

준실시각 GPS 위상자료 처리 알고리즘 성능 개선에 관한 연구

손동호^{1†}, 조정호², 박종욱², 임형철², 박필호², 최규홍¹

¹연세대학교 천문우주학과

²한국천문연구원

A STUDY ON THE IMPROVEMENT OF NEAR-REAL TIME GPS PHASE DATA PROCESSING ALGORITHM

Dong-Hyo Son^{1†}, Jeong-Ho Joh², Jong-Uk Park²,
Hyung-Chul Lim², Pil-Ho Park², and Kyu-Hong Choi¹

¹Department of Astronomy and Space Science, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea

²Korea Astronomy Observatory, Daejeon 305-348, Korea

E-mail: dhson@galaxy.yonsei.ac.kr

(Received March 20, 2004; Accepted May 28, 2004)

요 약

한국천문연구원 GPS 그룹은 iRTK(inverted Real Time Kinematic)기법을 이용한 준실시각 정밀측위 시스템을 개발한 바 있다. 이 연구는 중저가형 L1 반송파 수신기를 이용하여 측위 정확도를 향상시키기 위해 시스템의 자료처리능력을 개선시켰다. 이를 위해 시스템 자료 처리부에 확장 칼만 필터 방법을 적용하여 측위 정확도를 검증하였다. 실험은 30m 초단기선에서부터 20km 단기선까지 이루어졌다. 10km 이내 기선에서 1분 관측시간으로 1m 수준을, 약 20km 기선에서 2분 관측으로 1m 수준의 측위결과를 얻을 수 있었다. 이는 이전의 3m 수준에 비해 약 70%정도 향상된 것이다. 이 시스템을 이용하면 지적물 위치파악이나 볼류시스템과 같은 준실시각 정밀측위 분야에 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

ABSTRACT

KAO(Korea Astronomy Observatory) GPS group has developed an iRTK system as a near-real time positioning system using GPS carrier phase data. We focused on improving the accuracy of positioning through the updated capability of data processing of KAO's iRTK system using low-cost L1 carrier phase receiver. The accuracy of a positioning was demonstrated by Extended Kalman filter. Experiments were accomplished using from 30m to 20km baselines. Within 10km, the positioning accuracy was improved by approximately 50-70% to the previous study using one minute observable data. However, it took two minutes to obtain 1m level positioning accuracy at 20km point. We expect that the developed iRTK system can be applied to the various fields of GPS in near-real time positioning.

Keywords: L1 carrier phase, low-cost GPS receiver, Eextended Kalman Filter

[†]corresponding author

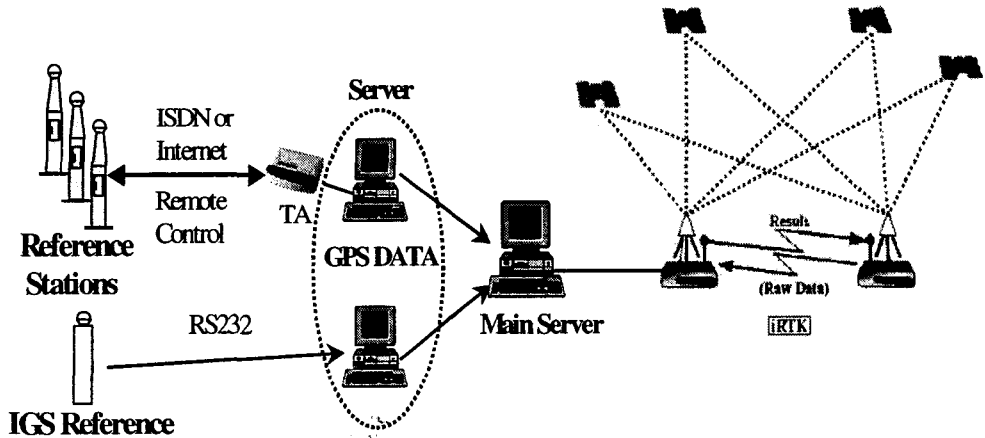


그림 1. 한국천문연구원 iRTK 시스템 구성.

1. 서 론

2000년 5월 1일 자정(미국 동부 시각)을 기해 미 국방성이 GPS 위성신호의 궤도와 시계 정보를 고의적으로 조작한 의도적 정밀도 저하 조치 SA(Selective Availability)를 해제함에 따라 측위 정확도가 100m 정도에서 15-25m 수준으로 개선되었다(Divis 2000). 그러나 15 ~ 25m 측위 정확도를 이용하여 고정밀 차량 항법이나 개인 위치 추적과 같은 실생활 응용 서비스에 적용하기에는 많은 문제점이 있다. 이미 위치를 알고 있는 기준점의 보정된 코드(code) 자료를 이용하는 DGPS(Differential GPS) 기법을 이용하면 측위 정확도를 수평방향으로 3m 정도, 수직방향으로 5m 정도까지 개선시킬 수 있다(Rizos & Satirapod 2001). 조금 더 정밀한 측위결과를 얻고자 반송파를 이용하지만 위성과 수신기간의 정확한 파장수를 나타내는 모호정수(Integer Ambiguity)를 결정해야하는 어려움이 있다. 반송파 신호를 이용하는 대표적인 방법으로 실시간 고정밀 측량 기법 RTK(Real Time Kinematic)와 iRTK가 있다. RTK는 기준국으로부터 반송파 위상 자료에 대한 보정치를 실시간으로 수신하여 사용자의 위치를 측정하는 기법이고 iRTK는 모든 자료처리 과정이 서버에서 이루어진 뒤 측위 결과만 사용자에게 전달되는 기법이다. 그래서 iRTK 단말기는 별도의 자료처리 기능이 없는 저렴한 GPS 수신기와 통신기기로 구성되어 있어 기존 RTK 단말기보다 상대적으로 비용이 적게 든다. 그러나 RTK와 마찬가지로 서버 시스템이 구축된 기준국으로부터 거리가 멀어질수록 정확도가 떨어지기 때문에 이용할 수 있는 범위가 제한적이다. 또, 많은 양의 자료 전송으로 인해 통신부담이 커지게 되므로 DGPS 기법보다 신속하고 안정적인 자료 송수신 시스템이 필요하다.

DGPS는 차량항법, 항공, 해상분야 등에 널리 이용되고 있지만 개인위치과악이나 지도제작과 같은 보다 정확한 측위결과를 얻기 위해서 반송파(carrier phase)를 이용하는 기법을 사용하고 있다. 한국천문연구원은 인터넷을 기반으로 하는 반송파 측위 iRTK 시스템을 개발한 바 있다. 본 연구는 중저가형 수신기를 이용하여 이 시스템의 자료처리 능력을 향상시키기 위한 것으로 측위 정확도에 대한 알고리즘 성능 개선에 중점을 두었고 이를 위해 확장 칼만 필터 방법을 사용하였다.

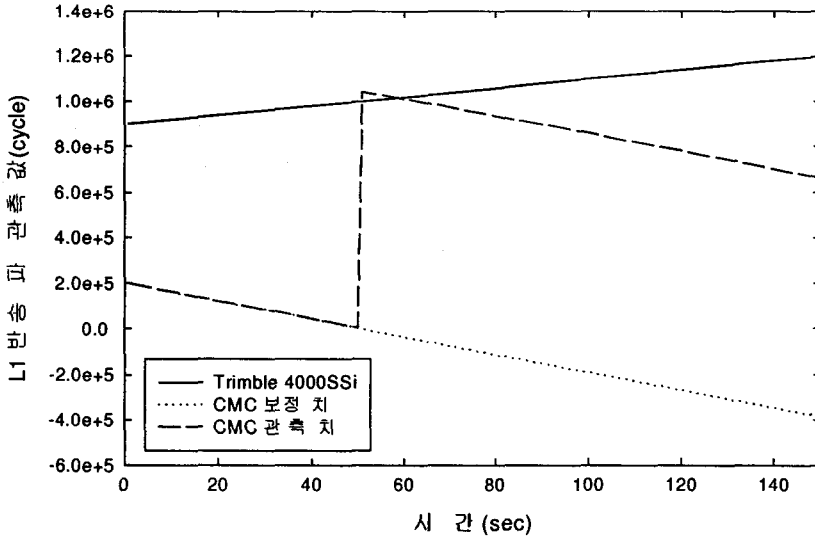


그림 2. 수신기 Roll Over에 따른 반송파 측정치 변화(최병규 2003).

2. iRTK 시스템과 수신기

실시간 상대측위 기법 중 하나인 iRTK는 기준국의 반송파 자료를 이용하여 오차보정을 하는 RTK 기법과 유사하다. 그러나 iRTK는 자료처리 과정이 중앙처리센터에서 일괄적으로 이루어진 뒤 자체 고유형식에 맞춘 최종 결과만 사용자에게 전달되기 때문에 별도의 자료처리 시스템이 필요 없다(그림 1). 최종전달 정보에는 사용자의 위치와 가시 위성 수, 그리고 위성의 기하학적 배치상태를 정량적으로 나타내는 PDOP이 포함되어 있다(조정호 외 2003). 따라서 사용자는 GPS 반송파 송수신 기능을 갖춘 비교적 저렴한 단말기를 이용하여 고정밀 측위결과를 얻을 수 있다. 그림 1은 한국천문연구원 이 인터넷을 기반으로 구축한 iRTK 시스템의 구성도이다.

반송파를 이용하는 실시간 기법은 비교적 정확하고 신속한 측량이 가능하여 비용이 적게 든다. 하지만, 관측환경에 민감하고 일반적인 DGPS 수신기에 비해 비싸기 때문에 일반 사용자들이 사용하기에는 쉽지 않다. 특히, iRTK 기법은 전송할 정보의 양이 많기 때문에 통신환경에 많은 영향을 받는다. 그래서 통신 관측환경이 나쁜 경우에는 불안정한 측위 결과를 나타낸다.

일반적인 RTK 적용범위는 사용자가 원하는 정확도와 통신수단에 따라 유동적이다. 때로는 이온층 변화나 태양활동에 따라 적용 가능 범위가 달라지기도 한다(Vollath et al. 2000). 이러한 제한된 적용범위를 넓혀 장거리에서도 이용할 수 있도록 사용자가 원하는 지점에 가상 기준점 정보를 생성하여 정확한 위치를 구하도록 하는 가상 기준점 VRS(Virtual Reference Station) 기술이 Wanninger(1997)에 의해 제안된 이래로 연구개발 중에 있다.

실함에 사용된 수신기는 CMC Allstar GPS 수신기로 캐나다 CMC Electronics사가 개발한 중저가형 수신기이다. 이 수신기는 L1 반송파 위상 신호를 12기 위성으로부터 동시 추적이 가능하다. 반송파 위상자료 값이 1,048,575 이상이거나 0보다 작은 값이 측정되면 Roll Over 현상이 일어나 이전 단계의 Beat Phase 값과 누적되어 0 또는 1,048,575 근처에서 값이 다시 시작하게 된다(그림 2). 고

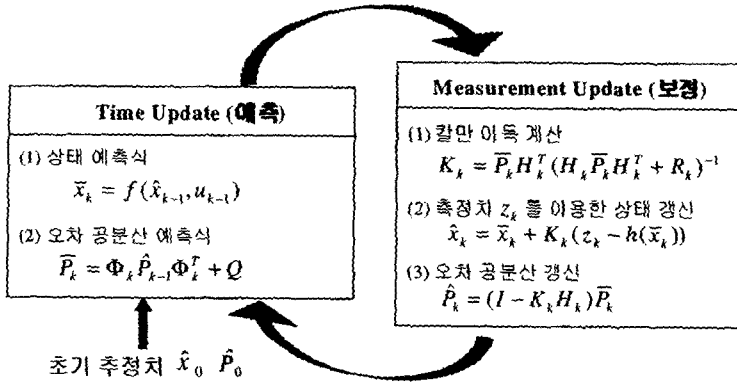


그림 3. 확장 칼만 필터 계산 과정(Welch & Bishop 2003).

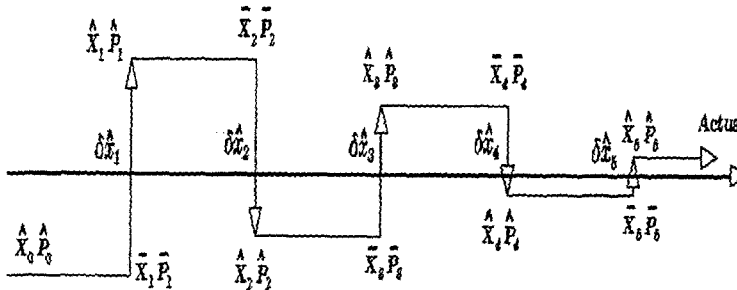


그림 4. 확장 칼만 필터 수렴 모식도(Vallado et al. 1997).

정밀 측위를 필요로 하는 기준국 GPS 수신장비는 미국 Trimble사의 4000ssi 수신기이다. 이 수신기는 18채널을 보유하고 있으며 Static 측량의 경우에는 수 mm, Kinematic 측량일 경우는 1~2cm의 정확도를 가지고 있다(Trimble 1996). 그림 2에서 보듯 이 두 수신기의 반송파 측정치는 시간의 흐름에 따라 반대로 누적된다.

3. 선형화와 확장 칼만 필터

선형 칼만 필터가 정규백색잡음(normal white noise)을 가지는 선형 시스템에 적용될 경우 최소의 오차 공분산을 가지는 최적 필터를 비선형 시스템에 적용시킨 것이 확장 칼만 필터이다. 확장 칼만 필터기법은 최소자승법과 달리 자료를 한꺼번에 처리해야하는 시간적 부담을 줄일 수 있고 정확한 측위결과를 구함과 동시에 실제 모호정수에 가까운 모호실수를 직접 추정할 수 있다.

임의의 시각 t 에 대해 반송파 거리 측정모델의 이중차분 식은 다음과 같다(Hofmann-Wellenhof et al. 2001).

$$\lambda \phi_{AB}^{jk}(t) = \rho_{AB}^{jk}(t) + \lambda N_{AB}^{jk} \tag{1}$$

표 1. 확장 칼만 필터 응용식.

초기치	$\bar{x}_0 = \hat{x}_0$ $\bar{P}_0 = \hat{P}_0$
측정치 갱신	$K_k = \bar{P}_k H_k^T [H_k \bar{P}_k H_k^T + R_k]^{-1}$ $\delta \hat{x}_k = K_k [z_k - h(\bar{x}_k)]$ $\hat{x}_k = \bar{x}_k + \delta \hat{x}_k$ $\hat{P}_k = [I - K_k H_k] \bar{P}_k$
정의	$H_k = H[\bar{x}_k] = \frac{\partial h}{\partial x} _{x_k = \bar{x}_k}$

표 2. 확장 칼만 필터를 이용한 실험의 기간과 장소.

실험 기간	실험 장소	기선거리
2003. 11. 18. - 2003. 12. 9.	한국천문연구원내 식당옥상	31m
2003. 11. 18. - 2003. 12. 7.	한국천문연구원 본관동 2층 북측베란다	86m
2003. 11. 11. - 2003. 12. 8.	대전 유성구 궁동 궁동교	4.9km
2003. 11. 14. - 2003. 12.10.	대전 유성구 갑동 계룡휴게소	8.5km
2003. 11. 13. - 2003. 12. 8.	충남 공주시 무룡동 다모아주유소	19.2km

여기서 λ 는 L1 반송파 파장, ϕ 는 위성과 수신기간의 반송파 측정치, ρ 는 위상거리, N 은 모호수, j, k 는 위성, A, B 는 수신기를 각각 나타낸다. 수신기 A, B 의 위치는 $X_A, Y_A, Z_A, X_B, Y_B, Z_B$ 로 나타내며 WGS-84 좌표계를 사용한다. GPS 위성과 수신기간의 비선형 거리 측정치 ρ_{AB}^{jk} 을 선형화한 뒤 정리하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$z_{AB}^{jk}(t) = a_{X_A}^{jk}(t)\Delta X_A + a_{Y_A}^{jk}(t)\Delta Y_A + a_{Z_A}^{jk}(t)\Delta Z_A + a_{X_B}^{jk}(t)\Delta X_B + a_{Y_B}^{jk}(t)\Delta Y_B + a_{Z_B}^{jk}(t)\Delta Z_B + \lambda N_{AB}^{jk} \quad (2)$$

여기서 새로운 변수 $z_{AB}^{jk}(t)$ 로 나타낸 좌변은 아래 식 (3)으로 정의한다.

$$z_{AB}^{jk}(t) = \lambda \phi_{AB}^{jk}(t) - \rho_{B0}^k(t) + \rho_{B0}^j(t) + \rho_A^k(t) - \rho_A^j(t) \quad (3)$$

식 (2)의 새로운 변수들은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} a_{X_A}^{jk}(t) &= + \frac{X^k(t) - X_{A0}}{\rho_{A0}^k(t)} - \frac{X^j(t) - X_{A0}}{\rho_{A0}^j(t)} \\ a_{Y_A}^{jk}(t) &= + \frac{Y^k(t) - Y_{A0}}{\rho_{A0}^k(t)} - \frac{Y^j(t) - Y_{A0}}{\rho_{A0}^j(t)} \\ a_{Z_A}^{jk}(t) &= + \frac{Z^k(t) - Z_{A0}}{\rho_{A0}^k(t)} - \frac{Z^j(t) - Z_{A0}}{\rho_{A0}^j(t)} \\ a_{X_B}^{jk}(t) &= - \frac{X^k(t) - X_{B0}}{\rho_{B0}^k(t)} + \frac{X^j(t) - X_{B0}}{\rho_{B0}^j(t)} \\ a_{Y_B}^{jk}(t) &= - \frac{Y^k(t) - Y_{B0}}{\rho_{B0}^k(t)} + \frac{Y^j(t) - Y_{B0}}{\rho_{B0}^j(t)} \end{aligned}$$

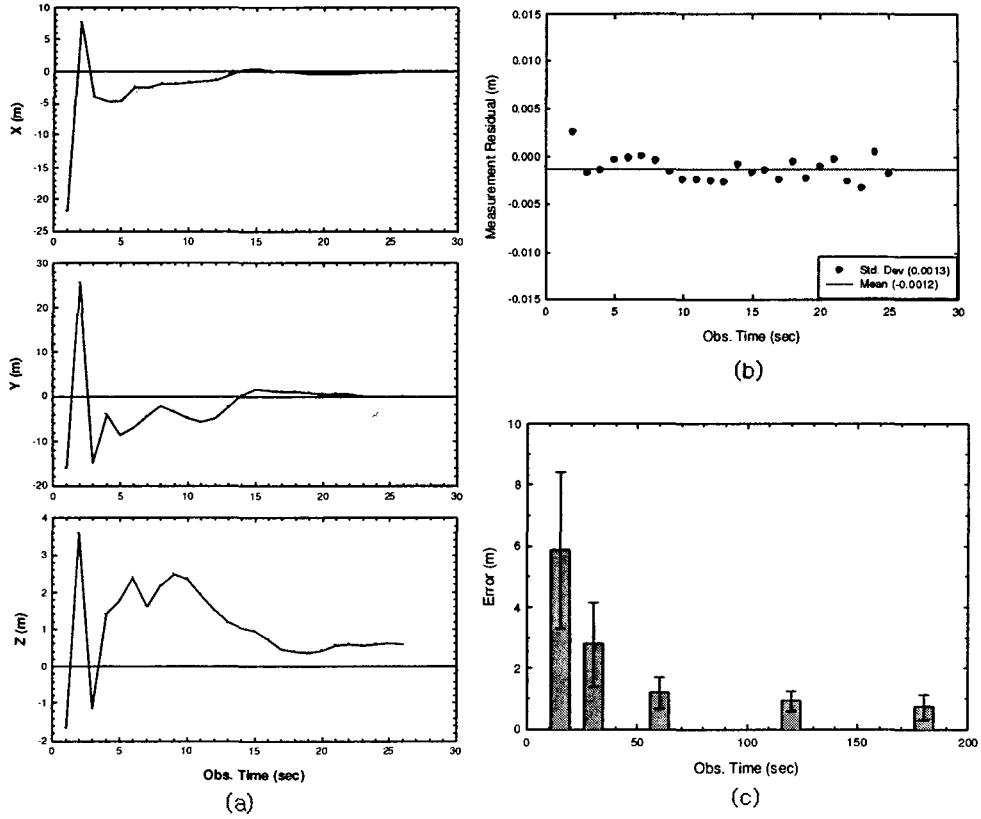


그림 5. 기선거리 31m. (a) X, Y, Z 방향의 추정치, (b) 측정잔차, (c) 관측시간에 따른 평균오차. 막대는 평균오차, 막대위의 세로실선은 표준편차를 나타낸다.

$$a_{Z_B}^{jk}(t) = -\frac{Z^k(t) - Z_{B0}}{\rho_{B0}^k(t)} + \frac{Z^j(t) - Z_{B0}}{\rho_{B0}^j(t)} \quad (4)$$

식 (2)를 두 epoch t_1, t_2 에 대해 간단히 정리하면 다음과 같은 선형 방정식이 된다.

$$z = Hx \quad (5)$$

$$z = \begin{pmatrix} z_{AB}^{jk}(t_1) \\ z_{AB}^{jl}(t_1) \\ z_{AB}^{jm}(t_1) \\ z_{AB}^{jk}(t_2) \\ z_{AB}^{jl}(t_2) \\ z_{AB}^{jm}(t_2) \end{pmatrix} \quad x = \begin{pmatrix} \Delta X_B \\ \Delta Y_B \\ \Delta Z_B \\ N_{AB}^{jk} \\ N_{AB}^{jl} \\ N_{AB}^{jm} \end{pmatrix}$$

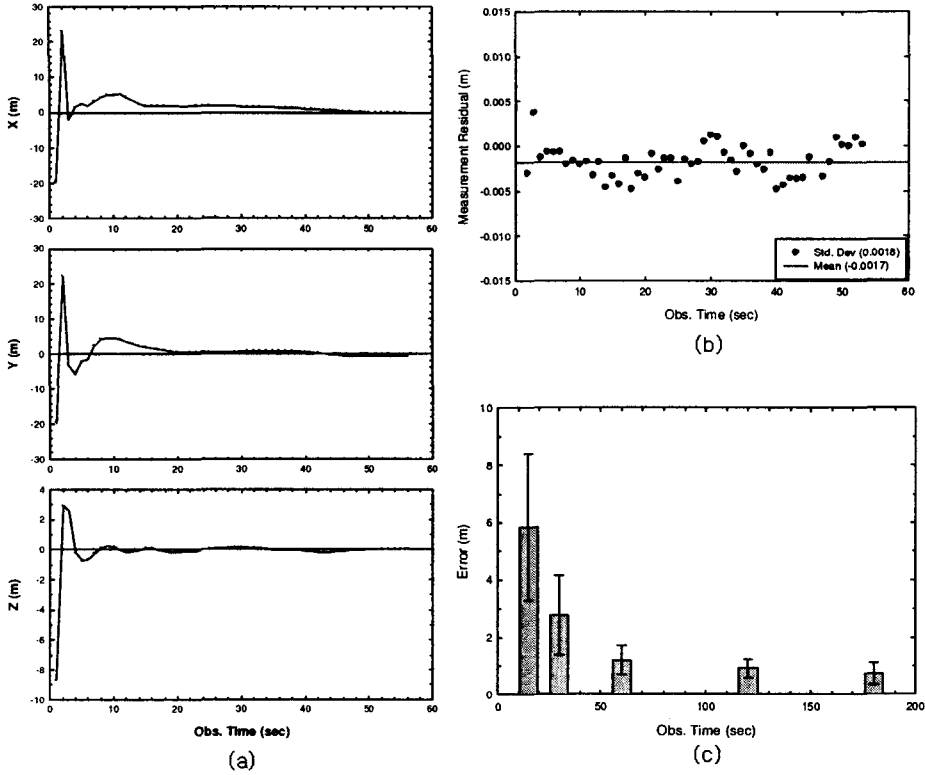


그림 6. 기선거리 86m. (a) X, Y, Z 방향의 추정치, (b) 측정잔차, (c) 관측시간에 따른 평균오차.

$$H = \begin{pmatrix} a_{X_B}^{jk}(t_1) & a_{Y_B}^{jk}(t_1) & a_{Z_B}^{jk}(t_1) & \lambda & 0 & 0 \\ a_{X_B}^{jl}(t_1) & a_{Y_B}^{jl}(t_1) & a_{Z_B}^{jl}(t_1) & 0 & \lambda & 0 \\ a_{X_B}^{jm}(t_1) & a_{Y_B}^{jm}(t_1) & a_{Z_B}^{jm}(t_1) & 0 & 0 & \lambda \\ a_{X_B}^{jk}(t_2) & a_{Y_B}^{jk}(t_2) & a_{Z_B}^{jk}(t_2) & \lambda & 0 & 0 \\ a_{X_B}^{jl}(t_2) & a_{Y_B}^{jl}(t_2) & a_{Z_B}^{jl}(t_2) & 0 & \lambda & 0 \\ a_{X_B}^{jm}(t_2) & a_{Y_B}^{jm}(t_2) & a_{Z_B}^{jm}(t_2) & 0 & 0 & \lambda \end{pmatrix} \quad (6)$$

z 는 관측 반송파를 이용해 구한 계산치, H 는 수신기에서 위성을 향한 방향코사인과 파장을 나타낸 디자인행렬, x 는 구하고자 하는 상태변화량과 모호수를 각각 나타낸다.

선형화된 방정식 (5)에 확장 칼만 필터를 적용하여 해를 추정한다. 확장 칼만 필터의 상태식과 공분산 계산에 관한 예측-보정식을 정리하면 그림 3과 같다. 여기서 u_k 는 입력값, Φ_k 는 상태전이행렬(state transition matrix), P_k 는 오차 공분산 행렬(error covariance matrix), Q 는 공정잡음 공분산 행렬(process noise covariance matrix), R_k 는 측정잡음 공분산 행렬(measurement noise covariance matrix), K 는 칼만 게인(Kalman gain), h 는 비선형 함수(non-linear function)를 각각 나타낸다.

실제한 확장칼만필터에서 초기 상태치와 공분산은 임의의 수치를 주지 않고 첫 관측자료를 이용하여 최소자승 계산방법으로 구하였다. 이는 준실시각에 맞춰 시간과 장소에 따라 초기치가 변화할

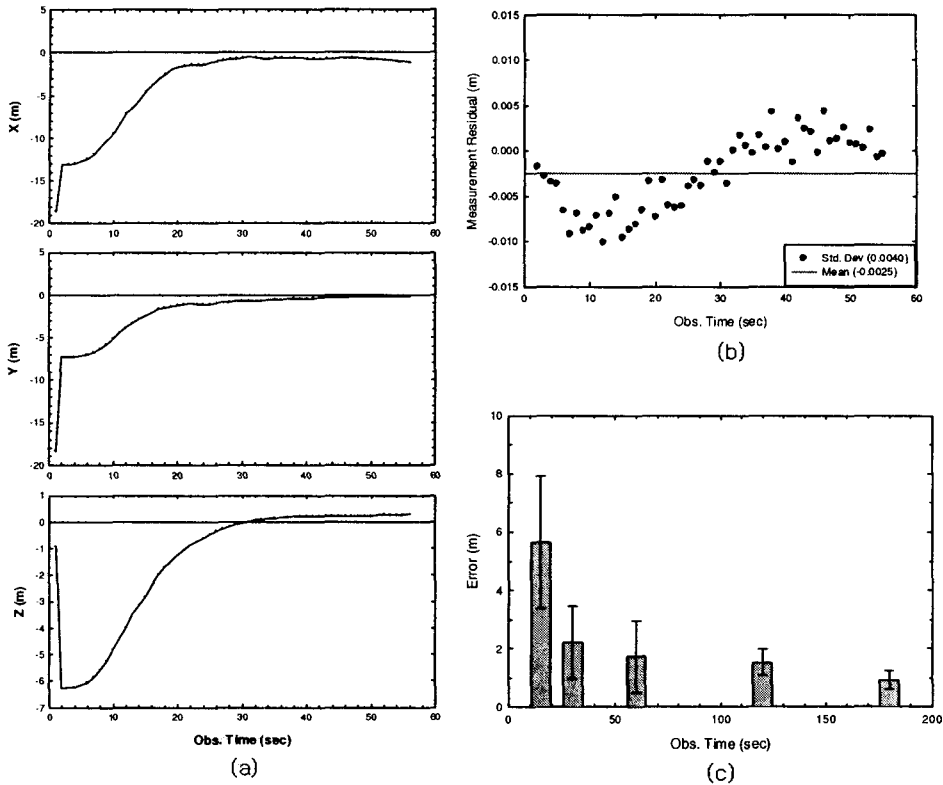


그림 7. 기선거리 4.9km. (a) X, Y, Z 방향의 추정치, (b) 측정잔차, (c) 관측시간에 따른 평균오차.

수 있기 때문이다. 또한, 관측이 이루어질 당시 안테나는 일시적 정지상태에 있기 때문에 사용자 동적 모델링에 대해 서술하지 않았다. 그래서 상태천이 벡터가 필요없게 되어 필터 기법 식에서 예측 부분은 생략하였고 추정치 갱신부분만 사용하였다. 이에 대한 필터식을 표 1에 정리하였다. 그림 4는 자료 처리 시간마다 기준좌표가 새로 갱신되어 실제 위치에 가까이 찾아가는 모식도를 나타낸 것이다.

4. 결 과

위상 자료 처리 알고리즘 성능 개선을 위해 확장 칼만 필터 방법을 적용해 보았다. 실험은 L1 반송파 자료를 수신하는 중저가형 수신기를 사용하였고 자료 통신을 위해 CDMA 2000 1X에 기반을 둔 무선 PCMCIA Type II 카드를 사용하였다. 이 카드는 GTRAN Korea사의 N-Key 모델이며 자료 송수신 전용모뎀으로 실험용 노트북 PCMCIA 카드 슬롯에 꼽아 사용하였다.

실험은 한국천문연구원 내에 있는 국제 기준점을 기준으로 측정거리에 따라 이루어졌다. 기간은 2003년 11월 11일부터 12월 10일까지 한 달 동안 이루어졌고 각 기선별로 5회 이상 관측을 하였다. 표 2에는 각 기선별로 이루어진 실험 장소와 기간을 나타내었다.

31m 기선의 경우 기준국과 가깝고 안테나 설치장소의 환경도 양호하여 측정잔차 평균치가 0에

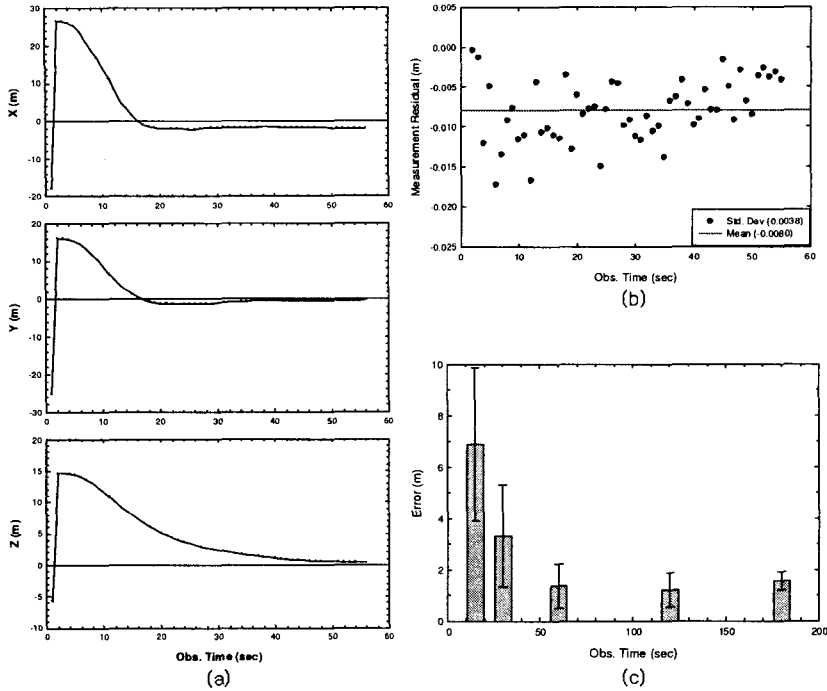


그림 8. 기선거리 8.5km. (a) X, Y, Z 방향의 추정치, (b) 측정잔차, (c) 관측시간에 따른 평균오차.

가깝고 표준편차도 작았다. 30초 관측자료 처리로 1m 수준의 결과를, 60초 이상의 관측으로는 1m 이내의 정확도를 갖는 측위결과를 얻었다. 수렴은 15초 정도에서 이루어졌다(그림 5). 기선거리 86m인 경우 한국천문연구원 본관동 2층 북측베란다에 안테나를 설치하였다. 이 장소는 남쪽방향의 일부 GPS 위성신호를 건물이 차단하지만 다중경로의 영향은 적게 받는 것으로 생각된다. 측정잔차의 평균치와 표준편차는 31m에 비해 커지만 충분히 작은 결과이다. 1m 이내의 오차정확도를 갖기 위해서는 60초 이상의 관측자료가 필요하지만 짧은 기선으로 인해 표준편차는 작았다. 15초에서 20초 사이에 수렴경향이 나타났다(그림 6). 4.9km 기선실험은 대전시 유성구 궁동에 위치한 궁동교에서 이루어졌고 1m 수준의 측위결과를 얻기 위해서는 60초 이상의 관측시간이 필요하였다. 하지만 교통량이 많은 교량위에서 실험이 이루어져 차량통행에 의한 다중경로 오차 영향을 많이 받아 오차와 표준편차의 범위가 크게 나타난 것으로 생각된다. 측정잔차의 평균치와 표준편차가 초단기선에 비해 많이 커졌고 수렴속도도 20초에서 25초 사이로 늦어졌다(그림 7). 기선 8.5km 실험은 대전시 유성구 갑동 계룡휴게소에서 이루어졌고 오차를 최소화하기 위해 휴게소 내에 있는 공중전화박스 위쪽에 안테나를 설치하였다. 이 역시 1m급의 정확도를 얻기 위해서는 60초 이상의 관측자료가 필요함을 알 수 있었다. 기선이 멀어져 측정잔차의 평균치는 커졌지만 좋은 환경으로 인해 표준편차는 작아졌고 수렴도 20초 전후로 이루어졌다(그림 8). 19.2km 기선실험의 경우 충청남도 공주시 무룡동에 위치한 다모아 주유소 옆 공터에서 이루어졌다. 주위의 높은 건물이나 산은 없었지만 도심외곽지역이라 통신상의 문제로 인해 자료 손실이 종종 발생하였다. 1m 수준의 정확도는 긴 기선거리로 인해 120초 이

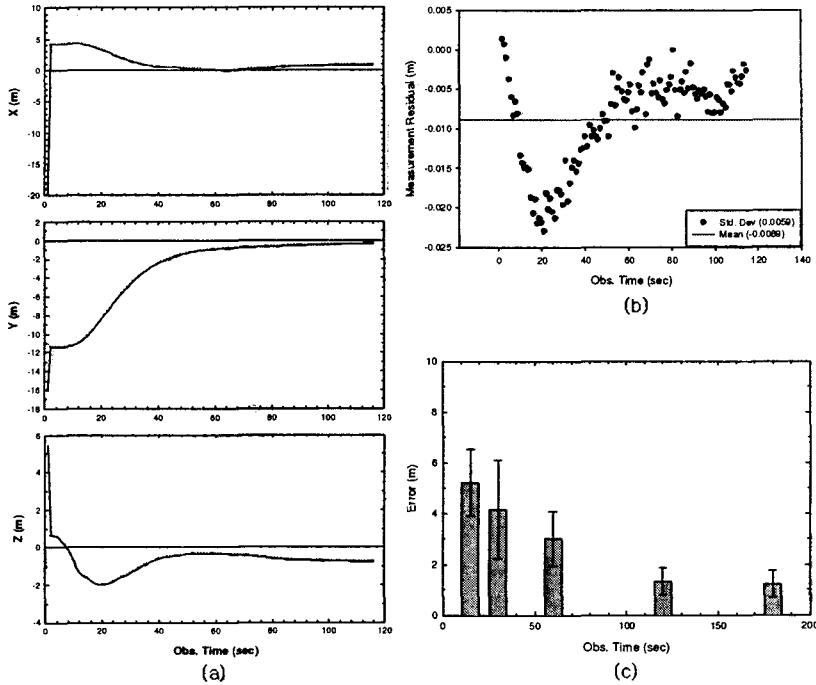


그림 9. 기선거리 19.2km. (a) X, Y, Z 방향의 추정치, (b) 측정잔차, (c)관 측시간에 따른 평균오차.

상의 자료를 처리해야 얻어졌다. 40초 이후에 수렴하기 시작하였고 측정잔차도 커졌다(그림 9).

실험이 이루어진 기선 내에서는 19.2km를 제외하고 전체적으로 60초 관측자료를 처리하면 1m 수준의 오차범위 내에 수렴하였다. 오차의 표준편차 경우 거리가 멀어질수록 그 폭이 커졌지만 기선이 짧아도 주위환경에 따라 편차가 커지는 경우도 있었다. 표 3은 각 기선별 관측시간에 따른 평균오차와 표준편차를 정리한 것이다.

5. 토의 및 결론

본 연구는 중저가형 GPS 수신기를 이용하여 한국천문연구원 iRTK 기법을 이용해 개발한 준실시간 정밀측위 시스템의 위상자료 처리부 성능을 향상시키기 위한 것으로 이를 위해 확장 칼만 필터 방법을 적용해 보았다. 60초 관측자료를 이용하여 1m 수준의 측위 정확도를 보여주는 이 방법은 3m 수준이내의 측위 정확도를 보여주는 기존 결과(조정호 외 2003)보다 약 70%정도 향상되었다. 초단기선에서는 30초 이내의 짧은 관측시간에도 1m 정도의 측위오차 범위 내에 수렴하였지만 기선이 멀어질수록 정확한 측위 결과를 얻기 위해서는 1분 이상의 관측시간이 필요하였다.

기선거리가 멀어질수록 두 지점에서 수신하는 위성 신호의 대기 경로차가 크게 발생한다. 일반적으로 이런 오차를 제거하기 위해 이중차분 방법을 사용하지만 공통의 오차를 충분히 제거하지는 못한다. 이로 인해 짧은 기선에 비해 상대적으로 수렴속도가 늦어지게 되고 원하는 측위정확도를 얻기 위해서는 관측시간이 길어지게 되는 것이다. 하지만 2분 이상의 관측시간에도 불구하고 측위오차가

표 3. 기선거리와 관측시간에 따른 평균오차와 표준편차.

기선거리	평균오차(표준편차)(m)				
	관측시간				
	15sec	30sec	60sec	120sec	180sec
31m	3.91(1.35)	1.60(0.61)	0.63(0.25)	0.57(0.31)	0.68(0.34)
86m	5.85(2.55)	2.78(1.37)	1.19(0.52)	0.90(0.32)	0.71(0.39)
4.9km	5.63(2.26)	2.20(1.26)	1.71(1.21)	1.50(0.45)	0.91(0.30)
8.5km	6.87(2.98)	3.30(2.00)	1.34(0.87)	1.19(0.67)	1.55(0.33)
19.2km	5.22(1.32)	4.16(1.93)	3.01(1.05)	1.33(0.52)	1.21(0.53)

계속 줄어들지 않는 것은(그림 5 ~ 9, (c)) 필터 설계시 예측하는 부분의 생략으로 인하여 보다 정확한 해를 제대로 추정하지 못했기 때문으로 생각된다. 그리고 많은 양의 자료들을 기준국으로 전송하는데 많은 어려움이 있었다. 실험에 사용된 무선 자료 통신은 IS-95C 서비스 망을 이용하는데 이 서비스는 자료 전송양이나 속도면에서 좋은 성능을 보인다(방효창 2000). 하지만 도심에서 벗어난 변두리 지역으로 갈수록 음성 자료 통신에 밀려 자료 전송이 잠시 중단되는 경우가 종종 발생한다. 음성과 자료 통신 모두를 서비스하는 IS-95C 망은 사용자가 많은 도심지역에 주로 설치되어 있는 반면 사용자가 적은 도심외곽지역은 음성 자료 통신을 우선으로 하는 IS-95A, IS-95B 서비스 망이 설치되어 있기 때문이다.

자료 전송과 관련되어 도심외곽지역의 사용자를 위한 보다 확대된 자료 전용 서비스 망이 구축되면 전송지연이나 끊김 현상을 줄일 수 있을 것이다. 그리고 측위 정확도를 좀 더 향상시키기 위해 모호수 결정 알고리즘이 추가되면 cm 수준의 측위결과를 얻을 수 있을 것으로 생각된다. 또, 장기선의 문제점 해결을 위해 가상 기준국 시스템인 VRS 기술이 iRTK에 접목되면 기선거리가 멀어도 기준국 바로 옆에서 실험이 이루어지는 것과 같은 효과를 얻어 짧은 시간 내에 정확한 측위결과를 얻을 수 있을 것이다. 하지만 현재 고정 기준국의 수가 이온층이나 대류층의 오차를 제거할 만큼 적당한 거리에 분포되어 있지 않기 때문에 정밀측위를 하기에는 다소 어려움이 있지만 향후 좀 더 많은 고정 기준국들이 골고루 갖춰진다면 보다 실용적인 VRS 시스템을 가동할 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

방효창 2000, 전과 95호 (서울: 무선관리단), p.50
 조정호, 박종욱, 최병규, 박필호 2003, 한국우주과학회지, 20, 197
 최병규 2003, 석사학위논문, 충남대학교
 Divis, D. A. 2000, GPS World, 11(6), 16
 Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Collins, J. 2001, Global Positioning System: Theory and Practice (Wien: Springer-Verlag), pp.256-264
 Rizos, C., & Satirapod, C. 2001, Measure & Map, 15, 28
 Trimble 1996, 4000SSi GPS Receiver User's Guide (California: Trimble Navigation Ltd.)
 Vallado, D. A., McClain, W. D., & Larson, W. J. 1997, Fundamentals of Astrodynamics and

Applications (New York: McGraw-Hill), pp.707-729

Vollath, U., Buecherl, A., Landau, H., Pagels, C., & Wagner, B. 2000, Proceedings of the 13th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation (Virginia: ION), p.123

Wanninger, L. 1997, in Advances in Positioning and Reference Frames, ed. F. K. Brunner (New York: Springer Verlag), pp.86-92

Welch, G., & Bishop, G. 2003, Technical Report, TR95-041 (Chapel Hill: Univ. of North Carolina)