

(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구
국제사무국

(43) 국제공개일
2019년 5월 9일 (09.05.2019)



(10) 국제공개번호
WO 2019/088380 A1

- (51) 국제특허분류:
G01S 19/29 (2010.01) *G01S 19/30* (2010.01)
- (21) 국제출원번호: PCT/KR2018/004669
- (22) 국제출원일: 2018년 4월 23일 (23.04.2018)
- (25) 출원언어: 한국어
- (26) 공개언어: 한국어
- (30) 우선권정보:
10-2017-0145400 2017년 11월 2일 (02.11.2017) KR
- (71) 출원인: (주)와이파이브 (WIFIVE LTD.) [KR/KR]; 34183 대전시 유성구 대학로 82, 4층 404,405호, Daejeon (KR). 충남대학교산학협력단 (THE INDUSTRY & ACADEMIC COOPERATION IN) [KR/KR]; 34134 대전시 유성구 대학로 99, Daejeon (KR).
- (72) 발명자: 성태경 (SUNG, Tae Kyung); 34032 대전시 유성구 배울2로 114, 1106동 502호, Daejeon (KR).
- (74) 대리인: 특허법인 공간 (GHONG-GAN INTERNATIONAL PATENT LAW); 35209 대전시 서구 둔산서로 137, 5층, Daejeon (KR).
- (81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,

CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

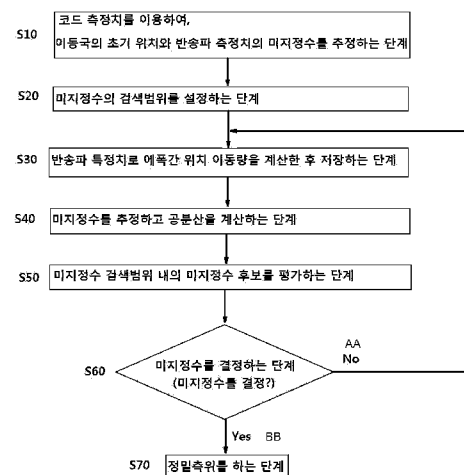
- (84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 유럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

공개:

— 국제조사보고서와 함께 (조약 제21조(3))

(54) Title: PRECISE POSITION ESTIMATION SYSTEM AND METHOD WHICH USE CARRIER PHASE GPS

(54) 발명의 명칭: 반송파 위상 GPS를 이용한 정밀 위치 추정 시스템 및 방법



(57) Abstract: A precise position estimation method of the present invention comprises: a first step of estimating an initial position of a mobile station and an integer ambiguity of a carrier measurement value by using a code measurement value; a second step of setting a search range of the integer ambiguity; a third step of calculating a position movement amount between epochs by the carrier measurement value, and then storing the same; a fourth step of estimating the integer ambiguity and calculating covariance; a fifth step of evaluating an integer ambiguity candidate within the integer ambiguity search range; a sixth step of determining the integer ambiguity; and a seventh step of performing precise positioning by using the determined integer ambiguity.

(57) 요약서: 본 발명에 의한 정밀 위치 추정 방법은, 코드 측정치를 이용하여, 이동국의 초기 위치와 반송파 측정치의 미지정수를 추정하는 제1 단계; 상기 미지정수의 검색범위를 설정하는 제2 단계; 반송파 측정치로 예측한 위치 이동량을 계산한 후 저장하는 제3 단계; 미지정수를 추정하고 공분산을 계산하는 제4 단계; 미지정수 검색범위 내의 미지정수 후보를 평가하는 제5 단계; 미지정수를 결정하는 제6 단계; 상기 결정된 미지정수를 이용하여 정밀 측위를 하는 제7단계;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

S10 ... Step of estimating initial position of mobile station and integer ambiguity of carrier measurement value by using code measurement value
S20 ... Step of setting search range of integer ambiguity
S30 ... Step of calculating position movement amount between epochs by carrier measurement value, and then storing same
S40 ... Step of estimating integer ambiguity, and calculating covariance
S50 ... Step of evaluating integer ambiguity candidate within integer ambiguity search range
S60 ... Step of determining integer ambiguity (Has integer ambiguity been determined?)
S70 ... Step of performing precise positioning
AA ... No
BB ... Yes



WO 2019/088380 A1

명세서

발명의 명칭: 반송파 위상 GPS를 이용한 정밀 위치 추정 시스템 및 방법

기술분야

- [1] 본 발명은 반송파 위상 GPS를 이용한 정밀 위치 추정 시스템 및 방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 반송파 위상 GPS를 이용하여 이동국의 위치를 정밀하게 추정하는 정밀 위치 추정 시스템 및 방법에 관한 것이다.

배경기술

- [2] 인공위성의 위치측정시스템인 소위, 범지구측위시스템(GPS, Global Positioning System)은 미국 정부가 구축한 항법지원시스템으로, 지상, 해상 및 공중 등 지구상의 어느 곳에서나 시간 제약 없이 인공위성에서 발신하는 정보를 수신하여, 정지된 기준국 또는 이동 중인 이동국의 위치를 측정할 수 있도록 인공위성군, 지상제어국, 사용자 등 3부분으로 구성되어 있는 전천후 위성측정시스템이다.
- [3] 여기서, 기준국 또는, 이동국에 구비되어 있는 안테나 및 GPS 수신기는 위상으로부터 수신된 신호를 처리하여 GPS 수신기가 구비되어 있는 기준국 또는, 이동국의 위치, 속도 및 시간을 계산하는데, 4개 이상의 위성으로부터 수신된 반송파 위상 신호의 관측을 동시에 수행하게 된다. 이것은, 3차원 좌표와 시간이 합쳐져서 4개의 미지수를 결정해야하기 때문이다. 아울러, 현재 GPS 수신기는 항해, 위치 측량 및 시간 정보 등 다양한 분야에 이용되고 있다.
- [4] 초기에 GPS는 군사 목적으로 개발하였으나, 이후 GPS 신호 중 L1, C/A 코드는 민간인에게도 개방되어, GPS 위성에서 방송하는 C/A 코드를 통해서, 전세계 어디에서나 전천후로 24시간 위치 측정이 가능하게 되었다.
- [5] 이때, 상기 GPS 위성은 적도와 약 55도의 경사를 이루는 6개의 궤도로 구성되어 있고, 각 궤도마다 4~5개씩의 위성들이 배치되어 있으며, 지구 표면으로부터 약 20,200km의 상공에 위성을 배치하고 있다. 이러한 상기 GPS 위성의 공전 주기는 11시간 58분으로, 상기 GPS 위성이 하루에 지구는 2번씩 회전하도록 하여, 지구상 어디에서나 항상 4개 이상의 상기 GPS 위성을 추적할 수 있도록 되어 있으며, 또한, 상기 GPS 위성에는 세시움이나 루비듐 원자 시계를 탑재하여 시각을 일치시키고 있다.
- [6] GPS의 종류는 다양하게 나눌 수 있으며, 상기 GPS 위성의 측정치를 이용하여 나누자면, 위성항법시스템 즉, 상기 GPS 위성의 측정치는 크게 수 m 수준의 위치 정확도를 가지는 코드 측정치와 수 mm ~ 수 cm 수준의 위치 정확도를 가지는 반송파 측정치로 나눌 수 있다. 이 때, 상기 반송파 측정치에는 미지정수가 포함되어 있으므로, 상기 반송파 측정치를 이용하기 위해서는 상기 미지정수를 결정해야한다.

[7] 더불어, 단일 위성 항법 시스템을 이용하면, 4개 이상의 GPS 위성 신호를 수신할 수 있는 하나의 GPS 수신기로 지구 어느 곳에서든지 약 30~40m의 위치 오차로 사용자의 위치를 구할 수 있으며, 보정 위성 항법 시스템은 기본적으로 기준국과 기준국에 구비되어 있는 GPS 수신기, 및 이동국, 즉 사용자용 GPS 수신기로 구성되어 있다. 위치가 정확히 측지된 지점에 설치된 기준국에서의 기준국용 GPS 수신기를 사용하여 위성 데이터를 수신하며, 기준국에서는 모든 가시 위성에 대한 실제 거리(True Range)를 계산할 수 있으므로 오차가 포함된 코드 측정치에 의한 의사 거리(Pseudo Range)로부터 의사 거리 오차를 계산할 수 있다. 기준국과 이동국간의 거리가 비교적 가까울 경우, 기준국의 의사 거리 오차와, 이동국의 의사 거리 오차가 거의 같기 때문에, 기준국에서 계산한 오차를 통해서, 이동국의 의사 거리를 보정하면 이동국의 의사 거리 오차가 감소하여 1~2m 수준의 위치 오차로 사용자의 위치를 구할 수 있다.

[8]

[9] 반송파 보정 위성 항법 시스템을 사용하면, 일반적으로 반송파 측정치는 코드 측정치보다 해상도(Resolution)가 훨씬 높으므로 이를 이용하여 위치를 계산할 경우 수mm~수cm 수준의 레직 오차를 기대할 수 있다. 일단, GPS 수신기가 반송파 측정치 추적을 시작하며, 특정 시간 동안 누적된 반송파 위상 값을 제공하며, 초기의 반송파 싸이클 개수인 반송파 측정치에 포함되어 있는 미지정수를 알 수 있다면, 고정밀의 위치 정확도로 사용자의 위치를 구할 수 있다. 즉, 반송파 위상을 이용한 반송파 보정 위성 항법 시스템은 사용자의 초기 위치 외에, 반송파 측정치에 포함되어 있는 초기 미지정수를 찾아내야 한다.

[10] 코드 측정치는 다음의 수식 (1)과 같이 표시할 수 있다.

$$[11] \quad \rho_i = r_i + c(dt_r - dt_i^s) + I_i + T_i + d_{orb} + \zeta + v_p \quad \text{---(1)}$$

[12] 이때, ρ_i 는 i 번째 위성까지의 코드 측정치에 의한 의사거리(m), r_i 는 기하학적 거리(m), c 는 광속, dt_r 은 수신기 시계 오차(s), dt_i^s 는 위성 시계 오차, I_i 는 전리층 지연 오차(m), T_i 는 대류권 지연 오차(m), d_{orb} 는 위성 위치 오차, ζ 는 타이드(tide) 효과(m), v_p 는 다중경로오차, 기타 잡음(m) 이다.

[13] 반송파 위상 측정치는 다음의 수식 (2)과 같이 표시할 수 있다.

$$[14] \quad l_i = r_i + c(dt_r - dt_i^s) - I_i + T_i + d_{orb} + \lambda N_i + \zeta + v_l \quad \text{---(2)}$$

[15] 이때, l_i 는 i 번째 위성까지의 반송파 위상 측정치에 의한 의사거리(m), r_i 는 기하학적 거리(m), c 는 광속, dt_r 은 수신기 시계 오차(s), dt_i^s 는 위성 시계 오차, I_i 는 전리층 지연 오차(m), T_i 는 대류권 지연 오차(m), d_{orb} 는 위성 위치 오차, λ 는 반송파 파장(m), N_i 는 미지정수(cycles), v_l 는 다중경로오차, 기타 잡음(m) 이다.

[16] GPS 측정치에서 오차 요인을 보정하는 방법에는 다음과 같은 것이 있다.

[17]

[18] (1) 위성 시계 오차

- [19] 위성에 탑재된 원자시계와 GPS 기준 시각과의 차이에 의하여 발생하며 최대 약 3m의 오차가 발생한다.
- [20] 이를 경감시키기 위해서는 수신기간 차분을 이용하거나, IGS, JPL 등에서 제공하는 실시간 위성 시계 보정정보를 수신하여 사용한다. 그리고 수신기 한 대만 이용하는 stand-alone 방법에서 위성 시계 오차를 경감하기 위해서는 위성기반 보정 항법시스템인 SBAS(Satellite Based Augmentation System)의 위성 시계 보정정보를 수신하여 보정하면 된다. 이렇게 경감하면 수신기간 차분 시 잔여오차는 cm 이하로 되고, IGS, JPL 또는 SBAS 보정정보를 수신하면 잔여오차는 최대 약 3ns(1m) 정도로 줄게 된다.
- [21] 즉, 기준국의 관측치를 기준으로 사용자의 관측치와 차분을 수행하면, 위성 시계 오차와 위성 위치 오차가 제거될 수 있다.
- [22]
- [23] (2) 위성 위치 오차
- [24] 위성 위치 오차는 위성의 방송 궤도력(Broadcast Ephemeris)의 부정확성 때문에 생기는 오차이다. GPS를 관리하는 지상국에서 약 2시간 마다 새로운 위성 궤도 정보를 위성으로 보내며 위성은 이 값을 항법 메시지에 포함하여 사용자에게 보낸다. 하지만, 이 궤도 정보를 이용하여 구한 위성의 위치는 실제 위성 위치와 일치하지 않기 때문에 위성 위치 오차가 최대 약 3m 정도 발생한다.
- [25] 이를 경감시키기 위해서는 두 수신기의 거리가 짧은 경우(10km 이하) 수신기간 차분 시 전리층 지연 오차가 사라지고, IGS, JPL 등에서 제공하는 실시간 위성 위치 보정정보를 수신하여 사용하면 된다. 그리고 stand-alone 방법에서 오차를 경감하기 위해서는 SBAS의 위성 위치 보정정보를 수신하여 보정하면 된다. 수신기간 차분과 IGS, JPL 등의 정보를 이용하면 잔여오차가 cm 이하로 줄고, SBAS 정보를 수신하여 보정하게 되면 잔여오차가 최대 약 1m 정도이다.
- [26]
- [27] (3) 전리층 지연 오차
- [28] 지상에서 약 100km 부근에 태양 에너지에 의해 공기 분자가 이온화 되어 자유 전자가 밀집된 전리층이 존재한다. GPS 신호가 전리층을 통과하면서 위성 신호가 지연되는데 이를 전리층 지연 효과라고 하고, 전리층 지연 효과로 인한 위치오차는 태양활동이 활발한 낮에는 약 20~30m 정도의 오차가 발생하고, 밤에는 약 3~6m 정도의 오차가 발생한다.
- [29] 이를 경감하는 대표적인 방법으로는 두 수신기의 거리가 짧은 경우(10km 이하) 수신기간 차분 시 전리층 지연 오차가 사라지고, 또한 IGS, JPL 등의 보정정보를 수신하거나, 다중주파수 수신기를 이용한 Ionospheric-free 방법이 있다. stand-alone 방법에서 전리층 지연 오차를 경감하기 위해서는 Ionospheric-free 방법과, SBAS 전리층 보정 모델을 적용하면 가능하다.
- [30] 위와 같은 방법으로 보정시 잔여오차는 SBAS의 경우 최대 3m 정도이고, 나머지 방법은 30cm 이하이다.

[31]

[32] 아래는 Ionospheric-free 내용을 정리한 것이다.

[33] 위성 신호가 전리층을 통과할 때, 신호의 주파수 별로 전리층 굴절률이 다른데, 전리층에 존재하는 총 전자수를 고려하여 Ionospheric-free 수식을 이용하면 전리층 지연 오차를 효과적으로 제거 가능하다. 예를 들어 GPS의 L1(1575.42MHz), L2(1227.6MHz), L5(1176.45Mhz) 등 다중 주파수 수신기를 사용하면 전리층 지연 오차의 약 99% 정도를 보정하여 잔여 오차가 최대 약 30cm 정도이다.

[34]

[35] (4) 대류권 지연 오차

[36] 지상 약 10km 부근에 지상의 대기에 의한 지연으로 2.5m~20m 정도 오차가 발생한다.

[37] GPS 신호의 L밴드 주파수 영역은 대류권에서 굴절률이 동일하여 이중 주파수를 사용하여도 대류권 오차 보정이 어렵다.

[38] 대류권 지연 오차를 효과적으로 보정하는 방법은 두 수신기의 거리가 짧은 경우(10km 이하) 수신기간 차분 시 대류권 지연 오차가 사라지고, IGS, JPL 등의 보정정보를 수신하는 방법이 있다. 그리고 stand-alone 방법에서 대류권 지연 오차를 경감하는 방법은 SBAS 대류권 모델을 적용하면 보정한다. 수신기간 차분, IGS, JPL 등의 보정정보를 수신하여 보정하면 잔여오차는 cm이하로 줄고, SBAS 정보를 이용하여 보정하면 잔여오차는 15cm정도이다.

[39]

[40] (5) 수신기 시계 오차

[41] 위성에는 매우 정밀한 원자시계가 들어있지만 일반적인 수신기는 저렴한 Crystal 또는 TCXO를 사용하므로 수신기 시계의 부정확성으로 수신기 시계 오차를 가지게 된다. 이를 경감시키기 위한 방법은 위성 간 차분 방법을 사용하여 기준위성과 관측 위성의 측정치를 차분하면 공통부분인 수신기 시계 오차가 사라지게 되어 수신기 시계오차를 경감시킬 수 있다.

[42]

[43] (6) Tide 효과

[44] 고정밀 측위를 위해서는 지각의 미세한 변위를 발생시키는 원인을 고려해야 한다. 이러한 변위 중 태양이나 달에 의한 인력은 지구형상에 변형을 일으키며 그 결과 지표의 특정위치는 공간상에서 시간에 따라 변하게 된다. 이를 조석영향(Tide effect)라고 하며 위치 변화에 영향을 주는 조석은 solid Earth tide, ocean loading tide, pole tide로 나눌 수 있다.

[45]

[46] 1)solid-Earth tide

[47] Solid Earth tide는 지구와 태양 및 달 사이에 작용하는 인력에 의해 발생하는 것으로 태양 혹은 달과 가장 가까운 위치에서 그 영향이 가장 크며 지표 위치에

따라 수직방향으로 약 30cm, 수평방향으로는 약 5cm의 변화를 보이기도 한다. 조석의 영향에 의한 지표의 위치변화는 태양과 달의 주기적 위치 변화에 기인하며 따라서 주기성을 띠고 나타난다. Solid Earth tide에 의한 위치변화는 국제기구인 IERS(International Earth rotation and Reference systems Service)에서 제공하고 있는 수식을 이용하여 모델링하면 제거 가능하다.

[48]

[49] 2)ocean loading tide

[50] 태양과 달의 인력에 의해 조석간만의 차가 발생하는데 이때 바닷물의 하중 변화에 의해 지표의 위치도 변하게 된다. 따라서 해안가 혹은 섬지역에서 그 영향이 상대적으로 크게 나타나게 된다. 이를 ocean loading tide라 하며 최대 수직방향으로 5cm, 수평방향으로는 2cm를 넘지 않는 것으로 알려져 있다. 우리나라의 경우 반도지역이라는 점과 섬이 많다는 점 때문에 ocean loading tide 영향에 의한 위치변화를 적절히 고려해야 한다. ocean loading tide에 의한 위치변화는 IERS에서 추천하고 있는 식을 이용하여 모델링하면 제거 가능하다.

[51]

[52] 3)pole tide

[53] 지구 극점의 위치는 서서히 변하며 특정한 주기를 갖고 있지는 않다. 이러한 극점의 위치변화는 지구회전으로 인한 원심력의 변화를 가져오며 따라서 특정위치에서의 중력값이 변하게 된다. 중력값이 변하면 지구의 형상 변화와 함께 위치가 변하게 된다. 이러한 요인으로 인한 위치 변화를 pole tide에 의한 영향이라 하며 수직방향으로 최대 2.5cm, 수평방향으로는 0.7cm의 변화를 보일 수 있다. pole tide에 의한 위치변화는 IERS에서 제공하는 수식을 이용하여 모델링 하면 제거 가능하다.

[54]

[55] 하지만, 종래에는 기준국의 GPS 수신기와 이동국의 GPS 수신기를 이용하여, 코드 측정치 및 반송파 측정치를 획득하기 위하여, 장시간 정지 상태로 대기하고 있어야 하는 불편함이 있다.

[56]

[57] 특허문헌 1{KR 10-0749835 B1 (등록일: 2007.08.09.)}에 기재된 발명에서는, 이동국 측에서 위성 신호들의 반송파 위상 축적값을 한 번 획득하고, 상기 한 번에 앞서 복수의 횡수로 기준국 측에서의 복수의 반송파 위성 축적값들을 상기 이동국 측에서의 반송파 위상 축적값과 연관시키며, 상기 이동국에 의해 수신되는 위성으로부터 전송된 신호들의 반송파 위성 축적값에 포함된 미지정수를 추정하는 구조를 개시하고 있다.

[58]

그러나 상기 특허문헌 1은 이동국에 수신되는 미지정수를 결정하기 위하여 이동국이 장시간 정지 상태로 대기하고 있어야 하는 문제점에 대한 해결책을 제시하고 있지 않다.

[59]

특허문헌 2{KR 10-1409804 B1 (등록일: 2014.06.13.)}에 개시된 발명에서는,

이동하는 물체에서의 이동 궤적을 반송파 위상 GPS를 이용하여 구하는 방법을 제시하고 있으나, 정확한 이동궤적을 구할 수 있을 뿐 정확한 위치를 구할 수 없는 문제점이 있다.

발명의 상세한 설명

기술적 과제

- [60] 이동국에서, GPS 위성 신호의 코드 측정치와 반송파 측정치를 이용하여 정밀한 위치측정을 할 수 있도록 하는 것이다.

과제 해결 수단

- [61] 본 발명에 의한 정밀 위치 추정 시스템은, 다수의 GPS 위성, GPS 위성으로부터 신호를 수신하여 코드 측정치와 반송파 측정치를 측정할 수 있는 이동국을 포함하는 시스템으로서, 상기 이동국은, 코드 측정치를 이용하여 이동국의 초기 위치와 반송파 측정치의 미지정수를 추정하고, 상기 미지정수의 검색범위를 설정하고, 반송파 측정치로 에폭간 위치 이동량을 계산한 후 저장하고, 미지정수를 추정하고 공분산을 계산하고, 미지정수 검색범위 내의 미지정수 후보를 평가하고, 미지정수를 결정하고, 상기 결정된 미지정수를 이용하여 정밀측위를 하는 것을 특징으로 한다.
- [62] 상기 정밀 위치 추정 시스템은, 이동국에서 신호를 수신할 수 있는 GPS 위성의 수가 증가한 경우, 그 증가된 순간 이후의 측정치를 제외하고 위치를 구한 뒤 그 위치를 이용하여 그 증가된 순간 이후의 새로운 측정치의 실수 미지정수를 추정하여 궤적의 연속성을 보장할 수 있다.
- [63] 상기 정밀 위치 추정 시스템은, 이동국에서 신호를 수신할 수 있는 GPS 위성의 수가 감소한 경우, 그 감소한 순간까지의 모든 측정치를 이용하여 구한 위치와 그 감소한 순간에 제외된 GPS 위성을 제외한 측정치로 구한 위치의 차이만큼을 그 제외된 위성을 제외한 측정치로 구한 위치에 보상한 후 그 감소된 이후의 실수 미지정수를 추정하여 궤적의 연속성을 보장할 수 있다.
- [64] 본 발명에 의한 정밀 위치 추정 방법은, 다수의 GPS 위성, GPS 위성으로부터 신호를 수신하여 코드 측정치와 반송파 측정치를 측정할 수 있는 이동국을 포함하는 시스템을 이용한 정밀 위치 추정 방법으로서, 코드 측정치를 이용하여, 이동국의 초기 위치와 반송파 측정치의 미지정수를 추정하는 제1 단계; 상기 미지정수의 검색범위를 설정하는 제2 단계; 반송파 측정치로 에폭간 위치 이동량을 계산한 후 저장하는 제3 단계; 미지정수를 추정하고 공분산을 계산하는 제4 단계; 미지정수 검색범위 내의 미지정수 후보를 평가하는 제5 단계; 미지정수를 결정하는 제6 단계; 상기 결정된 미지정수를 이용하여 정밀측위를 하는 제7단계; 를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [65] 상기 정밀 위치 추정 방법은, 이동국에서 신호를 수신할 수 있는 GPS 위성의 수가 증가한 경우, 그 증가된 순간 이후의 측정치를 제외하고 위치를 구한 뒤 그 위치를 이용하여 그 증가된 순간 이후의 새로운 측정치의 실수 미지정수를

추정하여 궤적의 연속성을 보장할 수 있다.

- [66] 상기 정밀 위치 추정 방법은, 이동국에서 신호를 수신할 수 있는 GPS 위성의 수가 감소한 경우, 그 감소한 순간까지의 모든 측정치를 이용하여 구한 위치와 그 감소한 순간에 제외된 GPS 위성을 제외한 측정치로 구한 위치의 차이만큼을 그 제외된 위성을 제외한 측정치로 구한 위치에 보상한 후 그 감소된 이후의 실수 미지정수를 추정하여 궤적의 연속성을 보장할 수 있다.

발명의 효과

- [67] 이동국에서, GPS 위성 신호의 코드 측정치와 반송파 측정치를 이용하여 정밀한 위치측정을 할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [68] 도 1은 본 발명에 의한 이동국의 구성도의 예
 [69] 도 2는 본 발명에 의한 정밀 위치 추정 방법의 순서도
 [70]
 [71] (부호의 설명)
 [72] 10: 안테나
 [73] 110: RF부
 [74] 120: DSP부
 [75] 130: 항법부
 [76] 140: DR부
 [77] 150: 궤적계산부
 [78] 160: 미지정수 계산부

발명의 실시를 위한 최선의 형태

- [79] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 상세하게 설명하고자 한다. 그러나 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변환, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다.
- [80] 본 출원에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다.
- [81]
 [82] 도 1은 본 발명에 의한 이동국의 구성도의 예이다.
 [83] 도 1의 이동국은 안테나(10), RF부(110), DSP부(120), 항법부(130), DR부(140), 궤적계산부(150), 미지정수 계산부(160)을 포함한다.
 [84] 안테나(110)는 GPS 위성 신호를 수신하는 역할을 하며, RF(Radio

Frequency)부(120)를 통해서 상기 이동국에 구비된 안테나(110)로 수신된 고주파(RF, Radio Frequency)의 상기 GPS 위성 신호를 중간 주파수(IF, Intermediate Frequency)로 복조할 수 있으며, 이를 통해서, 상기 GPS 위성 신호로부터 디지털 정보를 얻을 수 있다. DSP(Digital Signal Processor)부(120)를 통해서, 상기 디지털 정보로부터 코드 측정치 및 반송파 측정치를 결정할 수 있으며, 항법부(130)에서 상기 DSP부(120)에서 결정한 상기 코드 측정치를 이용하여, 상기 GPS 수신기(100)가 구비된 상기 이동국의 초기 위치를 추정할 수 있다. 이때, 상기 코드 측정치는 단일 에폭을 이용할 수도 있고, 또한, 이동국의 정지 상태에서 복수 개의 에폭을 이용할 수도 있다. 단일 에폭을 이용하는 경우에는, 약 10~15m의 상기 이동국의 위치 오차를 가지며, 복수 개의 에폭을 이용하는 경우에는, 약 4~6m의 상기 위치 오차를 가질 수 있다.

- [85] DR 센서(140)는 주행 거리 및 각도 측정치를 이용하여 이동국의 DR 항법, 즉, 추측 항법을 수행할 수 있다. 이때, 각도 센서로는 자이로, 지자기 센서, 차등 주행 거리계 중 선택되는 어느 하나 일 수 있으며, 거리 센서로는 차속계, 주행거리계, 가속도계 중 선택되는 어느 하나일 수 있다.
- [86] 상기 DR 센서(140)는 GPS 위성의 수가 적어 측위를 수행할 수 없을 경우에는, 상기 DR 센서만을 이용하여 추측 항법을 수행할 수 있다.
- [87] 궤적계산부(150)는 이동국의 이동궤적을 계산하는 부분이고, 미지정수 계산부(160)이고 미지정수 계산부는 미지정수를 계산하여 결정할 수 있도록 하는 부분이다.
- [88] 도 2는 본 발명에 의한 정밀 위치 추정 방법의 순서도이다.
- [89] 도 2의 정밀 위치 추정방법은 다음의 단계를 포함한다.
- [90] (1) 제1 단계(S10): 코드 측정치를 이용하여, 이동국의 초기 위치와 반송파 측정치의 미지정수를 추정하는 단계
- [91] (2) 제2 단계(S20): 상기 미지정수의 검색범위를 설정하는 단계
- [92] (3) 제3 단계(S30): 반송파 측정치로 에폭간 위치 이동량을 계산한 후 저장하는 단계
- [93] (4) 제4 단계(S40): 미지정수를 추정하고 공분산을 계산하는 단계
- [94] (5) 제5 단계(S50): 미지정수 검색범위 내의 미지정수 후보를 평가하는 단계
- [95] (6) 제6 단계(S60): 미지정수를 결정하는 단계
- [96] (7) 제7 단계(S70): 상기 결정된 미지정수를 이용하여 정밀측위를 하는 단계
- [97]
- [98] 이에 대해 자세히 설명하면 다음과 같다.
- [99]
- [100] GPS 측정치에서 오차 요인 및 보정 방법에서 설명한 방법으로 측정치의 오차를 제거한 k번째 위성의 의사거리 측정치 모델은 아래 수식 (3)과 같이 표현 가능할 수 있다.

[101]
$$\tilde{\rho}_k = \sqrt{(x_{sv,k} - x_u)^2 + (y_{sv,k} - y_u)^2 + (z_{sv,k} - z_u)^2} + cb_u + v_{\rho,k}$$
 ---(3)

[102] 이 때, $x_{sv,k}$, $y_{sv,k}$, $z_{sv,k}$ 는 ECEF(Earth-Centered-Earth-Fixed)좌표계에서 k번째 위성의 위치 벡터이고, x_u , y_u , z_u 는 ECEF 좌표계에서 수신기의 위치 벡터이며, b_u 는 위성과 수신기의 시계오차가 조합된 것이며, c 는 광속(빛의 속도)이고, $v_{\rho,k}$ 는 다중경로오차 등의 기타 잡음이다.

[103] 수식 (3)은 다음의 수식 (4)와 같이 표시될 수 있다.

[104]
$$\tilde{\rho}_k = f(x_u, y_u, z_u, b_u) + v_{\rho,k}$$
 ---(4)

[105] 만일, $(\overline{x_u}, \overline{y_u}, \overline{z_u})$ 시점에서 선형화한다고 하면, 위의 수식 (3)은 다음의 수식 (5), 수식 (6)과 같이 표시할 수 있다.

[106]
$$\begin{aligned} f(x_u, y_u, z_u, b_u) &\approx f(\overline{x_u} + \Delta x_u, \overline{y_u} + \Delta y_u, \overline{z_u} + \Delta z_u, \overline{b_u} + \Delta b_u) \\ &= f(\overline{x_u}, \overline{y_u}, \overline{z_u}, \overline{b_u}) + \frac{\partial f(\overline{x_u}, \overline{y_u}, \overline{z_u}, \overline{b_u})}{\partial x_u} \Delta x_u + \frac{\partial f(\cdot)}{\partial y_u} \Delta y_u + \frac{\partial f(\cdot)}{\partial z_u} \Delta z_u + \frac{\partial f(\cdot)}{\partial b_u} \Delta b_u \end{aligned}$$
 ---(5)

[107]
$$\tilde{\rho}_k = \rho_k - \frac{x_{sv,k} - x_u}{\rho_k} \Delta x_u - \frac{y_{sv,k} - y_u}{\rho_k} \Delta y_u - \frac{z_{sv,k} - z_u}{\rho_k} \Delta z_u + c \Delta b_u + v_{\rho,k}$$
 ---(6)

[108] 이 때, 다음의 수식 (7)과 같이 정의하면, 다음의 수식 (8)이 성립한다.

[109]
$$\Delta \rho_k = \tilde{\rho}_k - \rho_k, \quad -\frac{x_{sv,k} - x_u}{\rho_k} = h_{k1}, \quad -\frac{y_{sv,k} - y_u}{\rho_k} = h_{k2}, \quad -\frac{z_{sv,k} - z_u}{\rho_k} = h_{k3}$$
 ---(7)

[110]
$$\Delta \rho_k = h_{k1} \Delta x_u + h_{k2} \Delta y_u + h_{k3} \Delta z_u + c \Delta b_u + v_{\rho,k}$$
 ---(8)

[111]

[112] i 번째 에폭(epoch)에서 m 개 위성의 측정치를 모은 후 위의 수식 (8)을 행렬로 표시하면, 다음의 수식 (9)와 같다.

[113]
$$\begin{bmatrix} \Delta \rho_1 \\ \Delta \rho_2 \\ \vdots \\ \Delta \rho_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} & 1 \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ h_{m1} & h_{m2} & h_{m3} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x_u \\ \Delta y_u \\ \Delta z_u \\ c \Delta b_u \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_{\rho,1} \\ v_{\rho,2} \\ \vdots \\ v_{\rho,m} \end{bmatrix}$$
 ---(9)

[114]

[115] 이 때, 다음의 수식 (10)과 같이 표시하면, 코드 측정치에서는 다음의 수식 (11)과 같이 정리되고, 반송파 위상 측정치에서는 수식 (12)와 같이 정리된다.

$$[116] \quad \delta \rho_i = \begin{bmatrix} \Delta \rho_1 \\ \Delta \rho_2 \\ \vdots \\ \Delta \rho_m \end{bmatrix}, \quad H_i^a = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} & 1 \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ h_{m1} & h_{m2} & h_{m3} & 1 \end{bmatrix}, \quad \delta x_i^a = \begin{bmatrix} \Delta x_u \\ \Delta y_u \\ \Delta z_u \\ c \Delta b_u \end{bmatrix}, \quad v_{\rho,i} = \begin{bmatrix} v_{\rho,1} \\ v_{\rho,2} \\ \vdots \\ v_{\rho,m} \end{bmatrix}$$

---(10)

$$[117] \quad \delta \rho_i = H_i^a \delta x_i^a + v_{\rho,i} \quad \text{---(11)}$$

$$[118] \quad \delta l_i = H_i^a \delta x_i^a + \lambda N_i + v_{l,i} \quad \text{---(12)}$$

[119]

[120] 수식 (9)에서 양각이 가장 높은 위성을 1번 위성이라고 가정하여 1번 위상과 다른 위성의 거리를 차분하면 다음의 수식 (13)과 같이 된다.

$$[121] \quad \begin{bmatrix} \Delta \rho_2 - \Delta \rho_1 \\ \Delta \rho_3 - \Delta \rho_1 \\ \vdots \\ \Delta \rho_m - \Delta \rho_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{21} - h_{11} & h_{22} - h_{12} & h_{23} - h_{13} \\ h_{31} - h_{11} & h_{32} - h_{12} & h_{33} - h_{13} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ h_{m1} - h_{11} & h_{m2} - h_{12} & h_{m3} - h_{13} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x_u \\ \Delta y_u \\ \Delta z_u \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_{\rho,2} - v_{\rho,1} \\ v_{\rho,3} - v_{\rho,1} \\ \vdots \\ v_{\rho,m} - v_{\rho,1} \end{bmatrix}$$

---(13)

[122]

[123] 다음의 수식 (14), 수식(15) 와 같이 가정하면,

$$[124] \quad D = \begin{bmatrix} -1 & 1 & \cdots & 0 \\ -1 & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ -1 & 0 & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad \text{---(14)}$$

$$[125] \quad X_{di} = DX_i, \quad H_i = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ h_{m1} & h_{m2} & h_{m3} \end{bmatrix}, \quad \delta x_i = \begin{bmatrix} \Delta x_u \\ \Delta y_u \\ \Delta z_u \end{bmatrix} \quad \text{---(15)}$$

[126] 위의 수식 (11)과 수식 (12)는 다음의 수식 (16), 수식 (17)과 같이 정리할 수 있다.

$$[127] \quad \begin{aligned} \delta \rho_{di} &= D \delta \rho_i = DH_i^a \delta x_i^a + Dv_{\rho,i} \quad \text{---(16)} \\ &= DH_i \delta x_i + Dv_{\rho,i} \\ &= H_{di} \delta x_i + v_{d\rho,i} \end{aligned}$$

$$[128] \quad \delta l_{di} = H_{di} \delta x_i + \lambda N_{di} + v_{dl,i} \quad \text{---(17)}$$

[129]

[130] 이때, $\delta \rho_{di}$, δl_{di} 는 차분된 코드 측정치, 반송파 위상 측정치(m-1 by 1)이며, H_{di} 는

차분된 관측 행렬 벡터(m-1 by 3)이고, δx_i 는 위치 벡터(3 by 1)이고, N_{di} 는 차분된 미지정수 벡터(m-1 by 1)이고, $v_{dp,i}$ 와 $v_{dl,i}$ 는 기타 잡음(m-1 by 1)이고, λ 는 파장이다.

[131]

[132] 상기 제1 단계에서, 코드 측정치를 이용하여, 이동국의 초기 위치와 반송파 측정치의 미지정수를 추정하는 예는 다음과 같다.

[133] 정지 상태(예폭 0 으로 가정)에서 차분된 코드 측정치와 반송파 위상 측정치의 선형화된 식은 다음의 수식 (18), 수식 (19)와 같이 표시할 수 있다.

[134]
$$\delta \rho_{d0} = H_{d0} \delta x_0 + v_{dp,0} \quad \text{---(18)}$$

[135]
$$\delta l_{d0} = H_{d0} \delta x_0 + \lambda N_{d0} + v_{dl,0} \quad \text{---(19)}$$

[136]

[137] 위의 수식 (19)에서 최소자승법(Least Square)으로 추정 한 초기 위치($\hat{\delta x}_0$)는 다음의 수식 (20)과 같다.

[138]
$$\begin{aligned} \hat{\delta x}_0 &= (H_{d0}^T (DD^T)^{-1} H_{d0})^{-1} H_{d0}^T (DD^T)^{-1} \delta \rho_{d0} \quad \text{---(20)} \\ &= (H_0^T D^T (DD^T)^{-1} D H_0)^{-1} H_0^T D^T (DD^T)^{-1} D \delta \rho_0 \\ &= (H_0^T P H_0)^{-1} H_0^T P \delta \rho_0 \end{aligned}$$

[139] 여기서 P는 다음의 수식 (21)과 같다.

[140]
$$P = D^T (DD^T)^{-1} D = I - \frac{\frac{1}{m} \frac{1}{m}^T}{\frac{1}{m} \frac{1}{m}^T} = I - \frac{1}{m} \frac{1}{m} \frac{1}{m}^T, \quad \frac{1}{m} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix} \quad \text{---(21)}$$

[141] 이때, $\hat{\delta x}_0$ 의 공분산은 다음의 수식 (22)와 같다.

[142]
$$\text{cov}(\hat{\delta x}_0) = (H_0^T P H_0)^{-1} \sigma_0^2 \quad \text{---(22)}$$

[143] 위의 수식 (20)을 수식 (19)에 대입하여 초기 미지정수($\hat{N}_{d0}$)를 추정하면 다음의 수식 (23)과 같은 수식을 얻는다.

[144]
$$\hat{N}_{d0} = (\delta l_{d0} - H_{d0} (H_0^T P H_0)^{-1} H_0^T P \delta \rho_0) / \lambda \quad \text{---(23)}$$

[145]

[146] 이렇게 추정 한 초기 위치($\hat{\delta x}_0$)와 초기 미지정수($\hat{N}_{d0}$)에는 초기 위치오차가 공통적으로 포함되어 있다.

[147]

[148] 제2 단계에서, 상기 미지정수의 검색범위를 설정하는 예는 다음과 같다.

[149] 미지정수($\hat{N}_{d0}$)의 공분산은 다음의 수식 (24)와 같이 표시할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 [150] \quad cov(\hat{N}_{d0}) &= E[\hat{N}_{d0}\hat{N}_{d0}^T] = \frac{1}{\lambda^2} E[(\delta l_{d0} - H_{d0}(H_0^T P H_0)^{-1} H_0^T P \delta \rho_0)(\delta l_{d0} - H_{d0}(H_0^T P H_0)^{-1} H_0^T P \delta \rho_0)^T] \\
 &= \frac{1}{\lambda^2} E[\delta l_{d0} \delta l_{d0}^T - \delta l_{d0} \delta \rho_{d0}^T - \delta \rho_{d0} \delta l_{d0}^T + \delta \rho_{d0} \delta \rho_{d0}^T]
 \end{aligned}$$

---(24)

[151]

[152] 이때 다음의 수식 (25)가 성립하므로,

$$[153] \quad E[XX^T] = \sigma_X^2, \quad E[XY^T] = \sigma_{XY} \quad \text{---(25)}$$

[154] 다음의 수식 (26)이 성립하고

$$[155] \quad E[\delta l_{d0} \delta l_{d0}^T] = \sigma_{dl_0}^2, \quad E[\delta l_{d0} \delta \rho_{d0}^T] = \sigma_{dl_0} \sigma_{d\rho_0}$$

$$[156] \quad E[\delta \rho_{d0} \delta l_{d0}^T] = \sigma_{d\rho_0} \sigma_{dl_0}, \quad E[\delta \rho_{d0} \delta \rho_{d0}^T] = \sigma_{d\rho_0}^2 \quad \text{---(26)}$$

[157] 위의 수식 (24)는 다음의 수식 (27)과 같이 정리된다.

$$[158] \quad cov(\hat{N}_{d0}) = \frac{I}{\lambda^2} (\sigma_{dl_0}^2 - \sigma_{dl_0} \sigma_{d\rho_0} - \sigma_{d\rho_0} \sigma_{dl_0} + \sigma_{d\rho_0}^2) \quad \text{---(27)}$$

[159]

[160] 여기서 초기 0 에폭에서의 측정치의 공분산(covariance)인 $\sigma_{dl_0}^2$ 를 구하는

방법은 다음 수식 (28)과 같다.

$$\begin{aligned}
 [161] \quad \sigma_{dl_0}^2 &= E \left[\begin{bmatrix} \delta l_2 - \delta l_1 \\ \delta l_3 - \delta l_1 \\ \vdots \\ \delta l_m - \delta l_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta l_2 - \delta l_1 & \delta l_3 - \delta l_1 & \cdots & \delta l_m - \delta l_1 \end{bmatrix} \right] \quad \text{---(28)} \\
 &= E \left[\begin{bmatrix} (\delta l_2 - \delta l_1)^2 & (\delta l_2 - \delta l_1)(\delta l_3 - \delta l_1) & \cdots & (\delta l_2 - \delta l_1)(\delta l_m - \delta l_1) \\ (\delta l_3 - \delta l_1)(\delta l_2 - \delta l_1) & (\delta l_3 - \delta l_1)^2 & \cdots & (\delta l_3 - \delta l_1)(\delta l_m - \delta l_1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (\delta l_m - \delta l_1)(\delta l_2 - \delta l_1) & (\delta l_m - \delta l_1)(\delta l_3 - \delta l_1) & \cdots & (\delta l_m - \delta l_1)^2 \end{bmatrix} \right]
 \end{aligned}$$

[162] 1번 위성의 측정치와 i번째 위성의 측정치는 상관성이 없다고 가정하면 위의 수식 (28)은 다음의 수식 (29)와 같이 근사된다.

$$[163] \quad \begin{bmatrix} \sigma_{l_2}^2 + \sigma_{l_1}^2 & \sigma_{l_1}^2 & \cdots & \sigma_{l_1}^2 \\ \sigma_{l_1}^2 & \sigma_{l_3}^2 + \sigma_{l_1}^2 & \cdots & \sigma_{l_1}^2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{l_1}^2 & \sigma_{l_1}^2 & \cdots & \sigma_{l_m}^2 + \sigma_{l_1}^2 \end{bmatrix} \quad \text{---(29)}$$

[164] 이와 같은 방법으로, $\sigma_{dl_0} \sigma_{d\rho_0}$, $\sigma_{d\rho_0} \sigma_{dl_0}$, $\sigma_{d\rho_0}^2$ 도 구할 수 있다.

[165] 이때, 허용가능 오차범위(예를 들면, 1%, 3% 등)를 설정하면, 위의 수식 (27)을 이용하여 허용가능한 미지정수의 범위가 정해진다.

[166]

[167] 제3 단계에서, 반송파 측정치로 에폭간 위치 이동량을 계산한 후 저장하는 예는 다음과 같다.

[168] 기존 미지정수 결정 방법에서 대표적인 LAMBDA(Least squares Ambiguity Decorrelation Adjustment)에서는 정지 상태에서 수집~수백 에폭(epoch) 동안 측정치를 수집하여 미지정수를 결정한다. 정지 상태에서 측정치를 모으면 수식 (16), 수식 (17)에서 δx_i 가 (3 by 1) 행렬로 고정이지만, 이동 중인 상태에서는 δx_i 가 계속 갱신되므로 n 에폭(epoch)의 측정치를 쌓으면 (3*n by 1)로 변하게 된다. 본 단계는 delta ICP(Integrated Carrier Phase)로 정밀한 δx_i 를 계산하여 이동 중인 항체에서 누적되는 δx_i 만큼을 측정치에서 보상해준다.[169] 코드의 파장은 약 300m인 반면 반송파의 파장은 약 19cm로 반송파의 분산은 코드에 비해 매우 작으므로, epoch 1부터 들어오는 반송파 정보를 참값으로 가정하여, 갱신 위치를 초기 위치 추정치 + λ *delta ICP(Integrated Carrier Phase)로 계산할 수 있다.

[170] 에폭(epoch) 1부터 들어오는 반송파 위상 측정치 기준으로 수식을 만들면 다음의 수식 (30)과 같다.

[171]
$$\delta l_{di} - \lambda N_{di} = H_{di}(\delta x_i + \delta x_0) \quad (i = 1, 2, \dots) \quad \text{---(30)}$$

[172] 이때, δx_0 는 초기 위치 오차이다. λ *delta ICP가 이동량이므로,

$$\delta x_i = (H_i^T P H_i)^{-1} H_i^T P \lambda \delta \Theta_i$$

를 풀어서 이를 참값으로 가정한다. 여기서 $\delta \Theta$ 는 delta ICP이다.

[173] 이렇게 δx_i 를 업데이트하면서 이동한 위치를 다음의 수식 (31)을 이용하여 추정할 수 있다.

[174]
$$\hat{x}_i = \hat{x}_{i-1} + \delta x_i \quad \text{---(31)}$$

[175] 여기서 $\hat{x}_{i-1}$ 는 노미널 포인트(nominal point)로 이전 에폭 위치 추정치(i-1 번째 에폭에서의 위치 추정치)이며, $\hat{x}_i$ 는 현재 에폭 위치 추정치(i 번째 에폭에서의 위치 추정치)이다.[176] 위와 같은 방식으로 δx_i , $\hat{x}_i$ 를 계산한 후 저장할 수 있다.

[177]

[178] 제4 단계에서, 미지정수를 추정하고 공분산을 계산하는 예는 다음과 같다.

[179] 제3 단계에서 구한 n 개 에폭(epoch)에서 측정치를 모아 행렬로 나타내면 다음의 수식 (32)와 같다.

[180]

$$\begin{bmatrix} \delta l_{d1} \\ \delta l_{d2} \\ \delta l_{d3} \\ \vdots \\ \delta l_{dn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{d1} \\ H_{d2} \\ H_{d3} \\ \vdots \\ H_{dn} \end{bmatrix} \delta \hat{x}_0 + \begin{bmatrix} H_{d1} \delta \hat{x}_1 \\ H_{d1} \delta \hat{x}_1 + H_{d2} \delta \hat{x}_2 \\ H_{d1} \delta \hat{x}_1 + H_{d2} \delta \hat{x}_2 + H_{d3} \delta \hat{x}_3 \\ \vdots \\ H_{d1} \delta \hat{x}_1 + H_{d2} \delta \hat{x}_2 + \dots + H_{dn} \delta \hat{x}_n \end{bmatrix} + \lambda \begin{bmatrix} N_{d1} \\ N_{d2} \\ N_{d3} \\ \vdots \\ N_{dn} \end{bmatrix}$$

---(32)

[181]

[182] 여기서 $\delta \hat{x}_i = H_{di} (H_i P H_i)^{-1} H_i P \lambda \delta \Theta_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 이고, 이것은 참값으로 가정하고, 위 식은 초기 위치 바이어스인 $\delta \hat{x}_0$ 를 공통으로 포함하고 있다.

[183]

[184] 시간이 지나면서 위성의 위치가 변화하고, 가시 위성이 변화하므로 관측행렬(H_i)이 변화한다.

[185] 이로 인하여 시간이 지남에 따라 궤적의 오차가 누적되는 현상이 발생한다. 현재 단계에서는 가시 위성의 변화는 없고, 짧은 예측으로 위성의 위치 변화가 작아 $H_{i-1} \approx H_i$ 로 가정한다.

[186] 위의 수식 (32)에서, 그 값을 아는 항과 모르는 항으로 구분하기 위해 이항하여 정리하면 다음의 수식 (33)과 같이 정리된다.

[187]

$$\lambda \begin{bmatrix} N_{d1} \\ N_{d2} \\ N_{d3} \\ \vdots \\ N_{dn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta l_{d1} - H_{d1} \delta \hat{x}_1 \\ \delta l_{d2} - (H_{d1} \delta \hat{x}_1 + H_{d2} \delta \hat{x}_2) \\ \delta l_{d3} - (H_{d1} \delta \hat{x}_1 + H_{d2} \delta \hat{x}_2 + H_{d3} \delta \hat{x}_3) \\ \vdots \\ \delta l_{dn} - (H_{d1} \delta \hat{x}_1 + \dots + H_{dn} \delta \hat{x}_n) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} H_{d1} \\ H_{d2} \\ H_{d3} \\ \vdots \\ H_{dn} \end{bmatrix} \delta \hat{x}_0 \quad \text{---(33)}$$

[188] 위의 수식 (33)에서 $\delta \hat{x}_0$ (초기 위치오차)는 바이어스(bias)처럼 남아 있는

항이라 상수처럼 취급한다면, 수식 (33)에서 미지수는 좌변에 있는 미지정수 항이고, 우변에 남아있는 나머지 항은 모두 알고 있는 값으로 미지정수를 추정할 수 있다. 이렇게 추정한 미지정수는 실수 미지정수이며, 미지정수의 검색범위인 오차타원 범위는 미지정수의 공분산 행렬과 같으므로 제2 단계에서 구한 방법과 같이 공분산을 구하면 다음의 수식 (34)와 같다.

$$\begin{aligned}
 [189] \quad cov(\hat{N}_{di}) &= E[\hat{N}_{di}\hat{N}_{di}^T] \\
 &= E[(\frac{1}{\lambda}(\delta l_{di} - \sum_{k=1}^i (H_{di}\delta\hat{x}_k) - H_{di}\delta\hat{x}_0))(\frac{1}{\lambda}(\delta l_{di} - \sum_{k=1}^i (H_{di}\delta\hat{x}_k) - H_{di}\delta\hat{x}_0))^T]
 \end{aligned}$$

---(34)

[190] 위의 수식 (34)를 정리하면 다음의 수식 (35)와 같다.

$$\begin{aligned}
 [191] \quad cov(\hat{N}_{di}) &= E[\frac{1}{\lambda^2}(\delta l_{di}\delta l_{di}^T - \delta l_{di}\sum_{k=1}^i (H_{di}\delta\hat{x}_k)^T - \delta l_{di}(H_{di}\delta\hat{x}_0)^T \\
 &\quad - (\sum_{k=1}^i (H_{di}\delta\hat{x}_k))\delta l_{di}^T + \sum_{k=1}^i (H_{di}\delta\hat{x}_k)(H_{di}\delta\hat{x}_k)^T + (\sum_{k=1}^i (H_{di}\delta\hat{x}_k))(H_{di}\delta\hat{x}_0)^T \\
 &\quad - (H_{di}\delta\hat{x}_0)\delta l_{di}^T + (H_{di}\delta\hat{x}_0)\sum_{k=1}^i (H_{di}\delta\hat{x}_k)^T + (H_{di}\delta\hat{x}_0)(H_{di}\delta\hat{x}_0)^T)]
 \end{aligned}$$

---(35)

[192]

[193] 여기서 delta ICP로 구한 $\hat{\delta x_i}$ 의 분산은 에폭이 증가하면서 누적된다. 하지만

위에서 참값으로 가정했으므로 누적되는 분산이 매우 작으므로 무시 가능하다. 또한 변수 간 상관성을 고려하면 다음의 수식 (36)과 같이 근사 가능하다.

$$[194] \quad \frac{I}{\lambda^2}(\sigma_{dl_i}^2 + \sigma_{\delta x_0}^2) \quad \text{---(36)}$$

[195]

[196] 제5 단계에서, 미지정수 검색범위 내의 미지정수 후보를 평가하는 예는 다음과 같다.

[197] 제 4 단계에서 구한 미지정수의 검색 범위에서 실수 미지정수의 후보를 평가하여 정수 미지정수가 결정된다면 결정된 미지정수를 이용하여 정밀 측위를 하고, 정수 미지정수가 결정되지 않았다면 제3 단계의 과정으로 돌아가 제3 단계 및 제4단계의 과정을 다시 반복하여 다시 평가한다.

[198] 후보를 평가하는 평가함수는 일반적으로 많이 사용하는 미지정수 결정 기법을 예는 다음과 같다.

[199] 미지정수 결정 기법은 실수 미지정수와 공분산 정보를 이용하여 아래 목적함수 수식 (37)을 만족하는 해를 검색한다.

$$[200] \quad \min(\delta l_{di} - H_{di}\delta x_i - \lambda N_{di})^T Q_{dl}^{-1}(\delta l_{di} - H_{di}\delta x_i - \lambda N_{di}) \quad \text{---(37)}$$

[201] 여기서 Q_{dl} 은 δ_{dl} 의 공분산 행렬이고, $\delta x_i = (H_i^T P H_i)^{-1} H_i^T P \lambda \delta \Theta_i$ 이므로 이는 실수 영역이고, N_{di} 는 정수 영역이므로 미지정수의 오차가 위치의 오차보다 상대적으로 크다.

[202]

[203] n 개 에폭(epoch)의 측정치를 모으면, 그 측정치를 이용하여 다음의 목적함수
수식 (38)를 최소화하는 위치(δx_i)와 미지정수(N_{di})를 찾는다.

[204]

$$\min \sum_{i=1}^n (\delta l_{di} - H_{di} \delta x_i - \lambda N_{di})^T Q_{dl}^{-1} (\delta l_{di} - H_{di} \delta x_i - \lambda N_{di}) \quad \text{---(38)}$$

[205]

[206] 제6 단계에서, 미지정수를 결정하는 예는 다음과 같다.

[207] 위의 수식 (34)의 값이 어떤 기준값보다 작은지를 평가하여, 그 기준값보다
크다면, 제3 단계 내지 제5단계의 과정을 반복하고, 그 기준값보다 작다면, 그
때의 N_{di} 를 미지정수 값으로 결정한다.

[208]

[209] 제7 단계에서, 상기 결정된 미지정수를 이용하여 정밀측위를 하는 예는 다음과
같다.

[210] 미지정수 값(N_{di})이 정해지면, 위치(δx_i)도 정해지므로, 그 값들을 이용하여
정밀한 위치 추정을 한다.

[211]

[212] 이동국이 이동할 때 가시위성이 변화하거나 순간적으로 위성이 차단되거나
충격에 의해 사이클 슬립(Cycle Slip)이 발생 할 수 있다. 가시위성의 변화와
사이클 슬립이 발생하는 경우 이를 탐지하고, 보상하는 단계가 필요하다.

[213] 먼저 가시위성의 변화는 2가지 경우로 나뉘는데 가시위성이 증가하여
측정치가 많아진 경우와, 가시위성이 줄어서 측정치가 적어진 경우이다.
가시위성이 변하여 측정치가 많아지거나 줄어든 경우 새로운 관측행렬(H_i)이
이전 에폭 관측행렬(H_{i-1})과 다르므로 새로운 관측행렬에서 실수 미지정수를
추정하면 이전 에폭에서 구한 위치보다 바이어스(bias) 값이 커져 궤적의
연속성이 보장되지 않는 현상이 발생한다. 이를 해결하기 위한 방법은 다음의
2가지 경우로 분리하여 해결 가능하다.

[214]

[215] (1) 가시위성이 증가한 경우($t+1$ 에폭에서 발생)

[216] $t+1$ 에폭에서 추가된 측정치를 제외하고 위치를 구한 뒤 이 위치를 이용하여
 $t+1$ 에폭에서 새로운 측정치의 실수 미지정수를 추정하면 궤적의 연속성을 보장
할 수 있다.

[217]

[218] (2) 가시위성이 줄어든 경우($t+1$ 에폭에서 발생)

[219] 이전 에폭인 t 에서 모든 측정치를 이용하여 구한 위치와 $t+1$ 에폭에서 빠진
위성을 제외한 측정치로 구한 위치의 차이만큼을 $t+1$ 에폭에서 빠진 위성을
제외한 측정치로 구한 위치에 보상해 주어서 실수 미지정수를 추정하면 궤적의
연속성을 보장할 수 있다.

[220]

[221] 다음으로 사이클 슬립이 발생하는 경우 이를 검출하는 방법은 에폭간 GPS측정치의 위치 변위량과 DR센서에서 계산된 위치 변위량을 비교하여 변위량의 차이로 사이클 슬립을 검출할 수 있다. 사이클 슬립이 발생한 경우 DR센서로 측정한 위치 변화량을 이용하여 보상하는 방법으로 해결할 수 있다.

청구범위

- [청구항 1] 다수의 GPS 위성, GPS 위성으로부터 신호를 수신하여 코드 측정치와 반송파 측정치를 측정할 수 있는 이동국을 포함하는 시스템으로서, 상기 이동국은, 코드 측정치를 이용하여 이동국의 초기 위치와 반송파 측정치의 미지정수를 추정하고, 상기 미지정수의 검색범위를 설정하고, 반송파 측정치로 에폭간 위치 이동량을 계산한 후 저장하고, 미지정수를 추정하고 공분산을 계산하고, 미지정수 검색범위 내의 미지정수 후보를 평가하고, 미지정수를 결정하고, 상기 결정된 미지정수를 이용하여 정밀측위를 하는 것을 특징으로 하는 반송파 위상 GPS를 이용한 정밀 위치 추정 시스템.
- [청구항 2] 청구항 1에 있어서, 이동국에서 신호를 수신할 수 있는 GPS 위성의 수가 증가한 경우, 그 증가된 순간 이후의 측정치를 제외하고 위치를 구한 뒤 그 위치를 이용하여 그 증가된 순간 이후의 새로운 측정치의 실수 미지정수를 추정하여 궤적의 연속성을 보장하는 것을 특징으로 하는 반송파 위상 GPS를 이용한 정밀 위치 추정 시스템.
- [청구항 3] 청구항 1에 있어서, 이동국에서 신호를 수신할 수 있는 GPS 위성의 수가 감소한 경우, 그 감소한 순간까지의 모든 측정치를 이용하여 구한 위치와 그 감소한 순간에 제외된 GPS 위성을 제외한 측정치로 구한 위치의 차이만큼을 그 제외된 위성을 제외한 측정치로 구한 위치에 보상한 후 그 감소된 이후의 실수 미지정수를 추정하여 궤적의 연속성을 보장하는 것을 특징으로 하는 반송파 위상 GPS를 이용한 정밀 위치 추정 시스템.
- [청구항 4] 다수의 GPS 위성, GPS 위성으로부터 신호를 수신하여 코드 측정치와 반송파 측정치를 측정할 수 있는 이동국을 포함하는 시스템을 이용한 정밀 위치 추정 방법으로서, 코드 측정치를 이용하여, 이동국의 초기 위치와 반송파 측정치의 미지정수를 추정하는 제1 단계; 상기 미지정수의 검색범위를 설정하는 제2 단계; 반송파 측정치로 에폭간 위치 이동량을 계산한 후 저장하는 제3 단계; 미지정수를 추정하고 공분산을 계산하는 제4 단계; 미지정수 검색범위 내의 미지정수 후보를 평가하는 제5 단계; 미지정수를 결정하는 제6 단계; 상기 결정된 미지정수를 이용하여 정밀측위를 하는 제7단계; 를 포함하는 것을 특징으로 하는 반송파 위상 GPS를 이용한 정밀 위치 추정 방법.
- [청구항 5] 청구항 4에 있어서,

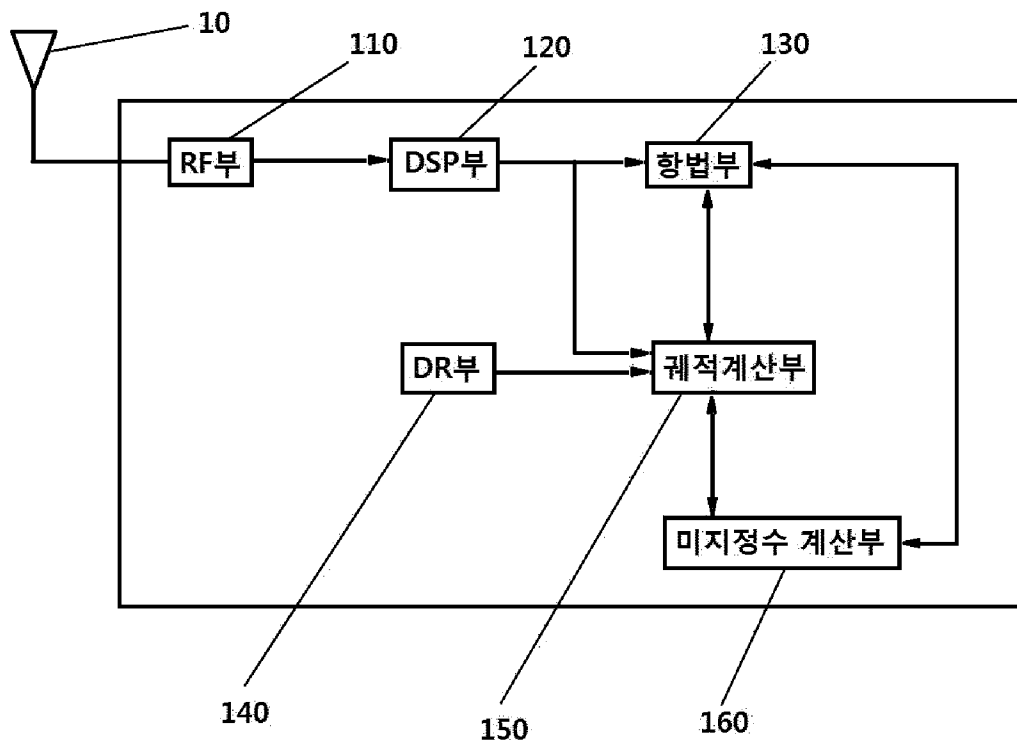
이동국에서 신호를 수신할 수 있는 GPS 위성의 수가 증가한 경우, 그 증가된 순간 이후의 측정치를 제외하고 위치를 구한 뒤 그 위치를 이용하여 그 증가된 순간 이후의 새로운 측정치의 실수 미지정수를 추정하여 궤적의 연속성을 보장하는 것을 특징으로 하는 반송파 위상 GPS를 이용한 정밀 위치 추정 방법.

[청구항 6]

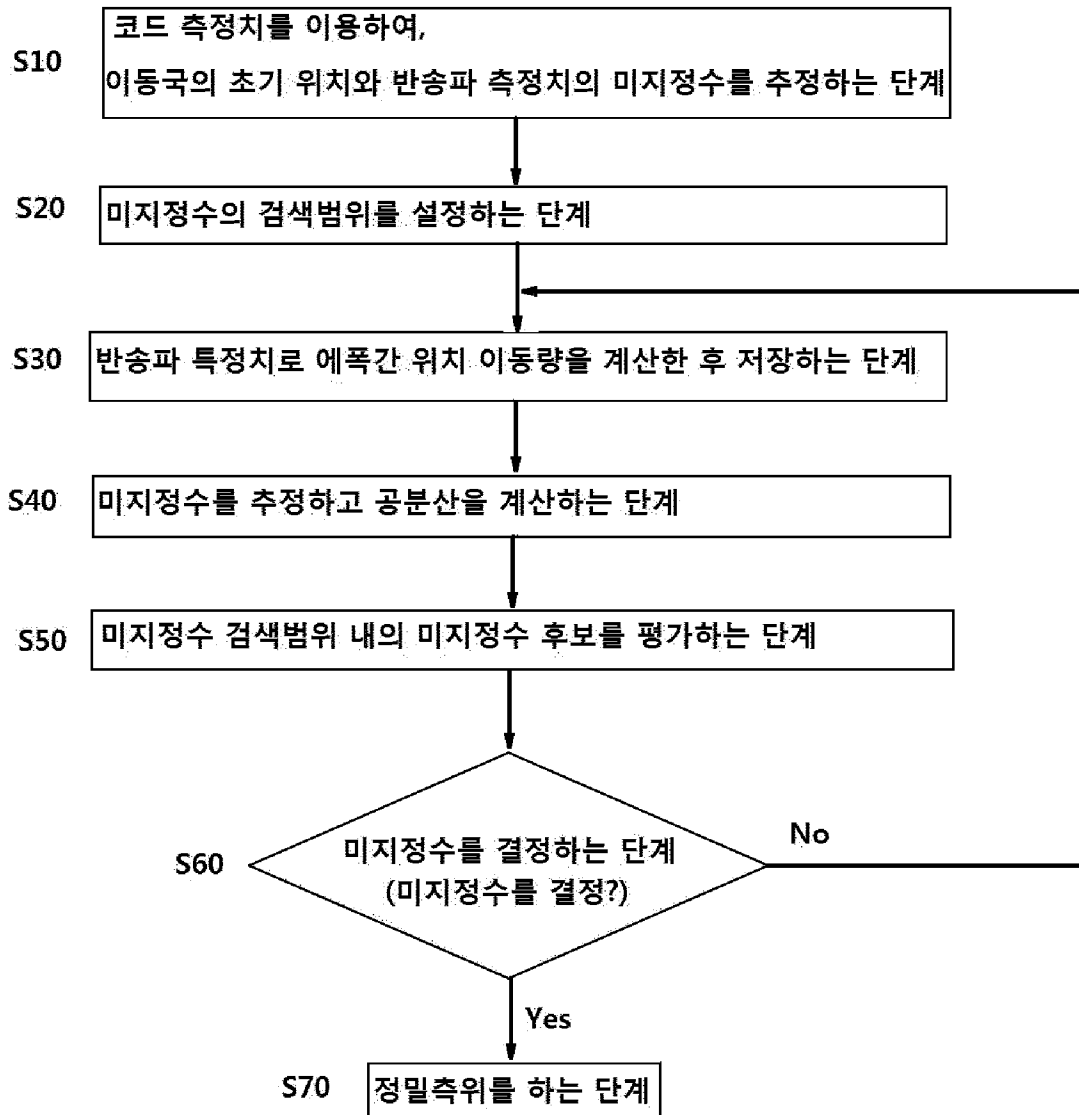
청구항 4에 있어서,

이동국에서 신호를 수신할 수 있는 GPS 위성의 수가 감소한 경우, 그 감소한 순간까지의 모든 측정치를 이용하여 구한 위치와 그 감소한 순간에 제외된 GPS 위성을 제외한 측정치로 구한 위치의 차이만큼을 그 제외된 위성을 제외한 측정치로 구한 위치에 보상한 후 그 감소된 이후의 실수 미지정수를 추정하여 궤적의 연속성을 보장하는 것을 특징으로 하는 반송파 위상 GPS를 이용한 정밀 위치 추정 방법.

[도1]



[도2]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/KR2018/004669

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01S 19/29(2010.01)i, G01S 19/30(2010.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01S 19/29; G05D 1/00; G01S 19/01; G01S 5/06; G01S 19/03; G01S 19/30

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Korean Utility models and applications for Utility models: IPC as above

Japanese Utility models and applications for Utility models: IPC as above

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

eKOMPASS (KIPO internal) & Keywords: code, carrier, GPS, integer ambiguity, position

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	KR 10-2002-0082036 A (NAVICOM CO., LTD.) 30 October 2002 See pages 3-8.	1,4
A		2-3,5-6
Y	KR 10-2014-0002137 A (WIFIVE CO., LTD. et al.) 08 January 2014 See paragraphs [0034]-[0035], [0074].	1,4
A	KR 10-1999-0038068 A (NAVICOM CO., LTD. et al.) 05 June 1999 See claim 1 and figure 5.	1-6
A	KR 10-1221929 B1 (KOREA INSTITUTE OF OCEAN SCIENCE & TECHNOLOGY) 16 January 2013 See claim 1 and figure 4.	1-6
A	KR 10-2006-0056413 A (TOYOTA JIDOSHA KABUSHIKI KAISHA) 24 May 2006 See claim 1 and figures 5-6.	1-6



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

02 AUGUST 2018 (02.08.2018)

Date of mailing of the international search report

02 AUGUST 2018 (02.08.2018)

Name and mailing address of the ISA/KR

Korean Intellectual Property Office
Government Complex Daejeon Building 4, 189, Cheongsu-ro, Seo-gu,
Daejeon, 35208, Republic of Korea

Facsimile No. +82-42-481-8578

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/KR2018/004669

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member	Publication date
KR 10-2002-0082036 A	30/10/2002	KR 10-0441761 B1	23/07/2004
KR 10-2014-0002137 A	08/01/2014	KR 10-1409804 B1	24/06/2014
KR 10-1999-0038068 A	05/06/1999	JP 2001-508182 A	19/06/2001
		KR 10-0265465 B1	15/09/2000
		WO 99-23505 A1	14/05/1999
KR 10-1221929 B1	16/01/2013	WO 2014-061858 A1	24/04/2014
KR 10-2006-0056413 A	24/05/2006	CN 1864075 A	15/11/2006
		DE 602004008327 T2	08/05/2008
		DE 602004008327 T4	14/01/2010
		EP 1690106 A2	16/08/2006
		EP 1690106 B1	15/08/2007
		EP 1690106 B9	08/07/2009
		JP 2005-164395 A	23/06/2005
		KR 10-0749835 B1	16/08/2007
		US 2007-0057839 A1	15/03/2007
		US 7498980 B2	03/03/2009
		WO 2005-054889 A2	16/06/2005
		WO 2005-054889 A3	08/06/2006

A. 발명이 속하는 기술분류(국제특허분류(IPC))

G01S 19/29(2010.01)i, G01S 19/30(2010.01)i

B. 조사된 분야

조사된 최소문헌(국제특허분류를 기재)

G01S 19/29; G05D 1/00; G01S 19/01; G01S 5/06; G01S 19/03; G01S 19/30

조사된 기술분야에 속하는 최소문헌 이외의 문헌

한국등록실용신안공보 및 한국공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC

일본등록실용신안공보 및 일본공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC

국제조사에 이용된 전산 데이터베이스(데이터베이스의 명칭 및 검색어(해당하는 경우))

eKOMPASS(특허청 내부 검색시스템) & 키워드: 코드, 반송파, GPS, 미지정수, 위치

C. 관련 문헌

카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
Y	KR 10-2002-0082036 A (주식회사 네비콤) 2002.10.30	1,4
A	페이지 3-8 참조.	2-3,5-6
Y	KR 10-2014-0002137 A ((주)와이파이브 등) 2014.01.08	1,4
	단락 [0034]-[0035], [0074] 참조.	
A	KR 10-1999-0038068 A (주식회사 네비콤 등) 1999.06.05	1-6
	청구항 1 및 도면 5 참조.	
A	KR 10-1221929 B1 (한국해양과학기술원) 2013.01.16	1-6
	청구항 1 및 도면 4 참조.	
A	KR 10-2006-0056413 A (도요다 지도샤 가부시끼가이샤) 2006.05.24	1-6
	청구항 1 및 도면 5-6 참조.	

☐ 추가 문헌이 C(계속)에 기재되어 있습니다.

☒ 대응특허에 관한 별지를 참조하십시오.

* 인용된 문헌의 특별 카테고리:

“A” 특별히 관련이 없는 것으로 보이는 일반적인 기술수준을 정의한 문헌

“T” 국제출원일 또는 우선일 후에 공개된 문헌으로, 출원과 상충하지 않으며 발명의 기초가 되는 원리나 이론을 이해하기 위해 인용된 문헌

“E” 국제출원일보다 빠른 출원일 또는 우선일을 가지나 국제출원일 이후에 공개된 선출원 또는 특허 문헌

“X” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌 하나만으로 청구된 발명의 신규성 또는 진보성이 없는 것으로 본다.

“L” 우선권 주장에 의문을 제기하는 문헌 또는 다른 인용문헌의 공개일 또는 다른 특별한 이유(이유를 명시)를 밝히기 위하여 인용된 문헌

“Y” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌이 하나 이상의 다른 문헌과 조합하는 경우로 그 조합이 당업자에게 자명한 경우 청구된 발명은 진보성이 없는 것으로 본다.

“O” 구두 개시, 사용, 전시 또는 기타 수단을 언급하고 있는 문헌

“&” 동일한 대응특허문헌에 속하는 문헌

“P” 우선일 이후에 공개되었으나 국제출원일 이전에 공개된 문헌

국제조사의 실제 완료일

2018년 08월 02일 (02.08.2018)

국제조사보고서 발송일

2018년 08월 02일 (02.08.2018)

ISA/KR의 명칭 및 우편주소



대한민국 특허청
(35208) 대전광역시 서구 청사로 189,
4동 (둔산동, 정부대전청사)

팩스 번호 +82-42-481-8578

심사관

강성철

전화번호 +82-42-481-8405



국제조사보고서에서 인용된 특허문헌	공개일	대응특허문헌	공개일
KR 10-2002-0082036 A	2002/10/30	KR 10-0441761 B1	2004/07/23
KR 10-2014-0002137 A	2014/01/08	KR 10-1409804 B1	2014/06/24
KR 10-1999-0038068 A	1999/06/05	JP 2001-508182 A	2001/06/19
		KR 10-0265465 B1	2000/09/15
		WO 99-23505 A1	1999/05/14
KR 10-1221929 B1	2013/01/16	WO 2014-061858 A1	2014/04/24
KR 10-2006-0056413 A	2006/05/24	CN 1864075 A	2006/11/15
		DE 602004008327 T2	2008/05/08
		DE 602004008327 T4	2010/01/14
		EP 1690106 A2	2006/08/16
		EP 1690106 B1	2007/08/15
		EP 1690106 B9	2009/07/08
		JP 2005-164395 A	2005/06/23
		KR 10-0749835 B1	2007/08/16
		US 2007-0057839 A1	2007/03/15
		US 7498980 B2	2009/03/03
		WO 2005-054889 A2	2005/06/16
		WO 2005-054889 A3	2006/06/08