

저가형 수신기를 이용한 실시간 GNSS 자세결정 시스템 설계 및 성능 평가

Design and Evaluation of Real-time GNSS Attitude Determination Systems using Low Cost Receivers

채 정 근* · 이 동 선* · 강 인 숙** · 박 찬 식†
(JeongGeun Chae · DongSun Lee · In-Suk Kang · Chansik Park)

Abstract - In this paper, the real-time attitude determination based Matlab using low-cost receivers was designed and evaluated. The GNSS attitude determination system was implemented to operation in real-time by TimerCallback in MATLAB. The TTM(Transmission Time Misalignment) of U-blox receiver was confirmed through zero baseline tests and this problem was revised. The computed attitude by the high-cost NovAtel receiver was compared to the computed attitude by the low-cost U-blox receiver. As a result of this, the performance of attitude determination systems by low-cost receiver was confirmed. To determine baseline, LAMBDA and BC-LAMBDA for integer ambiguities search methods were used. To confirm suitable integer ambiguity search method in real-time attitude determination algorithm, determined baselines by two methods were compared, and it was confirmed that BC-LAMBDA is more suitable. As a result of this, the operation of real-time attitude determination system was confirmed using 3 low-cost receivers.

Key Words : Attitude Determination System, Low Cost Receiver, Real-time

1. 서 론

항법 시스템을 구성하기 위해서는 항체의 위치, 속도 및 자세 정보가 필요하다. 기존의 자세를 측정하는 대표적인 항법 시스템으로 관성 항법 시스템이 있으며 관성 센서를 이용하여 항체의 가속도 및 각속도를 측정하고 이를 적분하여 사용하기 때문에 외부의 도움 없이 연속적인 항법 결과를 제공하는 장점이 있으나, 관성 센서들이 가지는 드리프트(drift), 바이어스(bias) 등의 오차 요인으로 시간에 따라 오차가 증가하는 단점을 가지며, 특히 항공기나 포신의 각도를 측정하려는 고정밀 항법 결과를 요구하는 응용에서는 작은 오차 값을 가지는 관성 센서를 사용해야 하므로 많은 비용이 요구된다. 이러한 관성 항법 시스템의 단점을 보완하기 위하여 최근에 위성 항법 시스템인 GNSS(Global Navigation Satellite System)를 이용하여 위치 및 속도뿐 아니라 정밀한 자세를 측정하는 연구가 활발하다[1,2]. GPS를 이용하여 정밀한 자세를 측정하기 위해서는 항체에 2개 이상의 안테나를 장착하여 정밀한 반송파 위상 측정치를 획득한 후 이로부터 안테나 사이의 기저선 벡터를 구해야 하며, 반송파

위상 측정치가 포함하고 있는 미지정수를 우선적으로 결정하여야 한다. 자세결정에서는 실시간 고 신뢰도의 항법 요구를 만족시키기 위하여 특화된 미지정수 결정기법 [2,3,4,5,6,7,8,9]이 요구되며 이미 상용화된 제품도 소개되었다[10].

LAMBDA(Least-squares AMBIGUITY Decorrelation Adjustment)[6,7,8] 기법은 대표적인 미지정수 결정기법이며 이미 많은 시스템에서 적용되고 있다. LAMBDA 기법은 기본적으로 정수의 조건을 갖는 정수 최소자승법 (ILS: Integer Least-Squares)의 해를 구하는 방법으로 체계적인 이론과 더불어 뛰어난 성능과 계산상의 이점을 갖고 있다. 그러나 LAMBDA 기법은 측위에 기반을 둔 방법으로 자세결정에 적용하기 위하여 수정이 필요하다. 자세결정에서는 두 안테나 사이의 거리 혹은 기저선 벡터의 길이를 이미 알고 있으며, 그 길이가 항체의 움직임에 무관하게 일정하다는 추가의 조건이 있으므로 이를 이용하면 미지정수 검색의 성공률을 더욱더 향상시킬 수 있으며 이를 제약조건으로 활용하는 BC-LAMBDA(Baseline Constrained LAMBDA) 기법이 소개되었다[9]. BC-LAMBDA 기법은 기존의 LAMBDA를 기반으로 구현되었으며 기존의 다른 미지정수 결정 기법에 비하여 적은 계산 량으로도 월등히 높은 검색 성공률을 얻을 수 있으며 저가의 단일 주파수 GPS 수신기로도 실시간 자세 결정 시스템을 구축할 수 있다고 알려져 있다.

자세결정 시스템을 구축하기 위해서는 의사거리로 코드 및 반송파 위상 측정치를 출력하고 동시에 위성 위치 계산을 위한 항법메시지도 출력하는 수신기가 필요하다. 이런 원시 측정치를 제공하는 수신기는 많지 않으며 대부분 고가이다. 본 논문에서는 원시 측정치를 제공하는 저가형 GPS

† Corresponding Author : Dept. of Control and Robot Engineering, Research Institute of Computer Information and Communication, Chungbuk National University, Korea.
E-mail : chansp@cbnu.ac.kr

* Dept. of Control and Robot Engineering, Chungbuk National University, Korea.

** SAMYUNG ENC Co.,Ltd.

Received : May 7, 2014; Accepted : August 21, 2014

수신기인 u-blox사의 LEA-6T [11]를 이용하여 삼차원 자세 결정시스템을 구현하는 자세한 과정을 나타내었다. MATLAB을 이용하여 실시간으로 3개의 LEA-6T 수신기로부터 원시 측정치를 수신하고, BC-LAMBDA 기법을 적용하여 미지정수를 결정하고 이로부터 자세를 구하는 과정을 설계하였다. 특히 저가 수신기 시계 오차로 발생하는 시계도약 문제를 해결하는 방법[12]을 포함한 3차원 자세결정시스템의 구현 방법을 제시하였다. 구현된 시스템은 실제 실험을 통하여 그 성능을 평가하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 GNSS를 이용한 자세결정 기법과 대표적인 미지정수 결정기법인 LAMBDA와 BC-LAMBDA 기법을 소개한다. 3장에서는 우선 u-blox의 LEA-6T 수신기를 이용한 3차원 자세결정시스템의 설계하고 고성능 수신기인 NovAtel사의 ProPak-V3 수신기와 저가형 수신기인 u-blox사의 LEA-6T에 적용한 결과를 보인다. 특히 저가형 수신기에서 발생하는 시계도약 현상을 분석하고 그 해결책을 제시한다. 4장에서는 구현된 자세결정시스템을 이용한 실제 실험 결과와 성능 평가를 나타내고, 마지막 5장에 결론을 나타내었다.

2. GNSS를 이용한 자세결정

2.1 기저선 벡터를 이용한 자세결정 기법

선형화된 GNSS 측정 식은 다음과 같이 표현된다[13].

$$y = Aa + Bb + e \tag{1}$$

여기서 $y \in R^m$ 는 GNSS 측정치 벡터, a 와 b 는 각각 차수가 n 과 p 인 미지수, e 는 측정 오차 벡터를 나타낸다. 실제로 모든 GNSS 측정 식은 (1)로 나타낼 수 있다. $a \in Z^n$ 는 이중 차분된 미지정수를, $b \in R^p$ 는 기저선 벡터를 나타낸다. 자세 결정의 경우 기저선의 길이가 짧고 항상 실시간 동적 모델을 사용하므로 본 논문에서는 $p=3$ 인 모델을 고려한다. $(n+1)$ 개의 위성이 사용되는 경우 n 개의 이중 차분된 미지정수가 있으며, 반송파 위상과 코드 측정치를 동시에 사용하면 측정치의 차수는 $m=2n$ 이 된다.

정수의 제약을 갖는 GNSS 측정 식 (1)의 해는 다음과 같이 세 단계로 나누어 구할 수 있다. 첫 단계에서는 미지정수에서 정수의 제약조건인 $a \in Z^n$ 을 무시하고 일반 최소자승법을 적용하여 실수 영역에서의 a 와 b , 그리고 공분산 행렬을 구한다. 해는 (2)로 나타낼 수 있으며 실수해로 불린다.

$$\begin{bmatrix} \hat{a} \\ \hat{b} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} Q_{\hat{a}} & Q_{\hat{a}\hat{b}} \\ Q_{\hat{a}\hat{b}} & Q_{\hat{b}} \end{bmatrix} \tag{2}$$

두 번째 단계에서는 실수 영역의 추정치 \hat{a} 을 이용하여 정수 영역에서의 해 \check{a} 를 구한다. 이는 n 차의 실수 영역에서 n 차의 정수 영역으로의 사상(mapping) $S: R^n \rightarrow Z^n$ 으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\check{a} = S(\hat{a}) \tag{3}$$

일단 미지정수가 결정되면 이를 이용하여 세 번째 단계에서 실수해 \check{b} 를 보정한다. 최종적으로 구해진 보정해와 공분산 행렬은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \check{b} &= \hat{b} - Q_{\hat{b}\hat{a}}^{-1}(\hat{a} - \check{a}) \\ Q_{\check{b}} &= Q_{\hat{b}} - Q_{\hat{b}\hat{a}} Q_{\hat{a}}^{-1} Q_{\hat{a}\hat{b}} \end{aligned} \tag{4}$$

항체에 부착된 두 개 이상의 안테나로부터 얻어진 GNSS 측정치를 이용하면 항체의 정밀한 자세를 구할 수 있다 [1]. 식 (4)의 보정해는 ECEF(Earth Centred Earth Fixed) 좌표계에서 표현된 벡터이며 좌표변환에 의하여 항법 좌표계(본 논문에서는 ENU(East North Up) 좌표계)에서의 벡터, \check{b}^n 로 변환할 수 있다. 일반적으로 항체는 강체(rigid body)이므로 항법 좌표계에서의 벡터 \check{b}^n 와 동체좌표에서 표현된 기저선 벡터를 비교함으로써 항체의 자세를 구할 수 있다. 동체 좌표계에서의 기저선 벡터, \check{b}^b 는 안테나 설치 시에 정확하게 측정해 둘 수 있다. 두 좌표계에서 표현된 기저선 벡터의 관계는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\check{b}^b = C_\phi C_\theta C_\psi \check{b}^n \tag{5}$$

여기서 C_ϕ 은 수직 축을 중심으로 한 회전 (요 혹은 방위 각(heading)), C_θ 는 수평면에 대한 회전 (피치 혹은 앙각(elevation)), C_ψ 는 항체의 진행 방향과 평행한 축을 중심으로 한 회전 (롤)을 각각 나타낸다. 좌표변환 행렬 $C_n^b = C_\phi C_\theta C_\psi$ 은 3×3 행렬로 3개의 오일러각(Euler angles: ϕ , θ 및 ψ)을 포함한다.

식(5)를 이용하여 자세를 구하는 방법은 Wahba 방법 [14,15], 최소자승법[16,17] 및 직접법(direct method)[16]가 있다. 본 논문에서는 구현이 용이하고, 기저선이 하나일 경우 2차원 자세 결정이 가능하며, 두 개 이상의 기저선으로 3차원 자세결정이 가능한 직접법을 사용하였다. 그림 1과 같이 3개의 안테나 A, B, C가 항체에 부착된 경우, A를 기준 안테나로 두고 동체좌표계의 원점으로 정의한다. 안테나 A에서 B로 향하는 기저선 방향을 x^b 축, 3개의 안테나가 존재하는 평면과 수직 방향을 z^b 축이라 정의 한다. y^b 축은 x^b 축에 수직인 방향으로 정의한다.

GNSS를 이용하여 구해진 (6)의 항법 좌표계에서의 기저선 벡터를 이용하면 요(ψ)와 피치(θ)를 (7)과 (8)로 구할 수 있다.

$$b_B^n = [x_B^n \ y_B^n \ z_B^n]^T, \ b_C^n = [x_C^n \ y_C^n \ z_C^n]^T \tag{6}$$

$$\psi = -\tan^{-1}(x_B^n / y_B^n) \tag{7}$$

$$\theta = \tan^{-1}(z_B^n / \sqrt{(x_B^n)^2 + (y_B^n)^2}) \tag{8}$$

b_C^n 를 요, 피치, 롤 순서로 회전하면 동체좌표계와 일치하며 이 과정은 (9)로 나타낼 수 있다. 따라서 롤은 (10)으로 구할 수 있다.

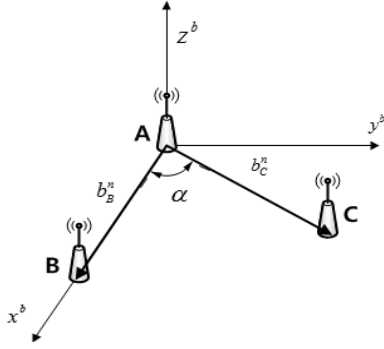


그림 1 안테나 배치와 동체좌표계
Fig. 1 Antenna placement and body coordinate system

$$\begin{bmatrix} L_C \cos\alpha \\ L_C \sin\alpha \\ 0 \end{bmatrix} = C_\phi C_\theta C_\psi \begin{bmatrix} x_C^n \\ y_C^n \\ z_C^n \end{bmatrix} = C_\phi C_\theta \begin{bmatrix} x_C' \\ y_C' \\ z_C' \end{bmatrix} = C_\phi \begin{bmatrix} x_C'' \\ y_C'' \\ z_C'' \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$\phi = -\tan^{-1}(z_C''/x_C'') \quad (10)$$

2.2 미지정수 결정 기법

2.2.1 LAMBDA 기법[6,7,8]

실수해 \hat{a} 로부터 정수 미지정수 \check{a} 를 구하는 방법에는 정수 반올림(integer rounding), 정수 부트스트랩(integer bootstrapping) 및 정수 최소자승법(ILS)이 있으며, 미지정수의 검색 성공 확률을 최대화하는 관점에서 정수 최소자승법이 가장 많이 사용된다. LAMBDA 기법은 정수 최소자승법의 효과적으로 구현으로 (1)의 GNSS 측정치에 대하여 (11) 최소화 문제의 해를 제공한다. 여기서 Q_y 는 측정치의 공분산 행렬이다.

$$\min_{a,b} \|y - Aa - Bb\|_Q^2, \quad a \in Z^n, \quad b \in R^p \quad (10)$$

(10)의 정수 제한 $a \in Z^n$ 을 갖는 문제는 일반적인 최소자승법으로 해를 구할 수 없으며 [6,7,8]에서 정수 최소자승법으로 소개하고 해를 구하는 방법을 제시하였다. 정수 최소자승법은 i) 실수 영역에서 해를 구하고, ii) 검색을 통하여 정수 영역에서의 해를 구하고, iii) 구해진 정수해를 이용하여 최종 위치를 구하는 3단계로 구성된다. 정수 최소자승법은 LAMBDA 기법에서 체계적으로 정리, 구현되어있으며 많은 참고 문헌들에서 상세한 내용을 다루고 있다 [6,7,8].

2.2.2 BC-LAMBDA 기법[9]

정확한 기저선의 길이를 알고 있고, 그 길이가 변하지 않는다면 이 사실을 이용하여 자세결정의 성공률을 보다 높일 수 있다. 기저선 길이의 제약조건 (11)로 나타낼 수 있다.

$$\|b\|_I^2 = l^2 \quad (11)$$

여기서 $\|\cdot\|_A^2 = (\cdot)^T A^{-1}(\cdot)$, l 은 이미 알고 있는 기저선의

길이, I 는 (3×3)의 항등 행렬(identity matrix)를 나타낸다. 위의 조건을 이용하여 기존의 ILS 문제가 자세 결정에서는 식(12)를 최소화하는 정수 벡터 $a \in Z^n$ 와 기저선 벡터 $b \in R^p$ 를 찾는 문제가 된다.

$$\min_{a \in Z^n, b \in R^p} \|y - Aa - Bb\|_{Q_y}^2 \quad \text{subject to} \quad \|b\|_I^2 = l^2 \quad (12)$$

(12)는 다음과 같이 변경할 수 있다.

$$\min_{a \in Z^n} (\|\hat{a} - a\|_{Q_a}^2 + \|\hat{b}(a) - \check{b}(a)\|_{Q_{b(a)}}^2) \quad \text{with} \quad (13)$$

$$\check{b}(a) = \operatorname{argmin}_{b \in R^p, \|b\|_I^2 = l^2} \|\hat{b}(a) - b\|_{Q_{b(a)}}^2$$

등식 제한을 갖는 정수 최소자승법 문제에는 기존의 정수 최소자승법에 $\|\hat{b}(a) - \check{b}(a)\|_{Q_{b(a)}}^2$ 항이 추가 되어 있음을 볼 수 있다. 등식 제한을 갖는 정수 최소자승법에서는 기존의 $\|\hat{a} - a\|_{Q_a}^2$ 를 최소화하고 동시에 보정된 위치해 $\check{b}(a)$ 가 알려진 기저선 벡터의 길이를 반지름으로 갖는 도형의 표면에 가능한 한 가까이 존재해야 함을 나타낸다.

등식 제한을 갖는 정수 최소자승법의 해는 일반적인 정수 최소자승법과 마찬가지로 해석적인 방법으로 구할 수 없으며 검색방법으로 구할 수 있으며 [9]에서 자세한 과정을 확인할 수 있다.

3. GNSS 자세결정 시스템의 구현

3.1 자세결정 시스템의 구현

자세 결정 시스템은 3개의 GNSS 수신기와 1대의 PC로 구성 되어있으며 수신기와 PC 사이에는 USB를 통한 직렬 통신으로 115200bps로 데이터가 전송된다. PC에서는 Matlab으로 자세결정 알고리즘을 실행한다. 실시간 동작을 위하여 미지정수를 계산은 epoch-by-epoch 방식으로 매 epoch 측정치를 독립적으로 처리하도록 구현하였다.

구현된 시스템은 그림2와 같이 초기설정부(Initial Settings), 통신부, 데이터 처리부, 데이터 보정부, 항법 및 자세결정부, 출력부로 나뉘며 순서대로 진행된다. TimerCallback에 의하여 미리 설정한 시간동안 이벤트를 발생하고 미리 구현된 반복적인 프로세스를 수행한다. 이러한 특성으로 프로세스를 진행하면서도 지속적으로 그래프를 갱신하는 것이 가능하며 사용자가 구현된 UI를 통해 실시간으로 파라미터를 변경하는 것도 가능하다.

초기설정부에서는 실시간 구현을 위하여 미지정수 검색 소요시간을 고려하여 타이머 주기를 설정하며 데이터보정부의 막음각, 락타임 막음, CN0 막음과 미지정수 검색방법, 기저선과 각도 등을 설정한다. 설정이 완료되면 통신부에서는 serial(), fopen(), fread() 함수를 이용하여 버퍼에 저장되어 있는 원시데이터를 실시간으로 수집한다. 데이터 처리부에서는 시리얼 통신 중 버퍼용량으로 인해 조각난 데이터를 재배열하여 복원하며 위성궤도력에 포함되어 있는 TOW(Time Of Week)카운터를 사용하여 측정치를 동기화 시킨다. 원시데이터가 정상적으로 동기화 되었다면 보정부

타낸다. 만약 두 수신기에서 같은 위성을 다른 위치로 인식한다면($X_A^i \neq X_B^i$), 시선벡터도 달라져($h_A^i \neq h_B^i$) 수신기간 차분이 (15)가 아닌 (16)으로 나타난다.

$$\tilde{\Phi}_{AB}^i = (h_B^i)^T(X_B^i - b_B) - (h_A^i)^T(X_A^i - b_A) + cB_{AB} + \lambda d_{AB}^i + v_{AB}^i \quad (16)$$

(16)이 (15)와 같아지기 위하여 (17)의 보정치를 계산하고 이 값을 (18)에서 보는 바와 같이 보상하여 사용한다. (17)에서 b_r 은 기준점의 위치를 나타내며 코드측정치로 구한 위치 혹은 이전 epoch에서 구한 위치를 사용하면 된다.

$$\Delta_{AB}^i = (h_A^i)^T[X_A^i - b_r] - (h_B^i)^T[X_B^i - b_r] \quad (17)$$

$$\hat{\Phi}_{AB}^i = \tilde{\Phi}_{AB}^i + \Delta_{AB}^i \quad (18)$$

(17)과 (18)을 이용하여 그림 2에서 TTM Correction 부를 구성하고 영기저선 실험을 수행하면 시계도약 문제가 사라진 그림 5의 결과를 얻는다. 그림에서 저가의 수신기를 사용해도 NovAtel 수신기와 유사한 정밀도의 반송파 위상 측정치를 얻을 수 있으며, 이를 이용하면 정밀 자세를 구할 수 있을 것으로 기대된다.

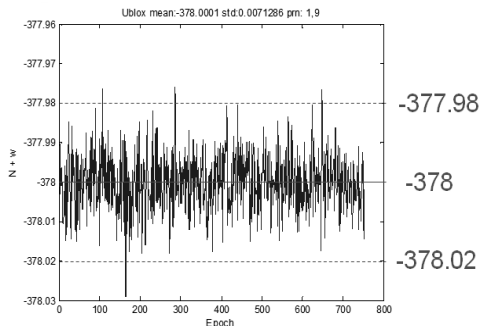


그림 5 영기저선 실험 (TTM 보정 사용)
Fig. 5 Zero baseline results(Using TTM correction)

4. 실험 및 성능 평가

먼저 고가의 수신기와 저가의 수신기의 비교 실험을 통해 저가형 수신기를 이용한 자세결정 시스템의 성능을 확인하였다. 구현된 자세결정 시스템으로 고가의 Novatel 수신기를 이용하여 출력된 자세와 저가의 U-blox 수신기를 이용하여 출력된 자세를 비교하여 저가형 수신기의 성능을 확인하였다. 또한 BC-LAMBDA와 LAMBDA의 미지정수 결정 방법에 따른 기저선 검출 성능을 비교하였다. 이 두 가지 실험은 정지 상태에서 1개의 기저선으로 진행하였으며, 충북대학교 E-10동 옥상에 1.4m 간격으로 두 개의 안테나를 고정하여 실험을 진행하였다.

또한 3개의 수신기를 이용하여 결정된 자세의 성능을 확인하였다. 저가형 GPS 수신기 3개를 이용하여 실시간으로 고가의 GPS 수신기의 성능과 대등하게 동작함을 확인하였다.

4.1 GNSS 수신기에 따른 성능 비교

구현된 시스템의 성능을 비교하기 위해 BC-LAMBDA를 사용하여 미지정수를 구하고, NovAtel 와 U-blox 각각의 수신기를 이용하여 자세결정 실험을 진행하였다. 기준선 1개로 실험을 진행하여 요와 피치가 출력된다. 그림 6은 고가의 NovAtel 수신기를 사용하여 자세를 결정한 결과이며, 그림 7은 저가의 U-blox 수신기를 사용하여 자세결정 실험 결과를 나타내었다. U-blox 수신기의 헤딩은 평균 36.02°, 표준편차 0.06°이고 피치는 평균 -2.46°, 표준편차 0.15°로 정밀한 결과를 나타내었다. NovAtel 수신기의 헤딩 35.88°과 피치 -2.24° 와 비교하여 헤딩은 0.14° 피치는 0.22°의 차이 이내로 정확한 결과를 얻을 수 있었다.

구현된 자세결정시스템에서 저가의 U-Blox 수신기로 얻은 자세는 고가의 NovAtel의 수신기로 얻은 자세와 대등한 성능을 가지는 것을 확인할 수 있다.

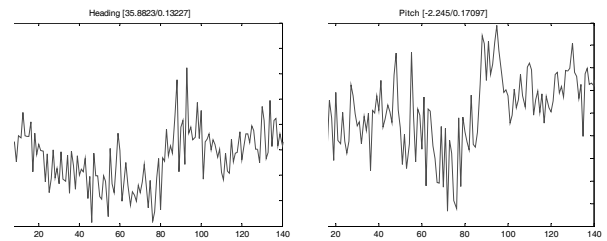


그림 6 고가의 NovAtel수신기 자세 출력
Fig. 6 Attitude output of expensive NovAtel receiver

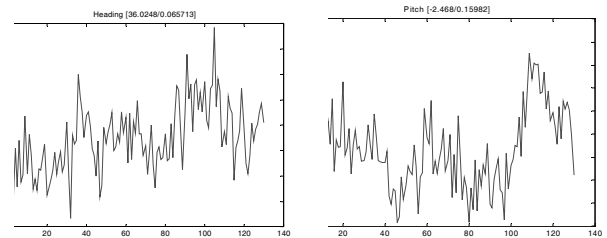


그림 7 저가의 U-blox수신기 자세 출력
Fig. 7 Attitude output of low-cost U-blox

4.2 미지정수 결정기법에 따른 기저선 검출 성능 비교

구현된 시스템은 미지정수 결정 방법에 따라 다른 결과를 보였다. 실험은 U-blox 수신기를 이용하여 1개의 기저선을 이용하여 실험을 진행 하였다. 일반적으로 사용하는 미지정수 검색방법인 LAMBDA와 기저선의 길이를 알고 있을 경우 사용 가능한 BC-LAMBDA를 사용하여 기저선 검출 성능을 비교하였다.

그림 8은 미지정수 결정 방법에 따른 기저선 검출 결과를 나타내며 그림 8(a)는 LAMBDA를 사용한 결과를 나타내었고, 그림 8(b)는 BC LAMBDA의 결과다. 그림에서 가운데 (0,0)에 위치한 별점은 기준 안테나의 위치이고 그 외에 분포되어 있는 점들은 기저선 위치이다. 약 3분동안 고정된 안테나를 이용하여 기저선을 검출하였다.

그림 8.(b)에서 기저선 제약이 있는 BC-LAMBDA를 사용할 경우 실험 동안 기저선 1.4m 부근의 한 점에 모인 것을 확인할 수 있다. 그림 8.(a)에서 LAMBDA를 사용할 경우 기저선이 참값 외에도 여러 방향으로 흩어진 것을 확인할 수 있다. 기저선의 제약이 있는 경우 BC-LAMBDA를 사용할 때 성능이 더 나은 것으로 확인된다.

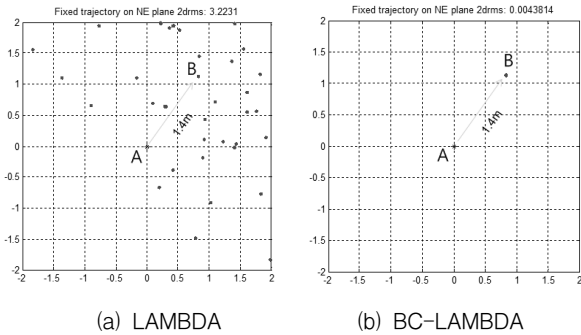


그림 8 기저선 검출 실험 결과
Fig. 8 Baseline detection results

4.3 저가형 수신기를 이용한 3차원 자세 결정

앞의 두 실험을 통해 저가형 U-blox 수신기를 사용했을 경우 NovAtel 수신기를 사용했을 경우와 비슷한 성능을 보임과 기저선 길이를 알고 있을 때 BC-LAMBDA로 미지정수를 결정할 경우 기저선이 더욱 잘 검출되는 것을 확인할 수 있었다. 이를 바탕으로 수신기는 저가의 U-blox 수신기를 사용하고, BC-LAMBDA를 이용하여 기저선을 검출하여 자세를 추정하였다.

3개의 U-blox 저가형 수신기 EVK-6T를 사용하여 2개의 기저선을 만들었다. 그림 9(a)와 같이 차량 위에 A, B, C 세 개의 안테나를 설치했다. A는 두 기저선의 기준국이 되며 B와 C는 각각 사용자 수신기가 되고 진행 방향은 그림9(a)에서 표시한 방향과 같다. 실험은 2013년 10월 17일에 가시 위성 확보가 원활한 충청북도 청주에 위치해 있는 문암 생태 공원 주차장에서 이루어졌으며, 실험 당시 가시 위성 정보는 그림 9(b)와 같다.

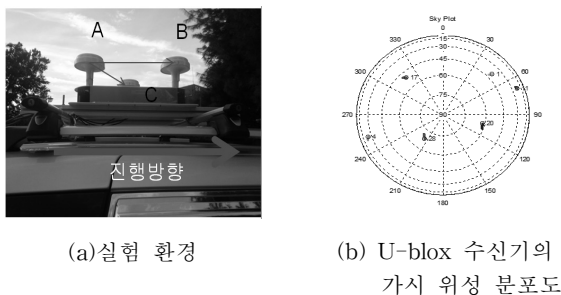
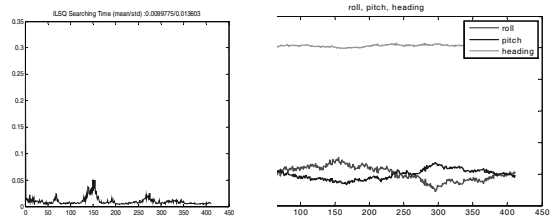


그림 9 자세결정 실험 환경 및 가시 위성 분포도
Fig. 9 Attitude determination experiment environment and visible satellite distribution



(a) 미지정수 검색 시간 (b) 2개의 기저선을 이용한 자세결과

그림 10 2개의 기저선을 이용한 자세결정 결과
Fig. 10 Results of attitude determination using two baselines

실험 결과는 그림10과 같으며 AB 기저선의 평균오차는 11mm이고, AC기저선의 평균 오차는 8mm로 1cm이내의 오차로 결과가 정밀함을 확인했다. 2개의 기저선을 이용하여 계산한 자세는 그림10(b)에 나타내었다.

롤, 피치, 요의 평균값은 각각 0.44°, -0.127°, 40.61° 이고, 표준편차는 2.20°, 1.48°, 0.32°이며, 미지정수 검색시간은 평균 9msec 최대 250msec로 구현된 자세결정 시스템이 1초 간격으로 실시간으로 동작되는 것을 확인하였다.

5. 결 론

본 논문에서 저가형 수신기를 사용하여 GNSS 자세결정 시스템을 MATLAB에서 설계하고 실시간 동작을 확인하였다. 저가형 GPS 수신기의 반응과 측정치 특성을 알아보기 위해 0m 기저선 실험을 했으며, 내부 시계 오차로 서로 다른 두 수신기가 동일한 위치에서 바라보는 위성위치가 다른 현상을 확인하였다. 이 시계오차를 보정하고 저가형 GPS를 이용한 자세결정 시스템을 구현하였다.

구현된 시스템의 성능을 확인하기 위해 동일한 환경에서 고가형 NovAtel 수신기와 저가형 U-blox수신기로 자세결정 알고리즘을 적용하였고, 자세 결과를 비교하여 성능이 비슷함을 확인하였다. 구현된 시스템에 적합한 미지정수 결정 방법을 알아보기 위해 미지정수 결정 방법 따른 기저선 검출 실험을 진행하였고, 기저선 길이의 제약을 두는 BC-LAMBDA가 구현된 시스템에 적합함을 확인 하였다. 저가형 GPS 수신기 3개를 사용하고 기저선은 BC-LAMBDA로 구하여 자세를 결정하였을 경우 미지정수 검색시간은 평균 약 9msec가 소요되었다. 구현된 시스템은 1초 간격으로 측정치를 수신하므로 실시간 동작 가능함을 확인했다.

구현된 시스템은 GPS L1 측정치만으로 자세를 결정하기 때문에 신호에 제약이 따른다. 이를 극복하기 위해 GPS L2, 그리고 GALILEO, Beidou, GLONASS와 같은 다중 GNSS 시스템을 이용한 실시간 자세결정 시스템이 고려되어야 한다. 또한 구현된 GPS 자세결정시스템과 INS의 통합 자세결정 시스템으로 확장이 고려된다.

감사의 글

이 논문은 ㈜삼영 ENC의 지원과 2014학년도 충북대학교 연구년제 지원에 의하여 연구되었음.

References

[1] Chansik Park, "Attitude determination from GPS carrier phase measurements", Doctor of Engineering Thesis, Dept. of Electrical and Computer Engineering. SNU, 1997.

[2] Seok Bo Son, Chansik Park, Sang Jeong Lee, "Design of a Two-dimensional Attitude Determining GPS Receiver", Journal of the KIMST, Vol.3, No.2, pp.131-139, December 2000

[3] Frei, E. and G. Beutler "Rapid Static Positioning Based on the Fast Ambiguity Resolution Approach 'FARA': Theory and First Results", Manuscripta Geodaetica, Vol. 15, pp. 325-356, 1990

[4] Euler, H.J. and H. Landau "Fast Ambiguity Resolution On-the-Fly for Real-Time Applications", Proceedings of the 6th International Symposium on Satellite Positioning, Columbus, Ohio, pp. 650-659, 1992.

[5] Chansik Park and IlSun Kim, "An Integer Ambiguity Resolution Method for GPS Attitude Determination", Journal of Control, Automation and Systems Engineering, Vol.5, No.1, pp.62-68, January 1999.

[6] Teunissen, P.J.G. "A New Method for Fast Carrier Phase Ambiguity Estimation. Proceedings of IEEE Position, Location and Navigation Symposium, Las Vegas, Nevada, pp. 562-573, 1994.

[7] Teunissen, P.J.G., Least-squares estimation of the integer ambiguities. Delft Geodetic Computing Centre LGR series, No. 6, 1993

[8] Teunissen, P.J.G., and A. Kleusberg editors, GPS for Geodesy, 2nd edition, Springer-Verlag, Berlin, Germany, 1998

[9] Chansik Park and P.J.G. Teunissen, "A Baseline Constrained LAMBDA method for an Integer Ambiguity Resolution of GNSS Attitude Determination Systems", Journal of Institute of Control, Robotics and System, Vol.14, No.6, pp.587, June 2008.

[10] Ashtech "Three-Dimensional Attitude Determination with the Ashtech 3DF 24-Channel GPS Measurement System", Company Publication, 1991.

[11] <http://www.u-blox.com>

[12] Hee-sung Kim and Hyung-Keun Lee, "Elimination of Clock Jump Effects in Low-Quality Differential GPS Measurements", Journal of Electrical Engineering & Technology Vol. 7, No. 4, VA, 1994, pp.626- 635

[13] Hofmann-Wellenhof, B.H., H. Lichtenegger and J. Collins, "Global Positioning System Theory and Practice", Springer-Verlag, Wien, 1993.

[14] Cohen, C.E., H.S. Cobb and B.W. Parkinson, "Generalizing Wahba's Problem for High Output Rates and Evaluation of Static Accuracy Using a Theodolite", Proceedings of ION GPS-92, 1992.

[15] Wahba, G. "A Least Square Estimate of Spacecraft Attitude", SIAM Review, Vol.7, No.3, 1965.

[16] Lu G. "Development of a GPS Multi-Antenna System for Attitude Determination", UCGE Reports #20073, Dept. of Geomatics Eng., The Univ. of Calgary, Jan. 1995.

[17] El-Mowafy, A. "Kinematic Attitude Determination From GPS", UCGE Reports #20074, Dept. of Geomatics Eng., The Univ. of Calgary, Dec., 1994.

[18] <http://www.novatel.com/products/gnss-antennas/high-performance-gnss-antennas/gps-702-gg/>

[19] <http://www.gpssource.com/products/gps-splitter/1>

저 자 소 개



채 정 근 (蔡正根)

2013년 2월 충북대학교 전자공학과 졸업.
2013년 3월 ~ 현재 충북대학교 제어로봇공학과 석사과정. 관심분야는 관성항법, 센서네트워크, 임베디드 시스템
Tel : 043-261-3259
E-mail : cjj0731@cbnu.ac.kr



이 동 선 (李東仙)

2014년 2월 충북대학교 전자공학과 졸업.
2014년 3월 ~ 현재 충북대학교 제어로봇공학과 석사과정. 관심분야는 GNSS 자세결정, 재밍감응
Tel : 043-261-3259
E-mail : zaza0626@cbnu.ac.kr



강 인 숙 (康仁淑)

1996년 2월 부산대학교 컴퓨터공학과 졸업. 2002년 ~ 현재 삼영ENC(주) 연구소 책임연구원. 관심분야는 GNSS 자세결정, 관성항법
Tel : 051-60-6682
E-mail : kisparry@hotmail.com



박 찬 식 (朴贊植)

1984년 서울대학교 제어계측공학과 졸업. 1986년 동 대학원 석사. 1997년 동 대학원 박사. 1987년 ~ 1997년 삼성전자 연구원 1997년 ~ 현재 충북대학교 교수. 관심분야는 GNSS, PNS, SDR, 미지정수 결정 알고리즘, 오차해석
Tel : 043-261-3259
E-mail : chansp@cbnu.ac.kr