치 형상에 의해서만 결정되는 값이므로, 수신국과의 거리에 대한 고려가 추가적으로 필요하다.

GPS 오차 z 가 $z = mx^2 + nx + 1$ 과 같이 거리에 대한 2차식으로 표현될 경우, 앞에서 가정한 바와 같이 1차원 평면으로 모델링할 경우 잔여 오차는 $\frac{m \sum x_i^2}{n}$ 이다. 따라서 사용자- 수신국간 거리에 의해 평면 모델링에 의한 잔여 오차 추정을 위한 $RMSD$ 는 식 (6)과 같이 표현된다.

$$RMSD = \frac{\sum x_i^2}{n} \quad (6)$$

4. 네트워크 선정 결과

4.1 수신국 네트워크 형태 분석

한반도 지역에서의 네트워크 가용성을 판단하기 위하여 앞서 3.1절의 형태 분석에 절차에 따라 한반도 지역 지도를 기준으로 삼각, 사각의 수신국 네트워크 형태 및 각 수신국간의 기선거리 30km, 50km, 60km, 70km, 100km에 대한 분석을 실시하였다. 표 1은 이에 대한 분석결과를 정리한 표이다.

표 1. 네트워크 구성 분석 결과

기선거리	삼각형		사각형	
	수신국 수	네트워크 수	수신국 수	네트워크 수
30 km	189개	117개	96개	63개
50 km	59개	42개	36개	24개
60 km	42개	31개	25개	15개
70 km	28개	23개	19개	9개
100 km	12개	12개	10개	4개

이 결과 각 수신국간의 기선의 거리가 길어짐에 따라 구축되는 수신국 및 네트워크 수가 감소함을 알 수 있으며, 사각 형태일 경우 그 수가 더욱 감소함을 알 수 있다.

4.2 구성 후보군의 선정

네트워크 구성 요구 조건을 고려하여 테스트

서비스 지역인 오창 지역을 기준으로 Fig 6과 같이 8개의 후보지(안성, 보은, 옥천, 음성, 공주, 부여, 예산, 진천)를 선정하였다.

Fig 6. 수신국 네트워크 구성안

4.3 위치 성능 예측 분석

선정된 8개의 후보지를 기준으로 기선거리, 네트워크 구성형태, 사용자 시험지역을 고려하여 Fig 7과 같이 6개의 네트워크 구성안을 도출하였다. Fig 8은 대표적인 네트워크 구성안 중 1안을 나타내고 있다.

Fig 8. 수신국 네트워크 구성안(1안)

네트워크 구성 1안은 안성, 공주, 보은, 음성으로 구성되어 있으며 각 수신국간의 거리가 최소 38km, 최대 73km로 비교적 균등하며, 네트워크의 구성 형태가 사다리꼴에 가까워 큰 왜곡이 없으며, 테스트베드 시험지역인 오창 지역이 네트워크의 중심부에 위치하여 양호한 성능이 예측된다. 1안과 같은 방법으로 도출된 네트워크 구성안에 대해 앞서 3장에 제시된 네트워크 성능 분석 방법을 통하여 네트워크의 *IDOP*, *RMSD* 및 테스트 시험지역에서의 예상 수평, 수직 오차를 분석하였다. 성능 예측을 위해 사용된 α 와 β 는 여건상 미국 CORS 분석에서 사용한 계수인 수직 오차(vertical) $\alpha = 6.7 \pm 0.7 \text{ cm}$, $\beta = 0.15 \pm 0.03 \text{ ppm}$, 수평 오차(east, north) $\alpha = 1.8 \pm 0.2 \text{ cm}$, $\beta = 0.05 \pm 0.01 \text{ ppm}$ 을 사용하였다[11~12].

Fig 9는 제 1안에 대한 *IDOP* 및 *RMSD*의 분석 결과를 나타내고 있으며 표 2는 전체 네트워크 후보에 대한 결과를 나타내고 있다.

Fig 9. 1안의 *IDOP*, *RMSD* 결과

Fig 10은 계산된 *IDOP*과 *RMSD*를 이용하여 시험지역의 1 sigma 수평, 수직 예상 정확도를 나타내고 있다.

Fig 10. 오창 지역 수평, 수직 예상 성능

표 3은 제안된 6개의 구성안에 대하여 최종 분석 결과를 지표화 한 것이다.

표 3. 최종 결과 지표

	IDOP	RMSD [m]	σ_{east} [cm]	σ_{north} [cm]	$\sigma_{\text{horizontal}}$ [cm]	σ_{vertical} [cm]
1안	0.5025	3.62E+04	0.9550	0.9077	1.3176	3.4062
2안	0.5271	3.97E+04	1.0032	0.9539	1.3844	3.5771
3안	0.5410	4.08E+04	1.0296	0.9790	1.4207	3.6710
4안	0.5660	4.88E+04	1.0720	1.0208	1.4803	3.8181
5안	0.6012	5.13E+04	1.1498	1.0946	1.5875	4.0959
6안	0.7171	4.91E+04	1.3607	1.2928	1.8769	4.8543

표 4는 6개의 제시안에 대한 테스트베드 서비스 지역인 오창 지역에 대한 최종 성능 예정치를 정리한 것이다.

표 4. 제시안에 대한 분석 결과

네트워크 구성	수평정확도 (1 sigma, cm)		수직정확도 (1 sigma, cm)	
	네트워크 외곽	오창 지역	네트워크 외곽	오창 지역
1안	2.24	1.32	6.35	3.41
2안	2.44	1.38	6.32	3.57
3안	2.55	1.42	6.65	3.67
4안	2.35	1.48	5.92	3.82
5안	2.51	1.58	6.47	4.09
6안	2.45	1.87	6.26	4.58

네트워크 구성 1안의 네트워크 내부 예상 위치결정 성능은 수평 2.24cm, 수직 6.35cm 이었으며 테스트 시험지역인 오창 지역에서는 수평 1.32cm, 수직 3.41cm으로 나타났다. 위의 결과를 종합해 볼 때 1안이 가장 높은 성능을 기대할 수 있는 네트워크 수신국 배치임을 알 수 있다.

5. 결 론

네트워크 수신국 사이트 선정을 위하여 수신국 요소 및 국제권고안을 기준으로 선정 기준을 설정하였으며 테스트 시험지역을 기준으로 6개의 네트워크 안을 도출하였다. 또한 네트워크 구성 분석과 수신국의 기하학적 분포와 기선 거리의 네트워크 성능 분석을 통하여 각각의 후보군에 대한 검증을 실시하였다. 최종적인 검증 결과 안성, 공주, 음성, 보은으로 구성된 1안이 적합한 구성임을 알 수 있었다.

추후 선정된 사이트에 수신국을 설치하여 실제 데이터 획득 및 분석 수행을 통하여 할 네트워크 수신국 사이트의 적절성 평가를 수행할 예정이다.

6. 후 기

본 연구는 국토해양부 위성항법기반 교통인프라 기술개발의 연구비 지원(06교통핵심A3)에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

[1] Rizos, C., Han, S., "Reference Station Network RTK Systems - Concepts and Progress" Wuhan University Journal of Natural Sciences. Vol 8(2) pp. 566~574.

[2] Alves, P., "Development of Two Novel Carrier Phase-Based Methods for Multiple Reference Station Positioning", UCGE Report number 20203, ph.D. Thesis, University of Calgary.

[3] Charles Wang, Yanming Feng, Matt Higgins, Ben Cowie., "Assessment of Commercial Network RTK User Positioning Performance over Long Inter-Station Distances", Journal of Global Positioning Systems, Vol 9(1), 2010, pp. 78~79.

[4] 정성균, 이상욱., "위성항법 지상국 감시 제어 시스템 품질 감시 기법 분석", 한국항공운항학회지 Vol. 18, No. 1, 2010, pp. 11~18.

[5] 김장환, 정종철, 강자영., "위성항법 시스템과 성능기반 항법에 대한 고찰", 한국항공운항학회지 Vol. 18, No. 1, 2010, pp. 45~50.

[6] 김정래, 노정호, 이형근., "위성항법 신호 이중 주파수간 편이 추정오차 분석", 한국항공운항학회지 Vol. 20, No. 3, 2012, pp. 15~20.

[7] IGS, IGS Site Guidelines

<http://igsb.jpl.nasa.gov/network/guidelines/guidelines.html>

<http://igsb.jpl.nasa.gov/network/monumentation.html>

[8] NGS, Guidelines for New and Existing Continuously Operating Reference Station (CORS)

http://www.ngs.noaa.gov/PUBS_LIB/CORS_guidelines.pdf

[9] NGS, National Geodetic Survey Guideline for Real Time GNSS Networks Draft v2.0, March 2011.

[10] Geisler, I., "Performance Improvement of Network RTK Positioning", ION NTM, Jan. 2006, pp. 18~20.

[11] Schwarz, C. et al., "Accuracy assessment of the National Geodetic Survey's OPUS-RS utility", GPS Solution, 13, 2009, pp. 119~132.

[12] Rizos, C., "Alternatives to current GPS-RTK services and some implications for CORS infrastructure and operations", GPS solutions, Vol. 11, 2007, pp. 151~158.

[13] Janssen, V., "A compare of the VRS and MAC principles for Network RTK", Proceedings of International Global Navigation Satellite System Society Symposium (IGNSS2009), 2009, p. 13.

표 2. 네트워크 후보 분석 결과

제시안	구성안	항목	내용
1안		구성	안성, 공주, 보은, 음성
		최소	38km
		최대	73km
		평균	51km
2안		구성	안성, 예산, 보은, 음성
		최소	38km
		최대	80km
		평균	54.75km
3안		구성	예산, 공주, 보은, 음성
		최소	35km
		최대	80km
		평균	54km
4안		구성	예산, 부여, 보은, 음성
		최소	45km
		최대	100km
		평균	62km
5안		구성	예산, 부여, 옥천, 음성
		최소	45km
		최대	100km
		평균	62km
6안		구성	예산, 부여, 옥천, 진천
		최소	45km
		최대	78km
		평균	55km

Fig 7. 최종 선정된 수신국 사이트 및 네트워크 구성안