Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography 2003 / Busan / Korea

LAMBDA 방법에 의한 L1 반송파 미지정수 결정

Integer Ambiguity Resolution of L1 Carrier Phase Using LAMBDA Method

강준묵[1], Joon-Mook Kang · 박정현[2], Joung-Hyun Park · 선재현[3], Jae-Hyun Sun · 최웅[4], Choi Woong

[1] 정회원 · 충남대학교 공학대학 토목공학과 교수 · 공학박사 · 042-821-5678 (E-mail:kang_jm@cnu.ac.kr)
[2] 정회원 · 동강대학 토지정보관리과 겸임교수 · 공학박사 · 062-520-2379 (E-mail:parkjh70@empal.com)
[3] 정회원 · 충남대학교 공과대학 토목공학과 박사과정 · 042-821-7747 (E-mail:civilsun7@empal.com)
[4] 정회원 · 충남대학교 공과대학 토목공학과 석사과정 · 042-821-7747

개요 : 높은 정밀도를 갖는 상대위치결정은 매우 정밀한 반송파 측정값을 이용하며, 단기간에 높은 정밀도를 얻기 위해서는 미지정수가 결정되어야 한다. 본 논문에서는 LAMBDA 방법을 이용하여 이중차 미지정수를 해결하는 알고리즘을 정립하고, L1 반송파를 이용하여 상대위치를 결정하는 프로그램을 개발하였다.

key words: LAMBDA, 이중차, 반송파, 상대위치결정

1. 서 론

GPS는 위성을 기준으로 한 위성측량시스템으로 코드와 반송파를 측정하여 측점의 3차원 위치를 결정한다. 한 점을 기준으로 다른 점의 위치를 결정하는 상대위치결정의 경우, 코드에 의한 위치 결정은 간단하지만 1m 정도로 정확도가 낮으며, 반송파 측정값은 cm까지 정확하게 위치 결정를 결정할 수 있으나, 초기에 위성과 수신기간 파장의 수(미지정수)를 알아야 하는 단점이 있다.

미지정수를 결정하는 방법에는 AFM(Ambiguity Function Method), LSAST(Least Square Ambiguity Search Techniques), PARA(Fast Ambiguity Resolution Approach), LAMBDA(Least square AMBiguity Decorrelation Adjust) 등이 있다.

LAMBDA는 1993년 P.J.G Teunissen에 의해 소개된 방법으로, 미지정수를 비 상관화 시켜 미지정수 검색 시간을 단축시킬 수 있는 매우 효과적인 방법이며, 1997년 Kai. Borre에 의해 Matlab 으로 프로그램 되었다. Matlab은 행렬연산이 쉽고, 대부분이 함수화 되어 있기 때문에 프로그램하기 쉬우나, 실행화일을 만들 수 없으므로 Matlab 프로그램이 없으면 실행하여 결과를 볼 수 없는 단점이 있다.

본 논문에서는 LAMBDA에 의한 미지정수 결정 알고리즘을 정립하고, 객체지향형 프로그램인 Visual C++ 6.0을 이용하여 L1 반송파에 의한 이중차 정수해 계산 프로그램을 개발하고자 한다.

2. 기본이론

2.1 이중차

미지정수 결정은 이중차 반송파 위상에 대한 파장의 수를 정수로 결정하는 과정을 말한다. 이중차 관측 방정식을 선형화하여 개념적인 구조로 나타내면 식(1)과 같다.

$$y = A \times a + B \times b + e \qquad (1)$$

여기서, y : 측정된 이중차 반송파 위상 측정값과 계산된 이중차 위상 측정값 사이의 차
a : 이중차 미지정수 벡터
b : 위치보정 성분벡터
A,B : 미지정수와 위치벡터 관련 행렬, e : 모델화 되지 않은 오차

식(1)을 이용하여 이중차 실수 미지정수 측정값 $\hat{a}$, 위치해 $\hat{b}$, 그리고, 각각의 공분산 행렬 $Q_{\hat{a}}$, $Q_{\hat{b}}$를 구할 수 있다. LAMBDA를 이용한 미지정수 결정에는 식(1)에서 획득된 실수 미지정수 $\hat{a}$ 와 공분산 행렬 $Q_{\hat{a}}$ 이용하며, 식(2)의 조건을 최소 하는 정수 미지정수 $\bar{a}$를 계산하게 된다.

$$\min \| \hat{a} - a \|^2_{Q_a^{-1}}, \; a \in Z^n \tag{2}$$

LAMBDA 방법을 이용하여 미지정수가 올바로 해결되면, 식(3)을 이용하여 미지점의 좌표를 구할 수 있다.

$$\bar{b} = \hat{b} - Q_{\hat{b}\hat{a}} \, Q_{\hat{a}}^{-1} (\hat{a} - \bar{a}) \tag{3}$$
$$Q_{\bar{b}} = Q_{\hat{b}} - Q_{\hat{b}\hat{a}} \, Q_{\hat{a}}^{-1} \, Q_{\hat{a}\hat{b}}$$

2.2 LAMBDA

GPS의 경우 주로 이중차를 이용하며, LAMBDA 방법은 크게 상관관계에 있는 이중차 미지정수를 Z 변환을 통해 비 상관화 시키고, 타원 영역의 검색 범위를 지정하여 실수 미지정수에 가장 근접한 정수의 미지정수를 결정하는데 이용된다.

비 상관화 과정에서 n차원 실수 공간(R^n)이 n차원 정수 공간(Z^n)으로 변환된다. 따라서, 실수 미지정수 $\hat{a}$는 식(4)에 의해 새로운 정수 미지정수 $\hat{z}$로 변환되며, 공분산 행렬도 식(5)를 이용하여 변경된다.

$$\hat{z} = Z^T \hat{a} \tag{4}$$
$$Q_{\hat{z}} = Z^T Q_{\hat{a}} Z \tag{5}$$

정수 미지정수 검색은, 식(2)의 검색조건을 최소화하는 것으로, 식 (6)과 같이 미지정수의 분산-공분산 행렬에 의해 정의된 n 차원 미지정수로 이루어진 타원 영역의 검색 범위 내부에 있는 정수 격자점들에 대해 수행된다.

$$(\hat{a} - \bar{a})^T Q_{\hat{a}}^{-1} (\hat{a} - \bar{a}) \le \chi^2 \tag{6}$$

Z 변환으로 변경된 검색영역에서 식(2)의 검색조건을 만족하는 미지정수가 결정되면, 식(7)을 이용하여 본래의 미지정수가 계산된다.

$$\bar{a} = Z^{-T} \cdot \bar{z} \tag{7}$$

3. 프로그램 구성

LAMBDA 기법을 이용한 L1 반송파 자료처리 프로그램은 크게, 다이알로그 박스를 통한 데이터 입출력 부분(CGPSDlg 클래스)과 기선길이 및 좌표를 계산하는 부분(CGPS 클래스)으로 나누어 클래스 형태로 프로그램하고, 객체지향 언어인 Visual C++ 6.0을 이용하여 실행파일을 작성하였다.

다이알로그 박스를 통한 데이터 입출력 부분은 그림 1과 같이, 기준점과 미지점의 관측 및 항법데이터 파일명을 읽어 들이는 역할을 하며, 자료처리가 끝난 후, 기선길이와 미지점 좌표를 편집박스에 출력한다.

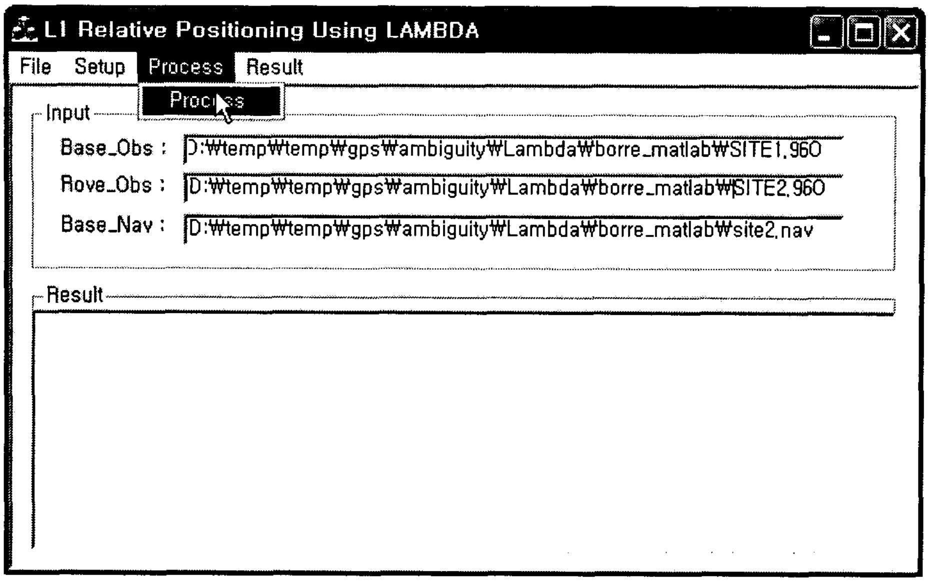

그림 1. 자료처리 프로그램의 메인 윈도우

CGPS 클래스는 크게, 이중차를 형성하여 실수해 산출, LAMBDA에 의한 미지정수 결정, 기선길이 계산 등의 단계로 이루어진다. 프로그램의 개략적인 흐름도는 그림 2와 같다.

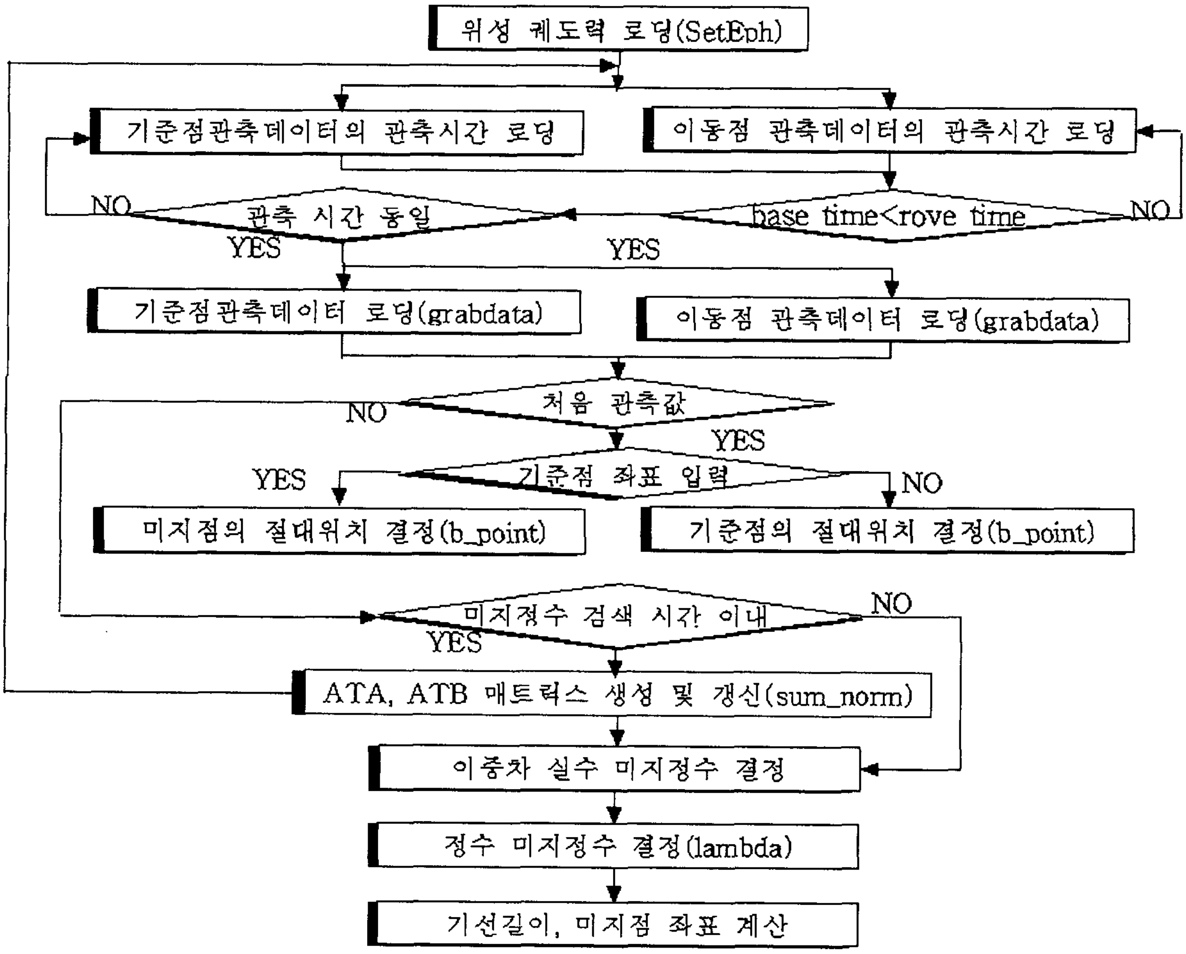

그림 2. L1 반송파를 이용한 자료처리 흐름도

4. 미지정수 결정 및 기선해석 결과

1km 이하의 단거리에서 30초 간격으로 16분 동안 관측된 RINEX 데이터를 이용하였다. 5개의 위성이 관측되었으며, 이중 가장 고도가 높은 23번 위성을 기준위성으로 이중차를 형성하고 실수해를 산출하였다. 계산된 이중차 실수해 미지정수는 표1의 (a)와 같으며, (b), (c)와 같이 정수부와 실수부로 분리한 후, 실수 부분만을 이용하여 계산이 진행된다. 실수해에 가장 근접한 정수해를 검색한 결과는 (e)와 같으며, 최종적으로 계산된 정수의 미지정수는 표 1의 (f)와 같다.

표 1. LAMBDA에 의한 미지정수 해결 과정

관측위성~기준위성	이중차 실수 미지정수 (a)	실수 미지정수의 소수부분 (b)	실수 미지정수의 정수부분 (c)	변환된 실수 미지정수 (d)	미지정수 검색결과 (e)	정수 미지정수 (f)
17~23	1776936.106	0.106	1776936	0.911	1	1776936
2~23	1169921.663	0.663	1169921	0.026	0	1169922
9~23	1193285.182	0.182	1193285	-0.066	0	1193285
10~23	4786144.810	0.810	4786144	-0.769	-1	4786145

실수 미지정수를 이용하여 이중차 정수해를 구한 결과 dx=225.790m, dy=461.428m dz=-192.882m의 기선벡터를 얻을 수 있었다. 상용프로그램인 GPSurvey 2.35로 자료처리한 결과는 dx=225.805m, dy=461.414 m, dz=-192.896m 이었으며, 개발된 프로그램과 비교하면 x, y, z 방향으로 -0.015m, 0.014m, 0.014m 의 미소한 차이가 남을 알 수 있었다.

5. 결론 및 고찰

LAMBDA 방법을 이용하여 미지정수를 해결하는 알고리즘을 정립하고, L1 반송파를 이용하여 상대위치를 결정하는 프로그램을 개발하였다. 그리고, 단기선에서 상용프로그램과 비교한 결과 수 cm 이내로 접근됨을 확인할 수 있었다. 앞으로 위성신호 단절, 다중경로 등에 대한 알고리즘이 첨가된다면, 실시간 동적 위치 결정 등에 보다 효율적으로 활용 가능하리라 기대된다.

참고문헌

1. Teunissen, P., "Least-square estimation of the integer GPS ambiguities", In IAG General Meeting, Invited Lecture, Section Ⅳ Theory and Methodology, Beijing, China (August, 1993)

2. Paul de Jonge, Christian Tiberius, "The LAMBDA method for integer ambiguity estimation: implementation aspects", Technical report. LGR Series, No. 12, Delft Geodetic Computing Centre, Delft University of Technology, The Netherlands, 1996.

3. Gilbert Strang, Kai Borre, "Linear Algebra, Geodesy, and GPS", Welldxldy-Cambridge Press.

4. Peter Joosten, "The LAMBDA-Method: Matlab TM Implemeatation", Mathematical Geodesy and Positioning , Civil Eng. and Geosciences, Delft Univ. of Technology, The Netherlands, 2000. 8. 27.