

다중 DGPS 환경에서의 위치해 정확도향상에 관한 연구

오경륜*, 원중훈**, 김종철***, 남기욱****

Study of Position Accuracy improvement with Multi-DGPS Coverage

Kyung-Ryoon Oh*, Jong-Hoon Won**, Jong-Chul Kim***, Gi-Wook Nam****

Abstract

In this study, the method to improve positioning accuracy under the multi-DGPS coverage is suggested. the linearly interpolated PRC regenerating algorithm was applied to improve the DGPS positioning accuracy at user's position by using the various PRC information obtained from multi-DGPS reference stations. To test the performance of the suggested method, the RTK-GPS result was used as the reference and the quantitative analysis results of the performance of the developed navigation algorithm are presented.

초 록

본 연구에서는 다중 DGPS 이용환경에서의 위치해 정확도향상을 위한 방법을 제안한다. 다중 DGPS 이용환경 하에 있는 사용자 위치에서의 위치정확도 향상을 위해 여러 DGPS 기준국에서 실시간 송출되는 PRC 정보를 이용한 선형보간 PRC 재생성 알고리즘이 적용되었다. 제안된 방법의 성능시험을 위해 RTK-GPS 결과를 기준데이터로 사용하였으며, 새로운 항법해 알고리즘에 대한 정략적인 분석결과가 제시되었다.

키워드 : 다중 DGPS 커버리지(Multi-DGPS coverage), 의사거리보정값(PRC), 선형보간 PRC 재생성 알고리즘(linearly interpolated PRC regenerating algorithm)

1. 서 론

항공기의 정밀 이·착륙을 위한 근거리 오차보정시스템(LAAS: Local Area Augmentation System)과 해상 항행의 안전도모를 위한 해상용 DGPS는 일정 범위에서의 위성항행시스템(GNSS : Global Navigation Satellite System)의 공통 오

차성분을 상쇄하기 위한 GNSS 보정정보를 생성하는 GBAS(Ground-Based Augmentation System)의 일종으로, 그 목적과 생성정보 면에서 대동소이하다. 단지 항공용 GNSS 보정정보는 RTCA (Radio Technical Commission for Aeronautics) 형식을 따르고, 해상용 GNSS 보정정보는 RTCM (Radio Technical Commission for Maritime

* 항행체계그룹/bigoh@kari.re.kr

** University FAF Munich /JongHoon.Won@IfEN.BauV.UniBw-Muenchen.de

*** 항행체계그룹/jckim@kari.re.kr

**** 항행체계그룹/gwnam@kari.re.kr

Services) 형식에 따라 보정정보가 패키징되어 서로 다른 전달매체(항공용은 VHF 대역, 해상용은 중파대역)를 통해 이동체에 전달되는 것이 다를 뿐이다.

GBAS(Ground-Based Augmentation System) 시스템은 그 특성상 일정 지역에 부합하는 DGPS 보정정보 서비스를 제공하기 위해 비교적 많은 수의 DGPS 기준국을 운영하고 있다. DGPS 기준국 네트워크가 이중 커버리지 이상으로 설계된 경우 이동체는 여러 DGPS 기준국으로부터 송출되는 DGPS 보정정보(PRC 등)를 수신할 수 있으나, 현재 상용으로 판매되고 있는 DGPS 수신기는 이동체에서 가장 가까운 DGPS 기준국의 DGPS 보정정보만을 수신하게 설계되어 있다.

본 연구에서는 다중 DGPS 신호 이용환경 하에서 PRC 선형보간 알고리즘을 이용한 위치해 성능향상을 위한 알고리즘을 제안하고 이의 성능을 검증하였다.

2. 다중 DGPS 이용환경

본 연구에서는 다중 DGPS 기준국의 보정정보를 실시간으로 획득하기 위해 해양수산부에서 운영하고 있는 해상용 DGPS 기준국 및 내륙 DGPS 기준국 신호를 이용하였다.

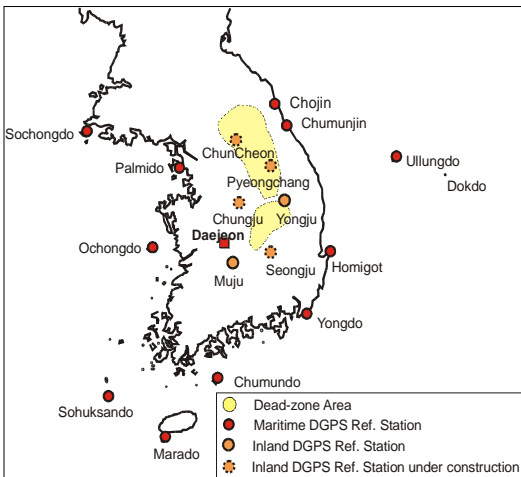


그림 1. 해양용 DGPS 기준국 현황(2005.10)

본 연구는 궁극적으로 항공항법에 적용하는 것을 목표로 하고 있으나, 현 시점에서 항공항법용 GBAS 서비스 이용이 가능하지 않고, 본 연구에서 제안하는 알고리즘이 위치정확도 향상에 주안점을 두고 있으므로, 해양용 DGPS 서비스를 이용한 성능시험의 결과는 항공항법용 적용 시에도 신뢰할 수 있으며, 개발된 PRC 재생성 알고리즘의 별다른 수정 없이 항공항법에 적용될 수 있다.



그림 2. 항공용 GBAS 서비스 시 예상되는 다중 DGPS 환경

3. 다중 DGPS 보정정보를 이용한 항법해

각 DGPS 기준국의 특정위성에 대한 보정값을 검토해 보면 기준국간 보정값들 사이에 구배가 발생함을 알 수 있다. 이 구배정보를 실시간으로 파악할 수 있다면 사용자는 자신의 위치에 부합되는 보정값을 계산해 낼 수 있다. (그림3 참조) 이를 위해서는 다중 DGPS 기준국 보정정보를 동시에 수신할 수 있는 수신기가 필요하게 된다.

본 연구에서 사용된 DGPS 보정값(PRC) 재생성알고리즘은 기본적으로 새로운 보정값을 계산하기 위해, 이동체의 위치와 DGPS 보정정보를 송출한 기준국 간의 거리를 계산하고 가장 근접

한 기준국의 보정 값에 보다 높은 가중 값을 주는 방식을 사용하였다. 새로운 보정 값을 생성하기 위하여 다음의 조건들을 가정하였다.

■ 가정

- 이동체는 자신의 위치계산을 위해 DGPS 기준국에서의 가시위성과 동일한 위성들을 사용한다.
- 공통된 위성들 중 신호가 양호한 위성이 4개 이상이다.
- DGPS 기준국에서 생성된 각 위성별 보정 값은 시간에 따른 변화량이 적으며 선형성을 가진다.

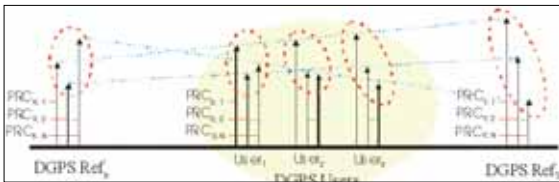


그림 3. 인접 DGPS 기준국 간의 PRC 값 구배

3.1 PRC 선형보간 알고리즘

이동체에서는 DGPS 기준국에서 공통적으로 수신한 각 위성 별 PRC에 기준국으로부터의 거리에 따른 가중치를 적용한다. 평균 가중 값은 기준국 위치와 이동체 간의 기하학적 관계에 의하여 결정된다. 만일 특정 기준국이 이동체에 가까이 있다면 높은 가중치를 주게 된다. 이러한 가중치 계수는 해석적 또는 통계적으로 결정된다. [1]

PRC 선형보간 알고리즘의 개념은 기지의 DGPS 기준국 위치정보를 이용하여 미지의 사용자 위치를 표현할 수 있다는 데서 출발한다. 즉, 미지의 사용자 위치(X, Y)는 기준국 좌표집합 $((X_1, Y_1), (X_2, Y_2), (X_3, Y_3), \dots, (X_n, Y_n))$ 의 선형조합으로 나타낼 수 있다. 위도($X_i, i=1,2,\dots, n$) 선형조합의 계수와 경도($Y_i, i=1,2,\dots, n$) 선형조합의 계수는 N개의 기준국 위치정보와 각 기준국으로부터 수신한 PRC 정보들을 이용하여 구할 수 있다. [2]

기준국의 개수가 n_r , 위성의 개수가 n^s 라고 가

정 할 때 구하고자 하는 이동체 위치에서의 선형 보간보정정보, $PRC(i=1,2,\dots,n^s, j=1,2,\dots,n_r)$ 는 모든 기준국들이 같은 위성을 측정하였다고 가정하고, 각 기준국의 PRC가 다르다고 하면 다음과 같이 식(1)로 나타낼 수 있다.[3]

$$\nabla_j^i = \nabla_1^i + a_1^i(x_j - x) + a_2^i(y_j - y) \quad (1)$$

여기서

$$x = \sum_{i=1}^n a_i x_i = a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + \dots + a_n x_n \quad (2)$$

$$y = \sum_{i=1}^n a_i y_i = a_1 y_1 + a_2 y_2 + a_3 y_3 + \dots + a_n y_n \quad (3)$$

$$1 = \sum_{i=1}^n a_i = a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n \quad (4)$$

로 표현될 수 있으며, 위 식들을 DGPS 기준국 3개의 보정정보를 이용하는 경우를 가정하여 정리하면 식(5)로 간략화 할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} = (G^T G)^{-1} \begin{bmatrix} \nabla_2^i - \nabla_1^i \\ \nabla_3^i - \nabla_1^i \\ \nabla_4^i - \nabla_1^i \\ \vdots \\ \nabla_r^i - \nabla_1^i \end{bmatrix} \quad (5)$$

여기서 $\Delta x_j = x_j - x_1$, $\Delta y_j = y_j - y_1$ 이고, 행렬 G는 DGPS 기준국 좌표정보이다. a_1 과 a_2 를 구하면 식(1)로부터 원하는 정보(∇_j^i)를 얻을 수 있다.

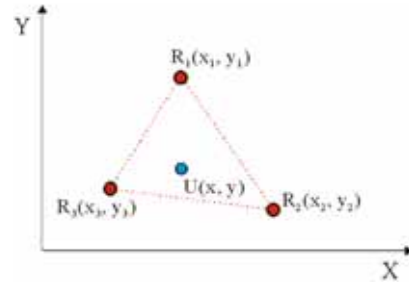


그림 4. 기준국의 기하학적 관계에 의한 보정정보 가중 값 계산

3.2 선형 보간 PRC 생성

그림5와 같이 GPS raw 데이터의 GPS 시간과 기준국 보정데이터의 Modified Z_Count 시간이

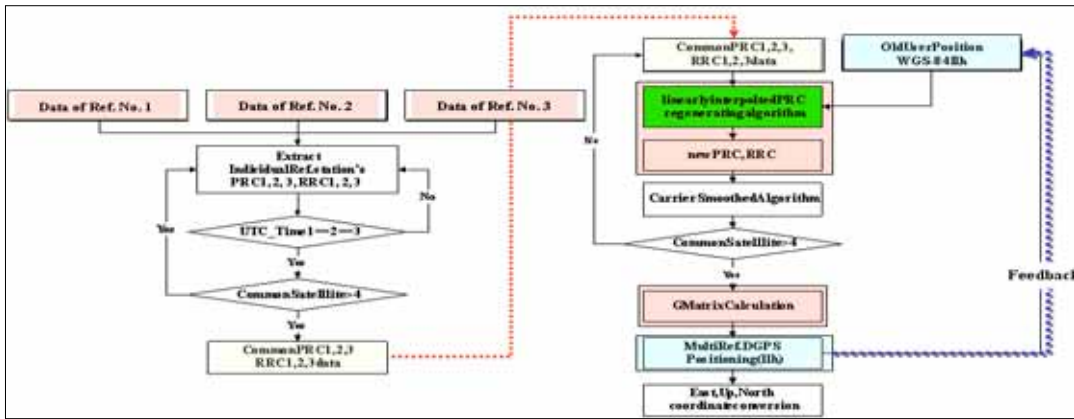


그림 5. 선형 보간 PRC 생성 및 DGPS 항법해 흐름도

같은 데이터를 입력한다. 먼저 기준국의 데이터들 중 공통되는 위성이 4개 이상이 되는가를 검사한다. 만일 공통되는 위성이 4개 이하이면 DGPS를 적용할 수 없게 된다.

4개 이상의 공통된 의사거리 보정데이터가 존재할 때 다음 단계로 넘어간다. 새로운 의사거리 보정 값을 생성하기 위하여 GPS 데이터로부터 현재 사용자의 위치를 계산하여 새로운 보정 값을 생성하기 위한 프로시저에 사용자 위치 데이터를 입력하면 알고리즘은 새로운 보정 값을 생성하게 된다. 이렇게 생성된 의사거리 보정 값은 DGPS 위치를 구하기 위하여 DGPS 항법해 알고리즘에 입력되는데 여기에서도 마찬가지로 새로이 생성된 의사거리보정 값과 GPS 데이터로부터 받은 위성 데이터 중 공통되는 위성이 4개 이상이 존재하여야만 DGPS를 실시할 수 있다. 만일 공통되는 위성이 4개 이하이면 DGPS를 할 수 없고 알고리즘은 새로운 데이터를 요구하게 된다.

수신기를 제작하여 실시간으로 방송되는 PRC 정보를 이용하여 실시하였다.

4.1 1단계 후처리 성능시험

항법해 성능분석은 4개의 기준국을 이용한 경우, 3개의 기준국을 이용한 경우, 2개의 기준국을 이용한 경우로 나누어 수행되었으며, 분석 결과 3개의 기준국 정보를 이용한 경우의 위치오차 성능이 가장 좋은 것으로 나타났다. 3개 기준국 보정정보를 이용한 경우 단독 기준국 보정정보를 이용한 기준국별 위치오차의 개선율이 평균 41%에 이르렀다. 표1에 3개의 기준국을 이용한 경우의 후처리분석결과를 정리하였다.

표 1. 3개 기준국을 이용한 위치정확도(후처리)

	다중기준국	어청도	소청도	주문진
거리		127km	279km	214km
위치오차	0.788m	1.607m	1.223m	1.239m
개선율		51.0%	35.6%	36.4%

4. 위치정확도 향상 성능시험 결과

위치정확도 향상 성능시험은 2단계에 거쳐 실시되었다. 1단계에서는 해상용 DGPS 기준국에 저장되어 있는 PRC 방송데이터를 수집하여 후처리하였으며, 2단계에서는 다채널 다중 PRC정보

주문진, 소청도, 어청도, 호미곶 등 4개 기준국의 보정정보를 이용한 경우의 위치오차는 2.449m로, 단독 기준국 보정정보에 의한 DGPS 위치오차 중 가장 나쁜 위치오차성능을 보인 호미곶(1.959m)의 경우보다도 나쁜 위치오차성능을 보였다. [4]

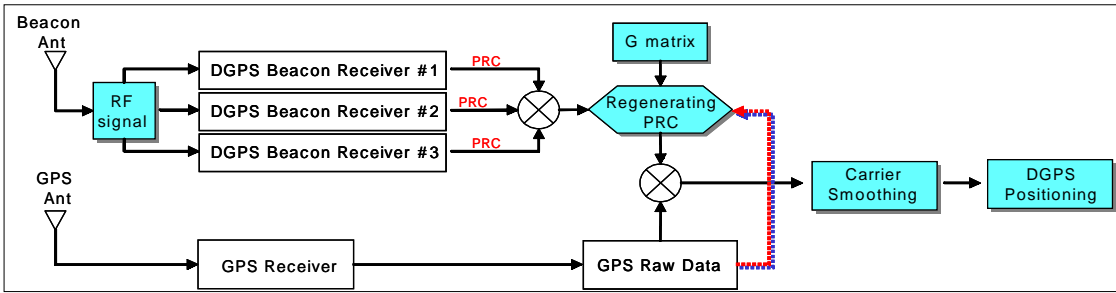


그림 6. 다채널 다중 PRC정보 수신기 구성도

4.2 2단계 실시간 성능시험

2단계 성능시험은 실시간으로 각 DGPS 기준국으로부터 방송되는 PRC 정보를 수신할 수 있는 다채널 다중 PRC정보 수신기(그림6 참조)를 제작하여 실시되었다. 실시간 PRC정보의 이용에는 대전지역에서 수신이 가능한 내륙의 무주기준국과 영주기준국의 PRC 정보와 해상의 팔미도, 어청도기준국 정보를 이용하였다.

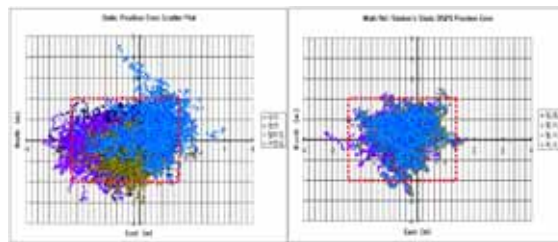


그림 7. 정지상태 scatter plot
(단독 DGPS:좌, 다중 DGPS: 우)

4.2.1 정지상태 성능시험

표2와 그림6에 정지상태 성능시험에 대한 결과를 정리하였다. 그림7에서 붉은 색 사각형은 같은 크기로 왼쪽 그림에 비해 다중 DGPS 기준국 PRC 정보를 재가공하여 위치해를 구한 오른쪽 그림의 위치성능이 우수함을 볼 수 있다. 그 구체적인 수치는 표2에 정리하였다.

표 2. 3개 기준국을 이용한 위치정확도(실시간)

	다중 기준국	팔미도	어청도	무주	영주
위치 오차 (m)	1.0229	1.0126		1.2116	1.6589
	1.0792	1.0126	1.2525		1.6589
	0.9954	1.0126	1.2525	1.2116	
	1.0449		1.2525	1.2116	1.6589
SVs	≥ 6				
성능 개선도	17.6%	-1.0%		15.6%	38.3%
	14.0%	-6.6%	13.8%		34.9%
	13.3%	1.7%	20.5%	17.9%	
	22.5%		16.6%	13.8%	37.0%

4.2.2 동적상태 성능시험

동적상태에서의 위치해 성능평가 기준으로 RTK-GPS 측위결과를 이용하였으며, 다중 DGPS 기준국 정보를 이용한 위치해와 단독 DGPS 기준국 정보만을 이용한 위치해를 상호·비교하여 PRC 재생성 알고리즘이 우수성을 검증하였다. 실험은 한국항공우주연구원 항공시험동 옥상에 'KARI' 로고를 새기고 그 위로 움직이는 동적실험을 실시하였다.

각 비교그림은 아래와 같다.

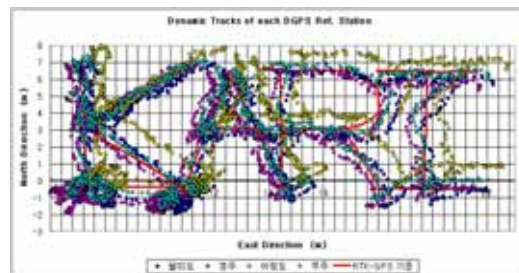


그림 8. 단독 DGPS 기준국 정보를 이용한 실험결과

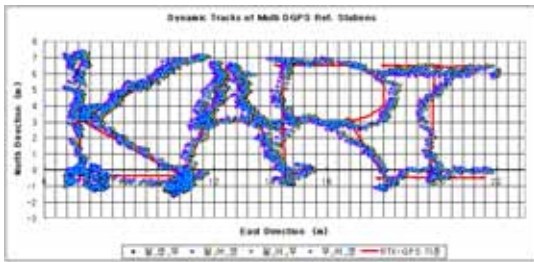


그림 9. 다중 DGPS 기준국 정보를 이용한 실험결과

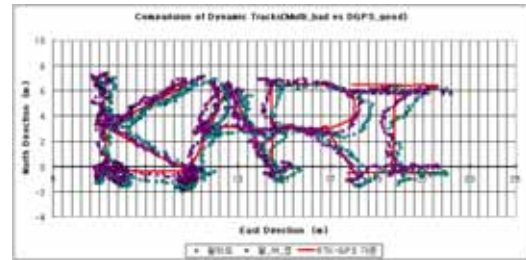


그림 10. 단독 DGPS(good) 및 다중 DGPS(bad) 실험결과 비교

위의 그림에서 볼 수 있듯이 선형보간 PRC 재생성에 의한 위치해는 정적상태에서보다 동적 상태에서 성능의 우수함이 부각되고 있다. 그림 10의 경우는 가장 성능이 저조한 다중 DGPS 기준국 조합(팔미도-어청도-영주 기준국)의 경우와 가장 성능이 좋은 단독 DGPS(팔미도 기준국)의 경우를 비교한 것인데, 다중 DGPS 기준국 보정 정보를 이용한 경우의 동적 위치해가 기준데이터에 근접함을 볼 수 있다.

그림 11과 그림 12는 PRC 재생성알고리즘의 또 다른 효과를 보여주고 있다. 관측 GPS 위성 에 대한 cycle slip 등의 발생시 예상치 못한 PRC 값의 변화를 보정할 수 있어, 다중 DGPS 환경에서의 PRC 재생성알고리즘에 의해 안정적인 위치해 성능을 보장할 수 있게 된다.

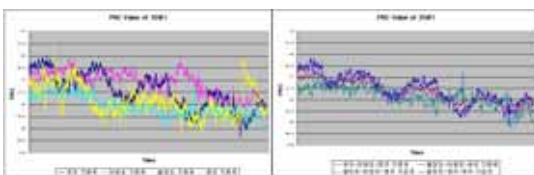


그림 11. 위성#16에 대한 PRC 비교
(좌 : DGPS 기준국, 우 : 재생성PRC)

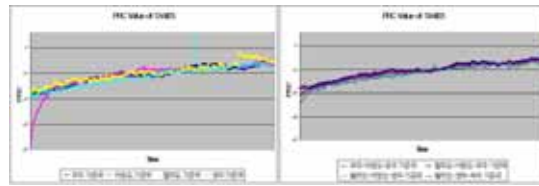


그림 12. 위성#23에 대한 PRC 비교
(좌 : DGPS 기준국, 우 : 재생성PRC)

5. 결 론

본 연구를 통해 확인한 바와 같이 다중 DGPS 이용환경에서 PRC 재생성알고리즘을 사용할 경우 보다 정확하고 안정적인 위치해 및 항법성능을 기대할 수 있다. 본 연구의 결과는 지상시험에 국한된 것이어서 비행시험을 통해 항공항법용 성능에 대해서도 검토되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. Loomis, P., Sheynblatt, L., Muller, T., "Differential GPS Network Design," Proceedings on ION-GPS '95, The Institute of Navigation, Alexandria, VA, U.S.A., p511-520
2. R.F. van Essen, G.W.A. Offermans, A.W.S. Helwig & D. van Willigen, "Regional Area Augmentation Concept for Eurofix-Reducing Spatial Decorrelation Effects through Multi-station DGPS," 26th Annual Technical Symposium of the International Loran Association, Ottawa, Canada, October 6-9, 1997
3. Kyung Ryooh Oh, ETC, "Development of Navigation Algorithm to Improve Position Accuracy by Using Multi-DGPS Reference Stations'PRC Information", 2004 International Symposium on GNSS/GPS, Sydney, Australia, 6-8 December 2004
4. 박용희 외 5인, 다중 DGPS 기준국 보정정보를 이용한 항법해 성능향상 연구, 제10차 GNSS 워크샵, 2003.11.