



(19)대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) 。 Int. Cl.	(45) 공고일자	2007년01월09일
<i>G01C 21/08</i> (2006.01)	(11) 등록번호	10-0666160
<i>G05F 7/00</i> (2006.01)	(24) 등록일자	2007년01월02일

(21) 출원번호	10-2004-0115007	(65) 공개번호	10-2006-0076548
(22) 출원일자	2004년12월29일	(43) 공개일자	2006년07월04일
심사청구일자	2004년12월29일		

(73) 특허권자 한국항공우주연구원
 대전 유성구 어은동 45

(72) 발명자 이선호
 대전 유성구 송강동 청솔아파트 511동 1508호

 이승우
 대전 서구 월평동 무궁화아파트 204동 902호

(74) 대리인 양광남
 연무식

(56) 선행기술조사문헌

JP09273932 A	JP11325951 A
KR1020040013439 A	US4244215 A
US4870602 A	

* 심사관에 의하여 인용된 문헌

심사관 : 이병결

전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 궤도기하학을 이용한 인공위성 자기센서의 바이어스보정방법

(57) 요약

본 발명은 인공위성에 장착된 3축 자기센서를 통해서 위성좌표계에서 지구자기장을 측정하는 단계(S1); 지구지향모드에서 측정된 지구 자기장데이터를 지구지향변환좌표계로 변환하고 태양지향모드에서 측정된 지구 자기장데이터를 태양지향변환좌표계로 변환하여 변환자기장을 산출하는 변환자기장 산출단계(S2); 변환자기장의 시평균값을 계산하는 시평균값 산출단계(S3); 시평균값을 지구지향변환좌표계에서 지구지향모드 위성좌표계로, 태양지향변환좌표계에서 태양지향모드 위성좌표계로 역변환후 곡선접합법을 적용하여 측정된 자기장 데이터에 포함된 바이어스를 산출하는 바이어스 산출단계(S4); 산출된 바이어스를 측정된 자기장 데이터에서 소거하여 보정을 완료하는 바이어스 보정단계(S5);로 이루어지는 것을 특징으로 하는 궤도기하학을 이용한 인공위성 자기센서의 바이어스 보정방법에 관한 것이다.

대표도

도 1

특허청구의 범위

청구항 1.

(정정)

인공위성에 장착된 3축 자기센서를 통해서 위성좌표계에서 지구자기장을 측정하는 단계(S1);

지구지향모드에서 측정된 지구 자기장데이터를 지구지향변환좌표계로 변환하고 태양지향모드에서 측정된 지구 자기장데이터를 태양지향변환좌표계로 변환하여 변환자기장을 산출하는 변환자기장 산출단계(S2);

전 단계에서 산출된 변환자기장의 시평균값을 계산하는 시평균값 산출단계(S3);

전 단계에서 산출된 시평균값중 지구지향변환좌표계의 변환자기장 시평균값은 지구지향모드 위성좌표계로 역변환하고, 태양지향변환좌표계의 변환자기장 시평균값은 태양지향모드 위성좌표계로 역변환한 후, 상기 위성좌표계로 역변환된 값을 커브피팅법(입의의 점(n+1)을 입력하여 그 점들을 지나는 n차 이하근사곡선을 구하는 방법)을 이용하여 위성좌표계 측정자기장 데이터에 포함된 바이어스를 산출하는 바이어스 산출단계(S4);

전 단계에서 산출된 바이어스를 측정된 자기장 데이터에서 소거하여 보정을 완료하는 바이어스 보정단계(S5);로 이루어지는 것을 특징으로 하는 궤도기하학을 이용한 인공위성 자기센서의 바이어스 보정방법.

청구항 2.

제 1 항에 있어서,

상기 자기장 측정단계는 인공위성에 장착된 3축 자기센서를 통해 지구지향모드의 위성좌표계(x_b, y_b, z_b)중 x_b, y_b 축에서 측정되는 자기장(B_x, B_y)과 태양지향모드의 위성좌표계(x_s, y_s, z_s)중 z_s 축에서 측정되는 자기장(B_z)를 조합하여 위성좌표계

측정자기장 $(B) = \begin{pmatrix} B_x \\ B_y \\ B_z \end{pmatrix}$ 데이터를 산출하는 것을 특징으로 하는 궤도기하학을 이용한 인공위성 자기센서의 바이어스 보정방법.

청구항 3.

제 1 항에 있어서,

상기 변환자기장 산출단계는, 인공위성이 지구지향모드로 운용되는 중에 측정된 자기장(B_x, B_y)데이터를 지구지향변환행렬(T_e)을 통해 지구지향변환좌표계(x_n, y_n, z_n)로 변환하고, 태양지향모드로 운용되는 중에 측정된 자기장(B_z)데이터를 태양지향변환행렬(T_s)을 통해 태양지향변환좌표계(x_s, y_s, z_s)로 변환하여 변환자기장($M) = (D_e \times T_e + D_s \times T_s) \times B$ 데이터를 산출하되, 여기서 D_e 및 D_s 는 이득행렬인 것을 특징으로 하는 궤도기하학을 이용한 인공위성 자기센서의 바이어스 보정방법.

청구항 4.

제 1 항에 있어서,

$$\overline{M}(t) = \begin{pmatrix} \overline{M_x}(t) \\ \overline{M_y}(t) \\ \overline{M_z}(t) \end{pmatrix} = \frac{1}{t} \int_0^t M(\tau) d\tau$$

상기 시평균값 산출단계는, 변환자기장의 시평균값($\overline{M}(t)$)을 다음의 식에 의해 산출하는 것을 특징으로 하는 궤도기하학을 이용한 인공위성 자기센서의 바이어스 보정방법.

청구항 5.

제 1 항에 있어서,

상기 바이어스 산출단계는, 지구지향변환좌표계의 변환자기장 시평균값($\overline{M_x}, \overline{M_y}$)은 지구지향모드 위성좌표계로 역변환하고, 태양지향변환좌표계의 변환자기장 시평균값($\overline{M_z}$)은 태양지향모드 위성좌표계로 역변환한 후 커브피팅을 이용하여 위성좌표계 측정자기장 데이터에 포함된 바이어스를 출력하는 것을 특징으로 하는 궤도기하학을 이용한 인공위성 자기센서의 바이어스 보정방법.

청구항 6.

제 1 항에 있어서,

상기 바이어스 보정단계는 이미 산출된 바이어스를 측정된 자기장 데이터에서 소거(B(t)-Δ(t))하여 보정결과를 산출하는 것을 특징으로 하는 궤도기하학을 이용한 인공위성 자기센서의 바이어스 보정방법.

명세서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 궤도기하학을 이용한 인공위성 자기센서의 바이어스 보정방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 인공위성에 장착된 자기센서에서 측정되는 자기장 데이터 성분중 실제 측정하고자 하는 지구자기장 이외에 위성 내부의 전자장치와 자화물질에 의해서 발생하는 자기장 바이어스를 궤도기하학을 이용하여 보정하는 방법에 관한 것이다.

인공위성은 안테나와 센서를 항상 지구방향이나, 일정방향을 향하도록 하여야 한다. 이를 위해서 지구, 태양, 항성 등을 기준으로 삼아 위성 자신의 3축 둘레의 자세를 검지하여 목표방향과의 어긋남을 자이로, 플라이휠, 가스제트 등을 작동시켜 수정하게 되는데, 이를 3축 자세제어(Three axes attitude control system)라고 한다. 현재 사용되고 있는 인공위성의 자세제어방법으로는 통상적인 바이어스 모멘텀, 제로 모멘텀 및 이들의 변형 또는 병용방식이 많다. 여기서 자세를 검지하기 위한 센서를 자기센서(또는 자력계:Magnetometer)라 한다.

이러한 자기센서는 인공위성에 장착되는 주요한 센서로서 우주공간에서 지구자기장을 측정하여 반작용휠(Reaction wheel)의 모멘텀관리(Momentum management), 그리고 인공위성의 임무기동(Maneuver)을 위한 자세결정(Attitude determination) 및 자세제어(Attitude control)를 수행하는데 사용된다. 이를 위해서는 위성내부에 다수의 전자장치와 자화물질에서 발생하는 자기장의 간섭영향을 추정하여 자기센서의 측정데이터를 보정하는 작업을 수행하여야 한다.

종래의 자세제어방법으로는, 자기센서를 위성에서 멀리 위치하도록 붐(Boom)을 사용하거나, 자기장 간섭을 발생시키는 장치 및 물질을 위성내부 또는 외부에 최적배치하는 등의 수동적인 방법과, 지구자기장 모델을 사용한 최소자승필터(Least square filter) 또는 칼만필터(Kalman filter)의 설계를 통한 능동적 방법이 주로 사용되고 있다.

그러나, 상기한 수동적인 방법의 경우는 실제 위성내부의 전자장치의 배치를 조정하는데 한계가 있기 때문에 보정 정밀도가 낮고, 능동적인 방법의 경우는 정밀도가 높는데 비해 자기센서의 측정값과 비교시 사용되는 기준인 국제표준지자기장(International geomagnetic reference field)모델을 데이터베이스로서 위성에 탑재해야 하며, 시간에 따라 변화하는 모델계수를 정기적으로 갱신해야 하는 작업이 필요하다. 또한, 흔히 사용되는 칼만필터 알고리즘을 실제 인공위성 프로세서에 구현할 때 필터시스템의 안정적인 수렴성(Convergence)과 최소의 계산량을 보장하기 위해서 설계와 시험에 많은 시간이 소요된다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

이에 본 발명은 상기와 같은 종래의 문제점을 해결하기 위해 안출한 것으로서, 본 발명의 주요 목적은 위성의 궤도기하학을 이용하여 위성내부의 전자장치와 자화물질의 간섭에 의해 발생하는 자기장 바이어스를 추정하여 자기센서 데이터를 보정할 수 있는 궤도기하학을 이용한 인공위성 자기센서의 바이어스 보정방법을 제공하는 것이다.

발명의 구성

상기한 목적을 달성하기 위한 본 발명은, 인공위성에 장착된 3축 자기센서를 통해서 위성좌표계에서 지구자기장을 측정하는 단계; 지구지향모드에서 측정된 자기장 데이터를 지구지향변환좌표계로 변환하고 태양지향모드에서 측정된 자기장 데이터를 태양지향변환좌표계로 변환하여 변환자기장을 산출하는 변환자기장 산출단계; 변환자기장의 시평균값을 계산하는 시평균값 산출단계; 시평균값을 지구지향변환좌표계에서 지구지향모드 위성좌표계로, 태양지향변환좌표계에서 태양지향모드 위성좌표계로 역변환후 곡선접합법을 적용하여 측정된 자기장 데이터에 포함된 바이어스를 산출하는 바이어스 산출단계; 산출된 바이어스를 측정된 자기장 데이터에서 소거하여 보정을 완료하는 바이어스 보정단계;로 이루어진 것을 특징으로 한다.

여기서, 상기 자기장 측정단계는 인공위성에 장착된 3축 자기센서를 통해 지구지향모드의 위성좌표계(x_b,y_b,z_b)중 x_b,y_b 축에서 측정되는 자기장(B_x,B_y)과 태양지향모드의 위성좌표계(x_b,y_b,z_b)중 z_b 축에서 측정되는 자기장(B_z)를 조합하여 위

성좌표계 측정자기장 (B)= $\begin{pmatrix} B_x \\ B_y \\ B_z \end{pmatrix}$ 데이터를 산출하는 것을 특징으로 한다.

또한, 상기 변환자기장 산출단계는, 인공위성이 지구지향모드로 운용되는 중에 측정된 자기장(B_x,B_y)데이터를 지구지향변환행렬(T_e)을 통해 지구지향변환좌표계(x_n,y_n,z_n)로 변환하고, 태양지향모드로 운용되는 중에 측정된 자기장(B_z)데이터를 태양지향변환행렬(T_s)을 통해 태양지향변환좌표계(x_s,y_s,z_s)로 변환하여 변환자기장(M)=(D_e×T_e+D_s×T_s)×B데이터를 산출하되, 여기서 D_e 및 D_s는 이득행렬인 것을 특징으로 한다.

$$\bar{M}(t) = \begin{pmatrix} \overline{M_x}(t) \\ \overline{M_y}(t) \\ \overline{M_z}(t) \end{pmatrix} = \frac{1}{t} \int_0^t M(\tau) d\tau$$

또한, 상기 시평균값 산출단계는, 변환자기장의 시평균값($\bar{M}(t)$)을 다음의 식에 의해 산출하는 것을 특징으로 한다.

또한, 상기 바이어스 산출단계는, 지구지향변환좌표계의 변환자기장 시평균값($\overline{M_x}, \overline{M_y}$)은 지구지향모드 위성좌표계로 역변환하고, 태양지향변환좌표계의 변환자기장 시평균값($\overline{M_z}$)은 태양지향모드 위성좌표계로 역변환한 후 커브피팅을 이용하여 위성좌표계 측정자기장 데이터에 포함된 바이어스를 출력하는 것을 특징으로 한다.

또한, 상기 바이어스 보정단계는 이미 산출된 바이어스를 측정된 자기장 데이터에서 소거(B(t)-Δ(t))하여 보정결과를 산출하는 것을 특징으로 한다.

이하, 본 발명의 바람직한 실시예를 첨부도면을 참조하여 상세히 설명한다.

첨부된 도 1은 바이어스 보정단계를 나타낸 흐름도이고, 도 2는 위성좌표계를 나타낸 도면이며, 도 3은 지구지향모드에서 위성자세를 나타낸 도면이고, 도 4는 태양지향모드에서 위성자세를 나타낸 도면이며, 도 5는 지구지향 변환좌표계를 나타낸 도면이고, 도 6은 태양지향 변환좌표계를 나타낸 도면이다.

본 발명에 따른 궤도기하학을 이용한 인공위성 자기센서의 바이어스 보정방법은 도 1에서와 같이 자기장 측정단계(S1)와, 변환자기장 산출단계(S2)와, 시평균값 산출단계(S3)와, 바이어스 산출단계(S4)와, 바이어스 보정단계(S5)가 순차적으로 진행되어 이루어진다.

통상적으로 인공위성은 임무수행을 위한 기동을 제외하면 지구지향모드(Earth-pointing mode)와 태양지향모드(Sun-pointing mode)로 운용된다. 여기서 지구지향모드는 도 2 및 도 3에서 보듯이 인공위성의 카메라 또는 안테나의 시선벡터인 z_b 축이 지구중심을 지향하고 있는 상태를 말하며, 태양지향모드는 도 4에 도시된 바와 같이 태양전지판의 법선벡터인 $-z_b$ 축이 태양을 지향하고 있는 상태를 말한다.

이 상태로 부터, 상기한 자기장 측정단계(S1)는 위성에 장착된 3축 자기센서(미도시)를 통해 위성좌표계(x_b, y_b, z_b)에서 지구자기장(B) 데이터를 검출하는 단계이다.

즉, 인공위성에 장착된 3축 자기센서를 통해 지구지향모드의 위성좌표계중 x_b, y_b 축에서 측정되는 지구 자기장(B_x, B_y)과, 태양지향모드의 위성좌표계중 z_b 축에서 측정되는 지구 자기장(B_z)을 조합하여 위성좌표계 측정자기장(B) 데이터를 검출하게 되며, 그 수학적식은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

(수학적식 1)

$$B(t) = \begin{pmatrix} B_x(t) \\ B_y(t) \\ B_z(t) \end{pmatrix}$$

다음, 상기한 변환자기장 산출단계(S2)는 인공위성의 지구지향모드에서 측정된 지구의 자기장 데이터를 지구지향변환좌표계로 변환하고 태양지향모드에서 측정된 지구의 자기장 데이터를 태양지향변환좌표계로 변환하여 변환자기장을 산출하는 단계이다.

즉, 인공위성이 지구지향모드로 운용되는 중에 측정된 지구 자기장(B_x, B_y) 데이터를 지구지향변환행렬(Earth-pointing transformation matrix: T_e)을 통해 지구지향변환좌표계(Earth-pointing transformation coordinate: x_n, y_n, z_n)로 변환하고, 태양지향모드 운용중에 측정된 지구 자기장(B_z) 데이터를 태양지향변환행렬(Sun-pointing transformation matrix: T_s)을 통해 태양지향변환좌표계(Sun-pointing transformation coordinate: x_s, y_s, z_s)로 변환하여 변환자기장(M)을 산출한다.

상기에서, 변환자기장(M)은 지구지향변환행렬과 태양지향변환행렬, 그리고 이득행렬(Gain matrix)인 $D_s = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$, $D_e = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$ 을 이용하여 아래의 수학적식(2)에 의해 산출된다.

(수학적식 2)

$$M(t) = \begin{pmatrix} M_x(t) \\ M_y(t) \\ M_z(t) \end{pmatrix} = (D_e \cdot T_e(t) + D_s \cdot T_s(t)) \cdot B(t)$$

다음, 시평균값 산출단계(S3)는 상기 변환자기장의 시평균값($\overline{M}(t)$)을 산출하며 이를 수학적식으로 나타내면 아래와 같다.

(수학식 3)

$$\overline{M}(t) = \begin{pmatrix} \overline{M_x}(t) \\ \overline{M_y}(t) \\ \overline{M_z}(t) \end{pmatrix} = \frac{1}{t} \int_0^t M(\tau) d\tau$$

다음, 바이어스 산출단계(S4)는 지구지향변좌표계의 변환자기장 시평균값($\overline{M_x}, \overline{M_y}$)은 지구지향모드 위성좌표계로 역변환하고, 태양지향변좌표계의 변환자기장 시평균값($\overline{M_z}$)은 태양지향모드 위성좌표계로 역변환한 후 커브피팅(Curve fitting: 임의의 점(n+1)개를 입력하여 그 점들을 지나는 n차 이하 근사곡선을 구하는 방법)법을 이용하여 위성좌표계 측정 자기장 데이터에 포함된 바이어스(Δ)를 산출한다.

참고적으로, Curve Fitting이란 현실적으로 얻을 수 있는 데이터를 이용하여 그 데이터들을 표현할 수 있는 가장 이상적인 수학적인 직선, 혹은 곡선을 얻어내는 기술을 말한다. 예를 들어 x-y 좌표계에서 (1,2), (2,3), (3,4)의 세 점을 지나는 직선의 방정식을 구하라고 한다면 $y=x+1$ 의 식을 구할 수 있다. 그러나 현실적으로 얻을 수 있는 데이터는 위의 예처럼 정확하게 선 위에 점들이 분포하게끔 구할 수 없다. 이 때 실제 데이터와 얻어지는 직선이나 곡선 사이의 오차를 최소화 할 수 있는 여러가지 기술들이 Curve Fitting의 실제 내용이다. 이러한 Curve Fitting은 과학/공학 분야에서 실험 데이터의 분석, 통계학 분야, 그리고 여러가지 자동화 기술 등 광범위한 분야에서 핵심 기술로 사용되고 있으며 특히 80년대 이후 컴퓨터의 비약적인 발전과 함께 그 가치가 상승한 학문분야이다. 그리고 Curve Fitting에 대한 학문을 수치해석이라고 부르고 있다.

커브피팅이 사용되는 예를 들어 보면, 우리는 옴의 법칙에 따라 전압과 전류는 서로 비례하며 그 비례상수가 물체의 저항이라는 사실을 알고 있다. 그렇다면 우리가 새로운 물질의 저항을 측정할 때 일정한 전류를 흘려주고 전압을 잰다면 $V=IR$ 의 식을 이용해서 저항을 알 수 있지만 한 번의 실험만으로는 정확한 실험결과를 얻었음을 확신하기 힘들다. 따라서 실험으로 얻은 데이터에 신빙성을 부여하기 위해 전류값을 여러가지로 변화시키면서 전압을 측정하여 재료의 저항값을 얻어내는데 이 경우 실험으로 얻은 모든 데이터가 원점을 지나는 직선상에 위치하는 일은 실제로는 절대 일어나지 않는다. 이 경우 얻어진 데이터로 표현할 수 있는 최선의 직선을 찾는 작업이 바로 Curve Fitting이다. 또 다른 예로 자동 제어 분야의 경우 순항미사일이 지형지물과 적의 미사일 방공망을 뚫고 목표물을 명중시키기 위해서는 그 궤도를 컴퓨터로 계산해야 하는데 컴퓨터는 수학적으로 표현된 식만을 인식할 수 있기 때문에 원하는 중간 경로를 정확히 따라가게 제어하는 것이 아니라 원하는 중간 경로를 최대한 벗어나지 않고 목표에 도달할 수 있는 궤도를 수학식으로 표현할 수 있어야 하는데 이 경우에도 Curve Fitting이 쓰이고 있다.

다음, 바이어스 보정단계(S5)는 바이어스 산출단계에서 산출된 바이어스(Δ)를 측정된 자기장 데이터에서 소거($B(t)-\Delta(t)$)하여 보정결과를 산출하는 것이다.

발명의 효과

이상에서 설명된 바와 같이 본 발명은 기존의 자기센서에 의한 보정방법과는 달리 국제표준지자기장 모델을 사용하지 않고 위성의 궤도기하학을 이용하여 위성 내부의 전자장치 및 자화물질의 간섭에 의해 발생하는 자기장 바이어스를 추정하여 자기센서 데이터를 효과적으로 보정할 수 있는 방법을 제공함에 따라 지구자기장 모델 데이터베이스를 위성체의 메모리에 탑재할 필요가 없고 안정적인 수렴성과 적은 계산량을 보장하기 때문에 위성체 내부의 자기장 간섭의 자율적 소거가 필요한 소형위성에 유용하게 사용될 수 있다.

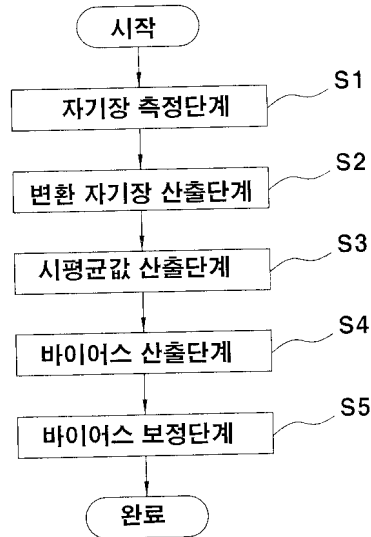
도면의 간단한 설명

- 도 1은 바이어스 보정단계를 나타낸 흐름도
- 도 2는 위성좌표계를 나타낸 도면
- 도 3은 지구지향모드에서 위성자세를 나타낸 도면
- 도 4는 태양지향모드에서 위성자세를 나타낸 도면
- 도 5는 지구지향 변환좌표계를 나타낸 도면

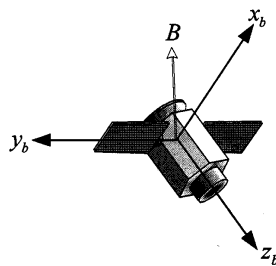
도 6은 태양지향 변환좌표계를 나타낸 도면

도면

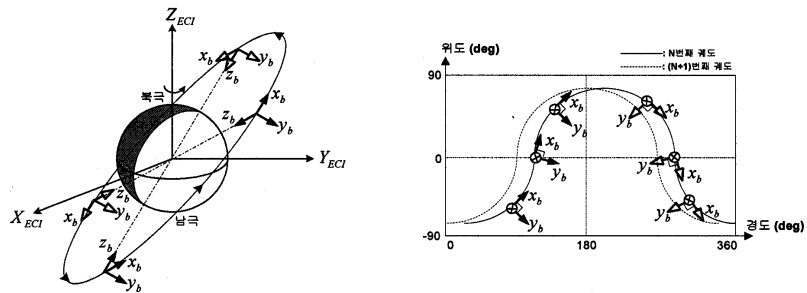
도면1



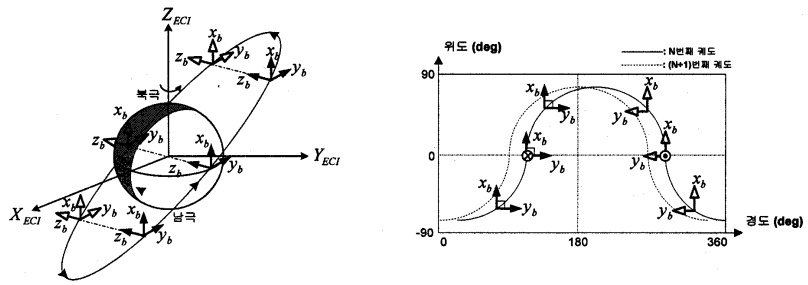
도면2



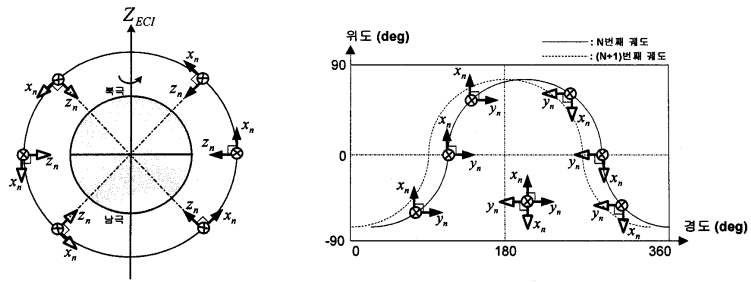
도면3



도면4



도면5



도면6

