(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2010년03월17일
(11) 등록번호 10-0947898
(24) 등록일자 2010년03월09일

(51) Int. Cl.
G01P 3/481 (2006.01) *A63B 69/36* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2007-7022604
(22) 출원일자 2006년02월28일
심사청구일자 2009년08월28일
(85) 번역문제출일자 2007년10월02일
(65) 공개번호 10-2007-0110117
(43) 공개일자 2007년11월15일
(86) 국제출원번호 PCT/DK2006/000117
(87) 국제공개번호 WO 2006/092141
국제공개일자 2006년09월08일
(30) 우선권주장
60/657,704 2005년03월03일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
US06244971 B1*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
인터액티브 스포츠 게임스 에이/에스
덴마크 2950 베드백 스투벨레드 2
(72) 발명자
툭센 프레드릭
덴마크 디케이-2970 회르스홀름 감멜 뷔베이 23
(74) 대리인
박장원

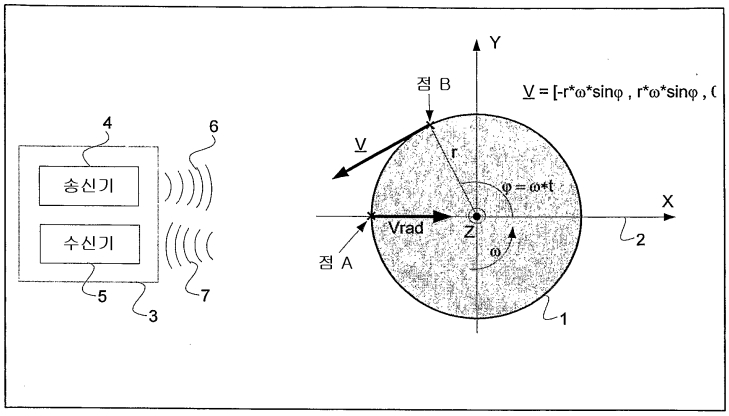
전체 청구항 수 : 총 8 항 심사관 : 임은정

(54) 스포츠 공의 회전 파라미터 결정

(57) 요 약

골프공의 회전축 및 회전 속도와 같은 스포츠 공의 회전 파라미터 결정 방법. 회전축은 단지 비행하는 공의 궤적으로부터 결정되고, 회전 속도는, 주파수 거리가 회전 속도와 관련된 주파수에 있어서 등거리에 위치된 스펙트럼 자취를 포함하는 레이더에 의해 제공된 신호의 주파수 분석으로부터 결정된다.

대 표 도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

비행중인 회전하는 스포츠 공의 회전 속도 또는 회전 주파수 산정 방법으로서,

1. 비행중 다수의 시점에, 회전하는 스포츠 공으로부터 반사된 전자파를 수신하고, 대응하는 신호를 제공하는 단계,

2. 상기 신호의 주파수 분석을 수행하고, 주파수에 있어서 적어도 등거리에 위치하고 시간에 대해 연속적인 둘 이상의 불연속 스펙트럼의 자취를 식별하는 단계, 및

3. 상기 불연속 스펙트럼의 자취 사이의 주파수 거리로부터 회전 속도/회전 주파수를 산정하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 비행중인 회전하는 스포츠 공의 회전 속도 또는 회전 주파수 산정 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

단계 1은 수신기를 사용하여 반사된 전자파를 수신하는 단계를 포함하고,

단계 2는 주파수 분석에 이어서 수신기를 향하는 방향 또는 수신기로부터 멀어지는 방향의 공 속도에 해당하는 제1 주파수를 식별하는 단계를 포함하고, 스펙트럼 자취의 식별은 제1 주파수 주위에 대칭적으로 위치하는 스펙트럼 자취를 식별하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 비행중인 회전하는 스포츠 공의 회전 속도 또는 회전 주파수 산정 방법.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,

단계 2는, 각 시점에 대해 그리고 시간에 있어서 순차적으로,

- 소정 시점에 주파수 분석과 등거리 후보 주파수 식별을 수행하고,

- 이어서 하나 이상의 이전 시점의 후보 주파수로부터 최대한 소정의 양만큼 이탈된 주파수를 각각 가진 후보들을 식별하고,

- 그 다음에 식별된 후보들의 자취를 주파수의 자취로서 식별하는 단계를 포함하고,

단계 3은 식별된 스펙트럼 자취를 기초로 속도/주파수를 산정하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 비행중인 회전하는 스포츠 공의 회전 속도 또는 회전 주파수 산정 방법.

청구항 4

비행중인 회전하는 스포츠 공의 회전 속도 또는 회전 주파수 산정 시스템으로서,

1. 비행중 다수의 시점에, 회전하는 스포츠 공으로부터 반사된 전자파를 수신하고 상응하는 신호를 제공하도록 구성된 수신기,

2. 상기 신호의 주파수 분석을 수행하고, 주파수에 대해 적어도 등거리에 위치하고 시간에 대해 연속적인 둘 이상의 불연속 스펙트럼의 자취를 식별하는 수단, 및

3. 상기 불연속 스펙트럼의 자취 사이의 주파수 거리로부터 속도/주파수를 산정하는 수단을 포함하는 것을 특징으로 하는 비행중인 회전하는 스포츠 공의 회전 속도 또는 회전 주파수 산정 시스템.

청구항 5

제4항에 있어서,

수단 2는 주파수 분석에 이어서 수신기를 향하는 방향 또는 수신기로부터 멀어지는 방향의 공 속도에 해당하는 제1 주파수를 식별하고, 상기 제1 주파수 주위에 대칭적으로 위치하는 스펙트럼 자취를 스펙트럼의 자취로서 식별하도록 구성된 것을 특징으로 하는 비행중인 회전하는 스포츠 공의 회전 속도 또는 회전 주파수 산정 시스템.

청구항 6

제4항 또는 제5항에 있어서,

수단 2는, 각 시점에 대해 그리고 시간에 있어서 순차적으로,

- 소정 시점에 대하여 주파수 분석과 등거리 후보 주파수들의 식별을 수행하고,

- 이어서 하나 이상의 이전 시점의 후보 주파수로부터 최대한 소정의 양만큼 이탈된 주파수를 가진 후보들을 식별하고,

- 그 다음에 식별된 후보들의 자취를 주파수의 자취로서 식별하도록 구성되고,

수단 3은 상기 식별된 스펙트럼 자취를 기초로 속도/주파수를 산정하도록 구성된 것을 특징으로 하는 비행중인 회전하는 스포츠 공의 회전 속도 또는 회전 주파수 산정 시스템.

청구항 7

비행중인 스포츠 공의 회전축과 회전 주파수를 포함하는 회전을 산정하는 방법으로서,

제1항에 따른 회전 주파수 산정 방법을 포함하고,

1. 비행하는 스포츠 공의 삼차원 궤적의 적어도 일부분을 결정하는 단계,

2. 상기 궤적에 따른 소정 위치에서 스포츠 공의 가속도를 궤적으로부터 산정하는 단계,

3. 상기 소정 위치에서 중력에 의한 스포츠 공의 가속도를 산정하는 단계,

4. 상기 소정 위치에서 공기 저항력/항력에 의한 스포츠 공의 가속도를 산정하는 단계, 및

5. 상기 산정된 가속도를 기초로 하여 상기 소정 위치에서 회전축을 산정하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 비행중인 스포츠 공의 회전 산정 방법.

청구항 8

삭제

청구항 9

삭제

청구항 10

삭제

청구항 11

비행중인 스포츠 공의 회전축과 회전 주파수를 포함하는 회전을 산정하는 시스템으로서,

제4항에 따른 시스템을 포함하고,

1. 비행하는 스포츠 공의 삼차원 궤적의 적어도 일부분을 결정하는 수단,

2. 상기 궤적에 따른 소정 위치에서 스포츠 공의 가속도를 궤적으로부터 산정하는 수단,

3. 상기 소정 위치에서 중력에 의한 스포츠 공의 가속도를 산정하는 수단,

4. 상기 소정 위치에서 공기 저항력/항력에 의한 스포츠 공의 가속도를 산정하는 수단, 및

5. 상기 소정 위치에서 산정된 가속도를 기초로 하여 회전축을 산정하는 수단을 또한 포함하는 것을 특징으로 하는 비행중인 스포츠 공의 회전 산정 시스템.

청구항 12

삭제

청구항 13

삭제

청구항 14

삭제

청구항 15

삭제

청구항 16

삭제

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 비행중인 스포츠 공의 회전 파라미터의 결정 및 특히, 스포츠 공의 회전축 및/또는 회전 속도의 결정에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 상기 파라미터는 스포츠 공 및 스포츠 공 발사용으로 사용되는 골프 클럽, 아이언(iron), 라켓(racket), 배트(bat) 또는 그와 유사한 것과 같은 다른 스포츠 장비의 사용과 개발에 있어서 매우 흥미있는 것이다.

[0003] 골프공에 있어서, 상기 결정은 일반적으로 골프공에 레이더 반사 재료의 스트립(strip) 또는 패턴을 추가함으로써 이루어졌다. 그러나, 이러한 타입의 공은 매우 표준화되어 있기 때문에, 이는 단지 시험용으로만 만들어질 수 있다. 상기 타입의 기술은 미국 특허 6,244,971호 및 미국 특허 출원 공개 공보 2002/0107078호에 나타나 있다.

발명의 상세한 설명

[0004] 본 발명은 스포츠 공을 개조하지 않고 상기 결정을 수행할 수 있도록 하는 것을 목적으로 한다.

[0005] 제1 태양에 있어서, 본 발명은 비행중인 스포츠 공의 회전축 산정 방법으로서,

[0006] 1. 비행하는 스포츠 공의 삼차원 궤적의 적어도 일부분을 결정하는 단계,

[0007] 2. 상기 궤적에 따른 소정 위치에서 스포츠 공의 가속도, 바람직하게는 전체 가속도를 궤적으로부터 산정하는 단계,

[0008] 3. 상기 소정 위치에서 중력에 의한 스포츠 공의 가속도를 산정하는 단계,

[0009] 4. 상기 소정 위치에서 공기 저항력/항력에 의한 스포츠 공의 가속도를 산정하는 단계, 및

[0010] 5. 상기 소정 위치에서 산정된 가속도를 기초로 하여 회전축을 산정하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 비행중인 스포츠 공의 회전축 산정 방법에 관한 것이다.

[0011] 일반적으로, 비행중인 회전 대칭 스포츠 공에는 단지 3개의 힘, 즉 중력, 공기 저항력 또는 항력(drag) 및 회전에 의한 소위 볼의 양력(lift)이 작용한다고 주장되고 있다. 따라서, 각각의 가속도를 산정함으로써 공의 회전에 의한 양력 또는 그 방향의 결정을 돕는 정보를 얻을 수 있다. 따라서, 중력과 항력에 의해 가속도가 발생하는 단일 수직 평면에 위치된 궤적으로부터의 이탈(deviation)이 회전에 의해 발생할 수 있다. 그러나, 양력과 회전은 상기 수직 평면 내에서 또한 작용할 수 있다.

[0012] 전체적인 가속도만이 결정되기 때문에, 단지 소정 위치 주위의 작은 영역에서의 정보만이 필요하다는 점을 주지해야 한다. 이는, 예를 들어 위치와 속도를 알고 있는 궤적에 따른 두 개의 점으로부터 결정될 수 있다.

[0013] 바람직하게는, 회전축의 결정은 공의 궤적에 따른 다수의 위치에서 수행된다. 따라서, 바람직하게는, 적어도 단계 2 내지 단계 4는 일정 시간 동안의 복수의 위치들 중 각각의 위치에서 수행된다. 그 다음, 단계 5는, 일정

시간 동안의 복수의 점들에서(예를 들면 그 평균값으로부터) 결정된 가속도를 기초로 하여 한번 수행되거나, 회전축의 시간 변이를 결정하기 위해 일정 시간 동안의 점들 중 각각의 점에 대해 결정될 수도 있다.

[0014] 또한, 궤적 정보는 레이더, 삼차원 화상 장비 또는 그와 유사한 것의 사용과 같은 적당한 방법에 의해서 얻을 수 있음이 분명하다. 당연히, 궤적은 일정 시간 동안의 한 개 또는 그 이상의 점들에서 공의 좌표로서 표시될 수 있다. 좌표 시스템은 어떠한 방법으로도 선택될 수 있다.

[0015] 바람직하게는, 단계 5는 단계 2에서 산정된 가속도에서 단계 3과 단계 4에서 산정된 가속도를 빼는 단계, 잔여 가속도를 결정하는 단계 및 잔여 가속도의 방향을 기초로 회전축을 산정하는 단계를 포함한다. 따라서, 회전축은 단순한 벡터 연산을 이용하여 결정될 수 있다.

[0016] 이러한 상황에서, 공의 회전은 공의 방향이 바뀌도록 작용하기 때문에, 공의 회전축은 잔여 가속도의 방향에 수직일 것이다.

[0017] 또한, 단계 4는 소정 위치에서 공의 속도를 궤적으로부터 산정하는 단계 및 상기 산정된 속도 또는 오히려 궤적의 두 점 사이의 속도 편차(deviation)를 기초로 가속도를 산정하는 단계를 포함할 수 있다.

[0018] 본 발명의 또 다른 태양은 비행중인 스포츠 공의 회전축 산정 시스템으로서,

[0019] 1. 비행중인 스포츠 공의 삼차원 궤적의 적어도 일부분을 결정하는 수단,

[0020] 2. 상기 궤적에 따른 소정 위치에서 스포츠 공의 가속도, 바람직하게는 전체 가속도를 궤적으로부터 산정하는 수단,

[0021] 3. 상기 소정 위치에서 중력에 의한 스포츠 공의 가속도를 산정하는 수단,

[0022] 4. 상기 소정 위치에서 공기 저항력/항력에 의한 스포츠 공의 가속도를 산정하는 수단, 및

[0023] 5. 상기 소정 위치에서 산정된 가속도를 기초로 하여 회전축을 산정하는 수단을 포함하는 것을 특징으로 하는 비행중인 스포츠 공의 회전축 산정 시스템에 관한 것이다.

[0024] 다시, 수단 2 내지 수단 4는 복수의 소정 위치들 중 각 위치에서 산정을 수행하는 데 적용될 수 있고, 수단 5는 바람직하게는 단계 2에서 산정된 가속도에서 단계 3 및 단계 4에서 산정된 가속도를 빼는 것, 잔여 가속도를 결정하는 것 및 예를 들어 축의 용이한 결정을 돕기 위해 잔여 가속도의 방향을 기초로 회전축을 산정하는 것에 적용될 수 있다. 가속도가 복수의 위치에서 산정된 경우, 회전축은 상기 모든 위치에 기초하여 한번 결정되거나 각 위치에서 결정될 수 있다(수단 5).

[0025] 또한, 수단 4는 소정 위치에서 공의 속도를 궤적으로부터 산정하고, 산정된 속도를 기초로 가속도를 산정하는 데 적용될 수 있다.

[0026] 본 발명의 세 번째 태양은 비행중인 회전하는 스포츠 공의 회전 속도 또는 회전 주파수 산정 방법으로서,

[0027] 1. 비행중 다수의 시점에, 회전하는 스포츠 공으로부터 반사된 전자파를 수신하는 단계 및 상응하는 신호를 제공하는 단계,

[0028] 2. 상기 신호의 주파수 분석을 수행하는 단계, 주파수에 있어서 적어도 실질적으로 등거리에 위치하고 시간에 대해 연속적인 한 개, 두 개 또는 그 이상의 불연속 스펙트럼의 자취(trace)를 식별하는 단계, 및

[0029] 3. 상기 불연속 스펙트럼의 자취 사이의 주파수 거리로부터 속도/주파수를 산정하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 비행중인 회전하는 스포츠 공의 회전 속도 또는 회전 주파수 산정 방법에 관한 것이다.

[0030] 이러한 관계에 있어서, 가시광선, 적외선, 초음파, 라디오파, 기타 등등과 같은 어떠한 타입의 전자파도 사용될 수 있다.

[0031] 또한, 어떠한 개수의 시점들이라도 사용될 수 있다. 의미 있는 검출이 가능한 한 또는 신호에서 스펙트럼 자취가 결정될 수 있는 한 방사선을 수신하는 것이 바람직할 수 있다. 통상적으로, 수신과 그 후의 신호 분석은 등거리 시점들에서 수행된다.

[0032] 스펙트럼 자취 사이의 간격이 정확하게 결정되는 것을 보장하기 위해, 바람직하게는 2개 이상의 등거리 스펙트럼 자취가 식별된다.

[0033] 당연히, 주파수 분석의 결과로서 신호의 스펙트럼을 얻을 수 있다. 그러나, 이는 단지 등거리 스펙트럼 자취만

이 필요하기 때문에 필요치 않다.

[0034] 이러한 관계에 있어서, 스펙트럼 자취는 적어도 실질적으로 일정 시간 동안은 연속적이나 시간에 따라 변할 수 있는 주파수 열이다. 이러한 관계에서, 자취는 통상적으로 천천히 감소하는 함수이나 어떠한 형상도 원칙적으로 수용가능하고 결정가능하다.

[0035] 바람직하게는, 단계 1은 수신기를 사용하여 반사된 전자파를 수신하는 단계를 포함하고, 단계 2는 주파수 분석에 이어서 수신기를 향하는 방향 또는 수신기로부터 멀어지는 방향의 공의 속도에 해당하는 제1 주파수를 식별하는 단계를 포함하고, 스펙트럼 자취의 식별은 제1 주파수 주위에 대칭적으로 위치된 스펙트럼 자취를 식별하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0036] 이러한 방법으로, 등거리 스펙트럼 라인이 정확하게 결정되었는지 보장하는데 도움을 줄 수 있는 다른 주파수가 결정된다. 또한, 상기 주파수 주위의 대칭성을 요구하는 것은 안정적인 결정을 보장하는 데 추가로 도움이 된다.

[0037] 바람직한 실시예에 있어서, 단계 2는 각 시점에 대해 그리고 일정 시간 동안 순차적으로, 소정 시점에 대하여 주파수 분석과 등거리 후보 주파수 식별을 수행하는 단계, 이어서 하나 이상의 이전 시점들의 후보 주파수로부터 최대한 소정의 양만큼 이탈된 주파수를 각각 가진 후보들을 식별하는 단계, 그 다음에 식별된 후보들의 자취를 주파수의 자취로서 식별하는 단계를 포함하며, 단계 3은 식별된 스펙트럼 자취를 기초로 속도/주파수를 산정하는 단계를 포함한다.

[0038] 이는 결정이 순차적으로, 이를테면 반사된 방사선의 수신과 병행하여 이루어질 수 있는 장점이 있다. 또한, 한 측정에서 유효한 등거리 스펙트럼 라인과 유사한 것이 다른 측정, 이를 테면 이웃하는 측정에서 아무런 대응되는 부분을 가지지 아니하여 그것이 후보자에서 제외될 수 있기 때문에, 잡음의 배제가 수행된다.

[0039] 이러한 관계에서, 후보자를 포함하는 소정의 양 또는 불확실성은, 예를 들면 결정된 전체 신호-대-잡음 비율에 따라서 고정된 양, 고정된 퍼센트 또는 측정일 수 있다.

[0040] 본 발명의 네 번째 태양은 비행중인 회전하는 스포츠 공의 회전 속도 또는 회전 주파수 산정 시스템으로서,

[0041] 1. 비행중 다수의 시점에, 회전하는 스포츠 공으로부터 반사된 전자파 수신 및 상응하는 신호를 제공하도록 구성된 수신기,

[0042] 2. 상기 신호의 주파수 분석을 수행하고, 주파수에 대해 적어도 실질적으로 등거리에 위치하고 시간에 대해 연속적인 한 개, 두 개 또는 그 이상의 불연속 스펙트럼의 자취를 식별하는 수단, 및

[0043] 3. 상기 불연속 스펙트럼의 자취 사이의 주파수 거리로부터 속도/주파수를 산정하는 수단을 포함하는 것을 특징으로 하는 비행중인 회전하는 스포츠 공의 회전 속도 또는 회전 주파수 산정 시스템에 관한 것이다.

[0044] 당연히, 제3 태양에 관한 내용이 다시 관련된다.

[0045] 따라서, 수단 2는 주파수 분석에 이어서 수신기를 향하는 방향 또는 수신기로부터 멀어지는 방향의 공의 속도에 해당하는 제1 주파수를 식별하고, 제1 주파수 주위에 대칭적으로 위치된 스펙트럼 자취를 스펙트럼 자취로서 식별하는 데 적용될 수 있다.

[0046] 속도/주파수를 결정하는 바람직한 방법에 따르면, 수단 2는 각 시점에 대해 그리고 일정 시간 동안 순차적으로, 소정 시점에 대하여 주파수 분석 및 등거리 후보 주파수들의 식별을 수행하는 것, 이어서 일정 시간 동안의 한 개 또는 그 이상의 이전 점들의 후보의 주파수로부터 최대한 소정의 양만큼 이탈된 주파수를 가진 후보들을 식별하는 것, 그 다음에 식별된 후보들의 자취를 주파수 자취로서 식별하는 것에 적용되는 것을 특징으로 하고, 수단 3은 상기 식별된 스펙트럼 자취를 기초로 속도/주파수를 산정하는 데 적용되는 것을 특징으로 한다.

[0047] 제5 태양은, 본 발명의 제1 태양에서와 같이 회전축을 산정하는 단계 및 본 발명의 제3 태양에 따라서 회전 주파수를 산정하는 단계를 포함한 비행중인 스포츠 공의 회전축과 회전 주파수를 포함하는 회전을 산정하는 방법에 관한 것이다.

[0048] 본 발명의 제6 태양 및 본 발명의 마지막 태양은, 본 발명의 제2 태양에 따른 회전축 결정 시스템 및 제4 태양에 따른 회전 주파수 결정 시스템을 포함한, 비행중인 스포츠 공의 회전축과 회전 주파수를 포함한 회전의 산정 시스템에 관한 것이다.

[0049] 이하, 본 발명의 바람직한 실시예가 아래의 도면을 참조로 하여 설명될 것이다.

실 시 예

[0060] 스포츠 공의 회전 주파수를 측정하기 위해 도플러 레이더를 사용하는 것은 여러 해 전부터 공지되었다. 미국 특허 6,244,971호 및 미국 특허 출원 공개 공보 2002/0107078호 참조. 그러나, 상기 모든 발명들은 전형적으로 공의 커버의 아래 또는 표면에 전도 물질을 부가함으로써 공의 일부 영역의 반사를 변경시키는 것에 기초하고 있다. 본 실시예도 또한 도플러 레이더를 사용하지만, 회전 주파수를 알아내기 위해 어떠한 공의 개조도 필요로 하지 않는다. 이러한 측면은 본 발명의 상업적 가치를 매우 증가시킨다.

[0061] 과거에는, 회전하는 공의 회전축 방향을 발사 장소에서 근접한 곳에 배치된 카메라를 사용하여 측정하였다. 상기 시스템은 발사 직후 공간의 한 점에서의 회전축 방향만을 제공한다. 본 발명은 비행중 회전축 방향을 측정하기 위해 삼차원 궤적 측정 장비를 사용한다.

[0062] 본 발명은 공의 전체 비행중 회전 주파수와 회전축 방향의 연속적인 측정을 가능하게 한다.

[0063] **회전 주파수**

[0064] 도 1의 도플러 레이더(3) 참조. 도플러 레이더는 송신기(4)와 수신기(5)를 포함한다. 주파수 Ftx를 가진 송신파(6)가 공(1)에서 반사되고, 공(1)으로부터의 반사파(7)는 다른 주파수 Frx를 가진다. 반사 주파수와 송신 주파수 차이를 도플러 변위(Doppler shift) F_{dopp}라 부른다. F_{dopp}는 공(1)의 반사점 A의 레이더(3)에 대한 상대 속도 Vrad에 비례한다.

[0065] $$F_{dopp,A} = 2/\lambda * Vrad \quad [1]$$

[0066] 여기서, λ는 송신 주파수의 파장이다.

[0067] 좌표 시스템(2)은 공의 중심에 원점을 가지고 X축은 항상 레이더로부터 멀어지는 방향을 향하고 Z축은 수평면에 있도록 정의된다.

[0068] Vrad는 시간에 대한 도플러 레이더로부터의 거리의 변화이다(Vrad=dR/dt). 도 1의 좌표 시스템(2)에서, Vrad는 공(1) 속도의 X성분과 동일하다.

[0069] 공으로부터의 가장 강한 반사는 항상 레이더로부터의 조준선(line-of-sight)에 수직한 점 A에서이다. 공(1)이 회전하는 경우, 가장 강한 반사를 가진 점 A는 그 공에서의 물리적 위치가 시간에 따라 사실상 달라진다.

[0070] 공의 점 A의 반사에 의한 도플러 수신기(5)의 출력 신호는 아래와 같을 수 있다.

[0071] $$X_A(t) = a(t) * \exp(-j*F_{dopp,A}*t) \quad [2]$$

[0072] 여기서, a(t)는 수신된 신호의 크기이다.

[0073] 이제 Z축 주위를 각속도 ω로 회전하는 공(1)의 상황을 고려하자.

[0074] 반경 r을 가진 공(1)의 고정점 B로부터의 반사는 레이더(3)에 대해 아래와 같은 도플러 변위를 가진다.

[0075] $$F_{dopp,B} = 2/\lambda * (Vrad - r*\omega*\sin(\omega*t)) \quad [3]$$

[0076] 공의 점 B의 반사에 의한 수신기(5)의 출력 신호는 아래와 같다.

[0077] $$X_B(t) = a(t) * d(t) * \exp(-j*F_{dopp,B}*t) \quad [4]$$

[0078] 여기서, d(t)는 공(1)의 점 A에 대한 점 B의 반사 신호의 상대 크기이다.

[0079] 식 [4]에서 식 [2]와 식 [3]을 치환하면, 아래의 식을 얻는다.

[0080] $$X_B(t) = X_A(t) * d(t) * \exp(j*2/\lambda*r*\omega*\sin(\omega*t)*t) \quad [5]$$

[0081] 점 B로부터의 출력 신호는 신호 $X_{modB}(t)$에 의해 변조된 점 A로부터의 신호로 구성된 것을 알 수 있다.

[0082] $$X_{modB}(t) = d(t) * \exp(j*2/\lambda*r*\omega*\sin(\omega*t)*t) \quad [6]$$

[0083] 변조 신호의 지수항은 변조 주파수 $\omega/2\pi$와 주파수 편이(deviation) $2/\lambda*r*\omega$를 가진 주파수 변조(FM) 신호로서 인식된다.

[0084] 변조 이론으로부터, 사인 주파수 변조 스펙트럼은 변조 주파수 $\omega/2\pi$와 그 고조파(harmonics)에서 불연속 주파수 라인을 가진 스펙트럼을 제공하며, 그 m번째 고조파의 스펙트럼 라인의 지수는 $Jm(4\pi*r/\lambda)$이고, 여기서 Jm()은 제1종 m차 베셀 함수(Bessel function)이다.

[0085] 식 [6]의 변조 신호의 크기 신호 d(t)는 시간에 따른 변화를 또한 가진다. d(t)는 또한, 식 [6]의 지수항과 유사하게, 주기 $T=2\pi/\omega$를 가진 주기함수이다. 결과적으로, d(t)로부터의 스펙트럼은 동일 간격 $\omega/2\pi$으로 배치된 불연속 스펙트럼 라인을 또한 가진다. d(t)의 개별 고조파의 상대 강도는 다른 방위각(aspect angle)에 대한 반사 특성에 따라 달라진다.

[0086] 요약하면, 레이더에서 가장 가까운 경우(점 A)보다 회전하는 공의 물리적 점 B로부터의 반사 때문에, 수신된 신호는 공의 속도에 의해 야기된 도플러 변위 $F_{dopp,A}$ 주위에서 대칭인 동일 간격의 측파대(sideband)를 가진다. 상기 측파대는 복수의 고조파(harmonic)를 가지며 정확하게 공의 회전 주파수 $\omega/2\pi$만큼의 간격을 가진다. 단지 공이 완전하게 구형인 경우에만 변조 측파대가 존재하지 않는다.

[0087] 일반적인 스포츠 공에서, 완전하게 구형이 아닌 공의 영역이 다수 존재한다. 그러한 점들 각각은 회전 주파수만큼의 간격을 가진 불연속 측파대를 제공한다. 공에 산재된 모든 점들에 대한 전체 스펙트럼은 결과적으로 당연히 회전 주파수만큼의 간격을 가진 불연속 측파대를 또한 가지는 수신 신호가 될 것이다.

[0088] 상술한 바에 있어서, 회전축은 시간에 대해 일정하고 Z축과 평행한 것으로 가정한다. 만일 회전축이 Y축 주위로 α만큼 회전하고 그 다음 X축 주위로 β만큼 회전하였다면, 점 B의 속도의 x 성분은 아래와 같다는 것을 쉽게 알 수 있다.

[0089] $$V_{x,B} = \cos\alpha*r*\omega*\sin(\omega*t) \qquad [7]$$

[0090] $V_{x,B}$는 X축 주위로의 회전 β와는 무관하다는 점을 주의해야 한다. $V_{x,B}$는 또한 주기 $T=2\pi/\omega$를 가진 주기함수이기 때문에, 특수하게 X축을 따르는 회전축의 경우를 제외하고는($\alpha=90$도), 회전된 회전축을 가진 상응하는 점 B로부터의 도플러 변위는, 정확하게 공의 회전 주파수 $\omega/2\pi$만큼의 간격을 가진 불연속 측파대를 또한 가질 것이다. 회전축 방향이 회전 주파수에 비해서 천천히 변화하는 한, 이는 수신된 신호의 스펙트럼이 공의 회전 주파수 $\omega/2\pi$만큼의 간격을 가진 불연속 주파수 측파대를 포함함을 의미한다.

[0091] 도 2에는, 수신된 비행중인 골프공의 신호 스펙트럼이 도시되었다. 도 2에서, 스펙트럼이 공의 속도에 상응하는 강한 주파수 라인뿐만 아니라 회전 주파수만큼의 동일 간격을 가진 상기 속도 주위의 대칭 측파대도 포함하고 있음이 분명하게 도시되었다.

[0092] 우선 공의 속도는 표준 추적 방법을 사용하여 추적된다(단계 8). 그 다음, 상기 공 속도 주위의 대칭 주파수 피크가 검출된다(단계 9). 도 3에는, 대칭 측파대의 주파수 옵셋이 공 속도에 대해 도시되었다. 회전 측파대의 다른 고조파가 표준 추적 방법을 사용하여 시간에 대해 추적된다(단계 10). 다른 고조파 트랙(track)들이 주파수에 있어서 동일 간격으로 배치되는 것을 요구하면서 다른 트랙들이 자격을 부여받는다(단계 11). 다른 트랙들은 그들의 해당 고조파 번호에 대해 해석될 수 있다(단계 12). 그 이후, 회전 주파수는, 만일 주파수가 각 고조파 번호에 의해 나누어지면, 자격을 부여받은 고조파 트랙들 중 어느 트랙으로부터도 결정될 수 있다(단계 13).

[0093] 시간에 대한 최종 회전 주파수가, 모든 고조파 트랙을 포함한 도 5에 도시되었다.

[0094] 회전 주파수 측정을 위한 단계별 절차가 도 7에 설명되었다.

[0095] **회전축 방향**

[0096] 비행하는 공의 삼차원 궤적은 적절한 장치에 의해 얻을 수 있다. 본 발명의 바람직한 실시예에 있어서, 회전 주파수 측정용으로 사용된 레이더가 비행하는 공의 삼차원 궤적을 제공하는 데 또한 사용된다. 도 4 참조.

[0097] 공이 고도로 구형 회전 대칭이라고 가정하면, 공에는 세 가지 힘, 단지 세 가지 힘만이 작용한다. 도 8을 참조하면, 가속도는 아래와 같다:

[0098] 중력 가속도, G

[0099] 공기 저항력/항력 가속도, D

[0100] 및 양력 가속도, L

[0101] 비행하는 공에 작용하는 전체 가속도는 결과적으로 아래와 같다.

[0102] $\underline{A} = \underline{G} + \underline{D} + \underline{L}$ [8]

[0103] 회전 대칭 요건을 만족하는 공의 예는 골프공, 테니스공, 야구공, 크리킷 공, 축구공, 기타 등등이다.

[0104] 항력은 공기속도 벡터 $\underline{Vair}$에 대해 항상 180도이다. 양력 가속도 $\underline{L}$은 공의 회전에 의해 발생하며, 항상 $\underline{\omega} \times \underline{Vair}$(×는 벡터 외적을 의미함)에 의해 주어지는 방향, 즉 회전 벡터 $\underline{\omega}$에 대해 90도이고 공기속도 벡터 $\underline{Vair}$에 대해 90도인 방향이다. 회전 벡터 $\underline{\omega}$는 단위 회전 벡터 $\underline{\omega e}$로 식별되는 회전축 방향을 표시하며, 회전 벡터 $\underline{\omega}$의 크기는 도 7에 설명된 알고리즘을 통해 알 수 있는 회전 주파수 ω이다.

[0105] 공기속도 벡터는 아래에 의한 궤적 속도 벡터 V에 관련된다.

[0106] $\underline{Vair} = \underline{V} - \underline{W}$ [9]

[0107] 회전 벡터 $\underline{\omega}$의 방향을 계산하기 위한 절차가 도 9에 설명되었다.

[0108] 측정된 삼차원 궤적으로부터, 궤적 속도 $\underline{V}$와 가속도 $\underline{A}$가 미분에 의해 계산된다(단계 14).

[0109] 공기 속도는 풍속 벡터 $\underline{W}$에 대한 선험적 지식을 이용하여 식 [9]에 의해 계산된다(단계 15).

[0110] 중력 가속도 $\underline{G}$는 위도와 고도에 대한 선험적 지식으로부터 계산된다(단계 16).

[0111] 항력 가속도 및 양력 가속도가 서로 수직이기 때문에, 항력 가속도 $\underline{D}$의 크기와 방향이 식 [10]을 사용하여 계산될 수 있다(단계 17).

[0112] $\underline{D} = [(\underline{A}-\underline{G}) \cdot \underline{Vair} \;/\; |\underline{Vair}|^2] * \underline{Vair}$ [10]

[0113] 여기서, ·는 벡터 내적을 의미한다.

[0114] 이하, 양력 가속도 $\underline{L}$의 크기와 방향을 식 [11]에서 쉽게 구할 수 있다(단계 18).

[0115] $\underline{L} = \underline{A} - \underline{G} - \underline{D}$ [11]

[0116] 앞에서 언급한 바와 같이, 양력 벡터 $\underline{L}$은 회전 벡터 $\underline{\omega}$에 수직이라는 정의에 의해 아래를 만족한다.

[0117] $\underline{L} \cdot \underline{\omega e} = 0$ [12]

[0118] 단위 회전 벡터 $\underline{\omega e}$는 일반적으로 회전 효과 때문에 회전 대칭 물체에 있어서 시간에 대해 일정한 것으로 가정한다. 만일 단위 회전 벡터 $\underline{\omega e}$가 시간 구간 [t1;tn]에 대해 일정한 것으로 가정할 수 있다면, 식 [12]는 아래와 같은 한 세트의 선형 방정식을 세울 수 있다.

[0119] $Lx(t1)*\omega ex + Ly(t1)*\omega ey + Lz(t1)*\omega ez = 0$

[0120] $Lx(t2)*\omega ex + Ly(t2)*\omega ey + Lz(t2)*\omega ez = 0$

[0121] ...

[0122] $Lx(tn)*\omega ex + Ly(tn)*\omega ey + Lz(tn)*\omega ez = 0$ [13]

[0123] 여기서, $\underline{L}(t)=[Lx(t), Ly(t), Lz(t)]$ 이고, $\underline{\omega e}=[\omega ex, \omega ey, \omega ez]$ 이다.

[0124] 식 [13]의 선형 방정식을 많은 표준 수학적 방법에 의해 $[\omega ex, \omega ey, \omega ez]$에 대해 풀 수 있다. 그 결과 시간 구간 [t1,tn]에서 회전축의 삼차원 방향이 결정될 수 있다. 단지 양력 벡터 $\underline{L}$의 방향 변화와 비교하여 회전축이 준상수(quasi constant)라는 것만을 가정하였다.

[0125] 도 7에 설명된 알고리즘으로부터 구한 회전 주파수 ω를 식 [13]으로부터 구한 단위 회전 벡터 $\underline{\omega e}$와 조합함으로써, 회전 벡터 $\underline{\omega}$를 식 [14]를 사용하여 구할 수 있다(단계 20).

[0126] $\underline{\omega} = \omega * \underline{\omega e}$ [14]

[0127] **부분적으로 알려진 회전축 방향**

[0128] 다수의 경우에 있어서, 회전축이 일정 시간 동안의 특정 점에서 주지 평면에 놓인다는 것을 선험적으로 알 수 있다. 상기 평면을 단위 수직 벡터 $\underline{n}$에 의해 기술하면, 그 의미는 아래와 같다.

[0129] $\underline{n} \cdot \underline{\omega} = 0$ [15]

[0130] 상기 경우의 예는 공의 발사 직후의 회전축 방향이다. 공이 골프 클럽으로 때린 골프공 또는 발로 찬 축구공 같이 충돌에 의해 운동을 시작한 경우, 회전 벡터 $\underline{\omega}$는 발사 직후 매우 높은 정도까지 초기 공 속도 벡터 $\underline{V}$에 수직일 것이다. 식 [15]의 단위 수직 벡터 $\underline{n}$은 이 경우 식 [16]에 의해 주어진다.

[0131] $\underline{n} = \underline{V} / |\underline{V}|$ [16]

[0132] 회전 벡터가 단위 수직 벡터 $\underline{n}$에 의해 기술되는 주지 평면에 놓인 시간 t0의 점에서 회전 벡터 $\underline{\omega}$의 방향을 계산하는 절차가 도 10에 설명된다.

[0133] 우선, 시간 t0에서 양력 가속도를 구하기 위해 도 9에 설명된 것과 정확하게 동일한 단계 14 내지 단계 18을 수행한다.

[0134] 이제, 기초 좌표 시스템의 단위 수직 벡터 $\underline{n}$에 대한 좌표를 x축 단일 벡터 [1,0,0]로 변환하는 회전 행렬 **R**을 결정한다(단계 21). 식 [17] 참조. 상기 회전 행렬 **R**은 $\underline{n}$으로부터 표준 대수학적 방법에 의해 구할 수 있다.

[0135] $[1,0,0] = \mathbf{R} * \underline{n}$ [17]

[0136] 식 [11]로부터의 양력 가속도 $\underline{L}$에 대한 좌표는 이제 $\underline{Lm}$ 벡터에 의해 표시된 **R**을 통하여 회전한다(단계 22). 식 [18] 참조.

[0137] $\underline{Lm} = [Lxm, Lym, Lzm] = \mathbf{R} * \underline{L}$ [18]

[0138] 단위 회전 벡터 $\underline{\omega e}$에 대한 유사한 좌표 변환은, 식 [19] 참조.

[0139] $\underline{\omega em} = [\omega exm, \omega eym, \omega ezm] = \mathbf{R} * \underline{\omega e}$ [19]

[0140] 식 [15]로부터 ωexm이 0임을 알 수 있기 때문에, 식 [13]은 식 [20]으로 단순화된다.

[0141] $Lym*\omega eym + Lzm*\omega ezm = 0$ [20]

[0142] $\underline{\omega em}$의 길이가 1임을 이용하여, 단위 회전 벡터 $\underline{\omega e}$를 식 [21] 또는 식 [22]로부터 구할 수 있다(단계 23).

[0143] $\underline{\omega e} = \mathbf{R}^{-1} * [0, -Lzm/Lym, 1] / |[0, -Lzm/Lym, 1]|, Lym \neq 0$ [21]

[0144] $\underline{\omega e} = \mathbf{R}^{-1} * [0, 1, -Lym/Lzm] / |[0, 1, -Lym/Lzm]|, Lzm \neq 0$ [22]

[0145] 도 7에 설명된 알고리즘으로부터 구한 회전 주파수 ω를 식 [21] 및 식 [22]로부터 구할 수 있는 단위 회전 벡터 $\underline{\omega e}$와 조합함으로써, 회전 벡터 $\underline{\omega}$를 식 [14]를 사용하여 구할 수 있다(단계 20).

도면의 간단한 설명

[0050] 도 1은 회전하는 공과 도플러 레이더의 개략도이다.

[0051] 도 2는 등거리 스펙트럼 라인을 구비한 스펙트럼을 도시한 것이다.

[0052] 도 3은 등거리 스펙트럼 라인의 결정을 도시한 것이다.

[0053] 도 4는 측정된 골프공의 삼차원 궤적을 도시한 것이다.

[0054] 도 5는 시간에 대한 최종적인 회전 주파수 차트를 도시한 것이다.

[0055] 도 6은 도 4의 궤적에 관련된 회전 벡터를 도시한 것이다.

[0056] 도 7은 회전 주파수 검출에 대한 플로우 차트이다.

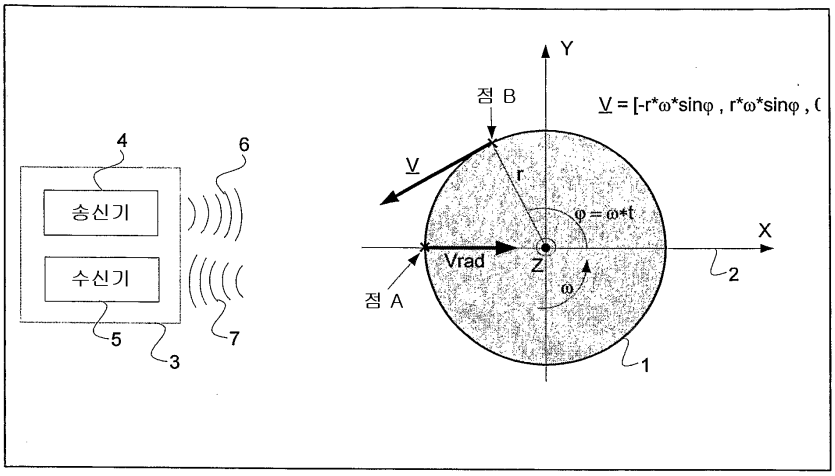
[0057] 도 8은 회전 벡터 방향의 결정을 도시한 것이다.

[0058] 도 9는 회전 벡터 방향 결정에 대한 플로우 차트이다.

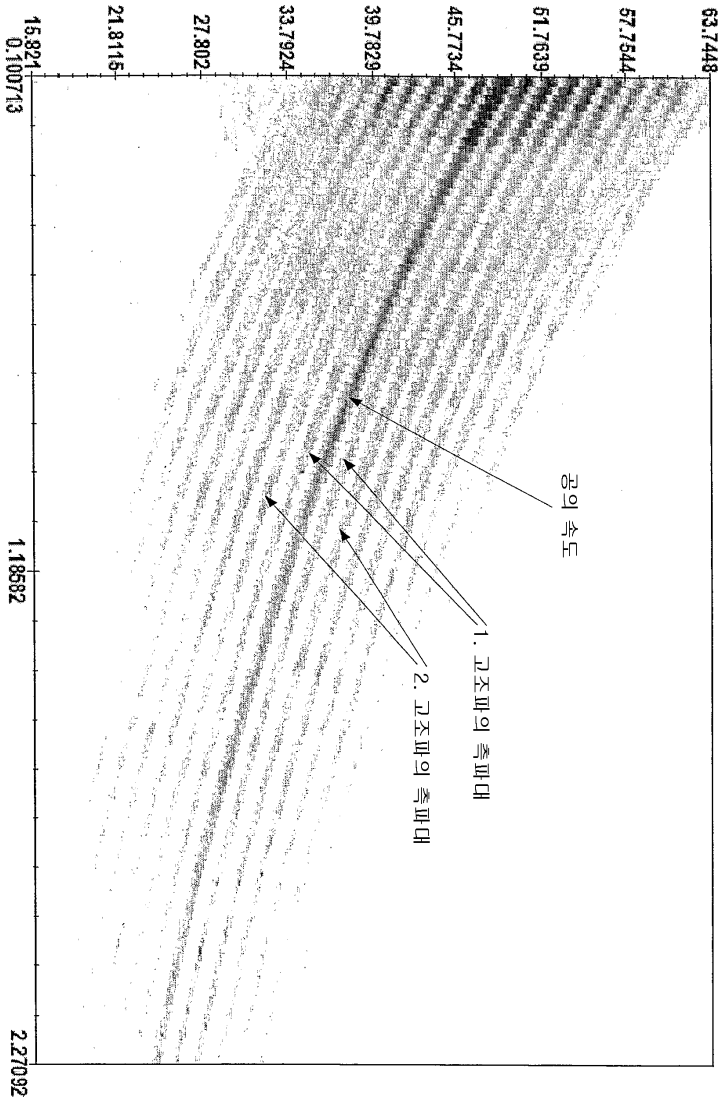
[0059] 도 10은 회전축이 알고 있는 평면에 놓여 있다고 가정할 수 있을 경우, 회전 벡터 방향의 결정에 대한 플로우 차트이다.

도면

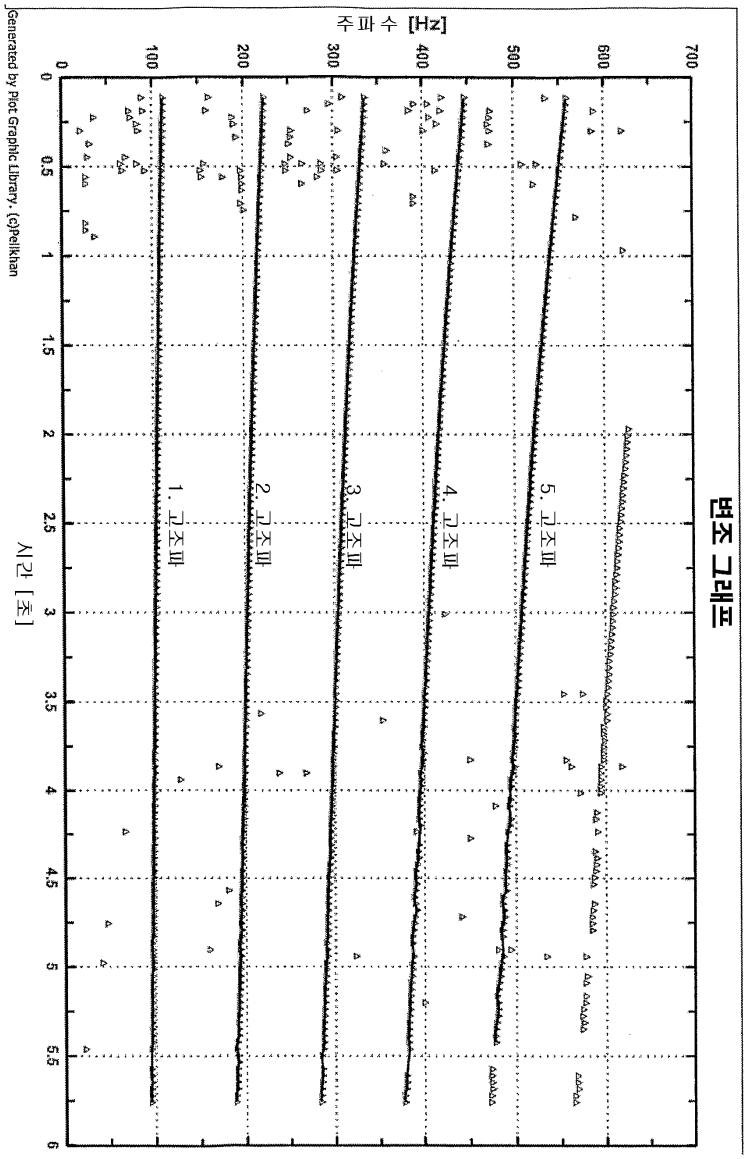
도면1



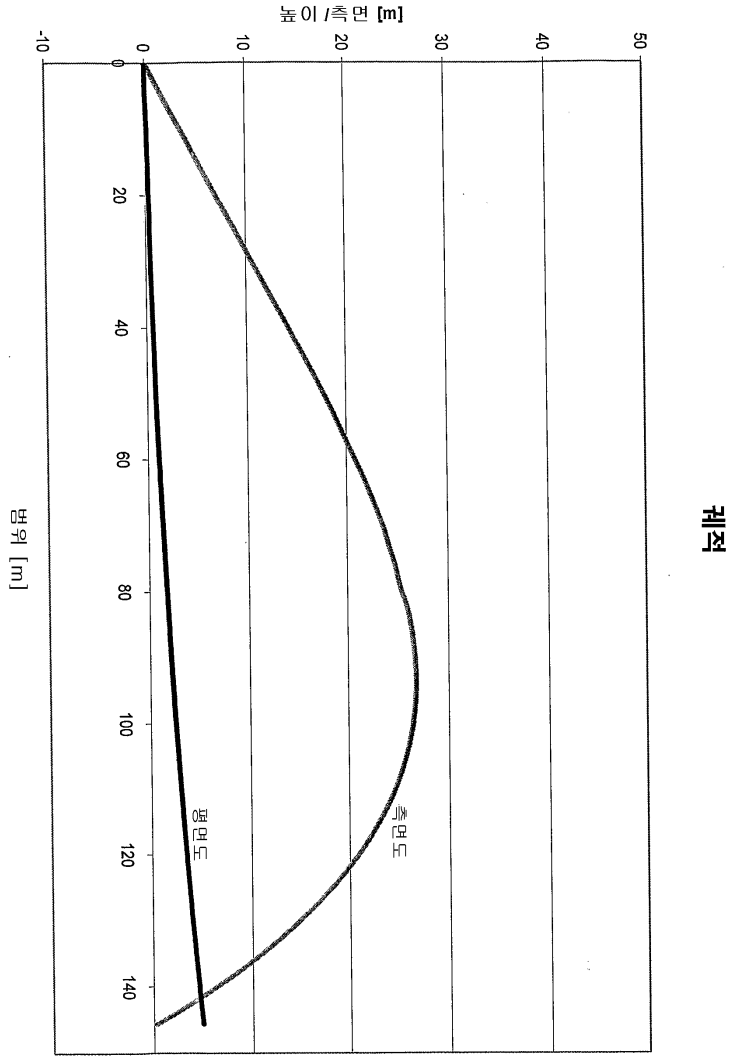
도면2


63.7448
57.7544
51.7639
45.7734
39.7829
33.7924
27.802
21.8115
15.821
0.100713
1.18582
2.27092
공의 속도
1. 고조파의 측파대
2. 고조파의 측파대

도면3

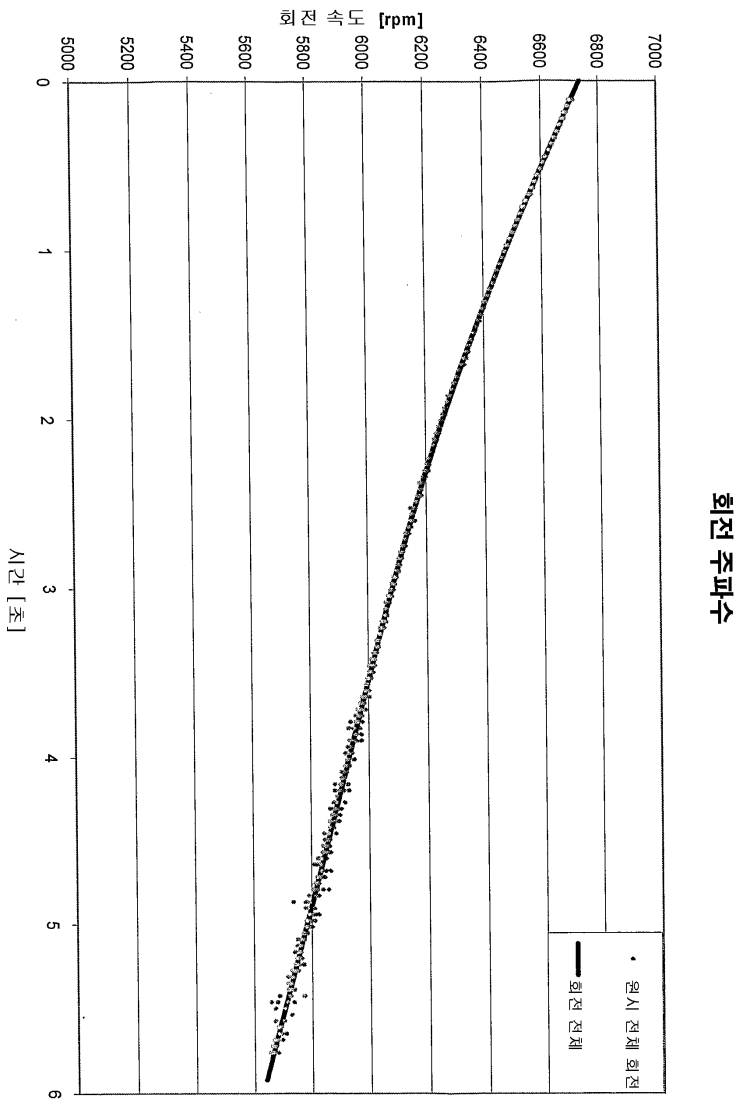

변조 그래프
주파수 [Hz]
시간 [초]
1. 고조파
2. 고조파
3. 고조파
4. 고조파
5. 고조파
Generated by Plot Graphic Library, (c)Pelliktan

도면4

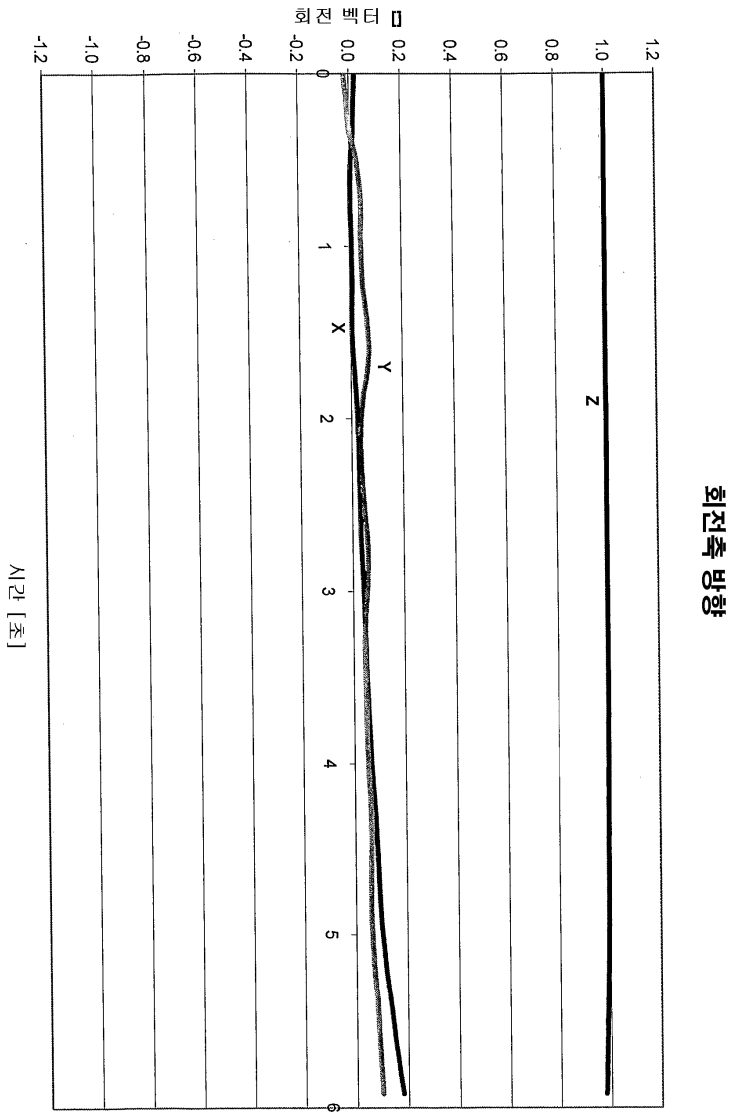


궤적

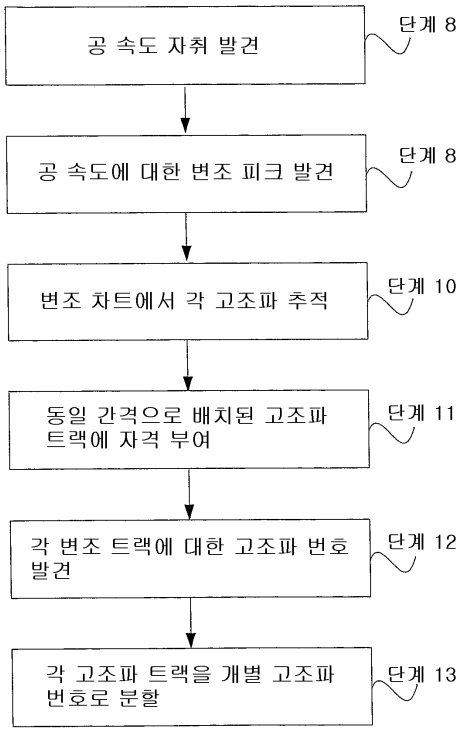
도면5


회전 주파수
회전 속도 [rpm]
시간 [초]
순시 전체 회전
회전 전체
5000
5200
5400
5600
5800
6000
6200
6400
6600
6800
7000
0
1
2
3
4
5
6

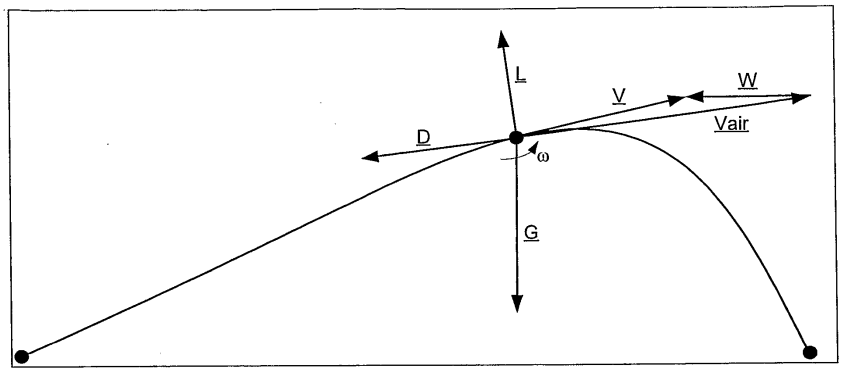
도면6



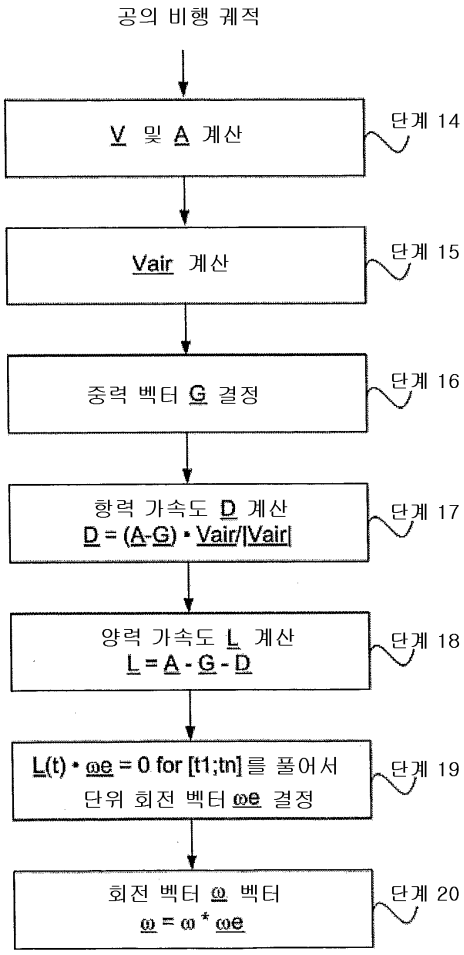
도면7


공 속도 자취 발견
단계 8
공 속도에 대한 변조 피크 발견
단계 8
변조 차트에서 각 고조파 추적
단계 10
동일 간격으로 배치된 고조파 트랙에 자격 부여
단계 11
각 변조 트랙에 대한 고조파 번호 발견
단계 12
각 고조파 트랙을 개별 고조파 번호로 분할
단계 13

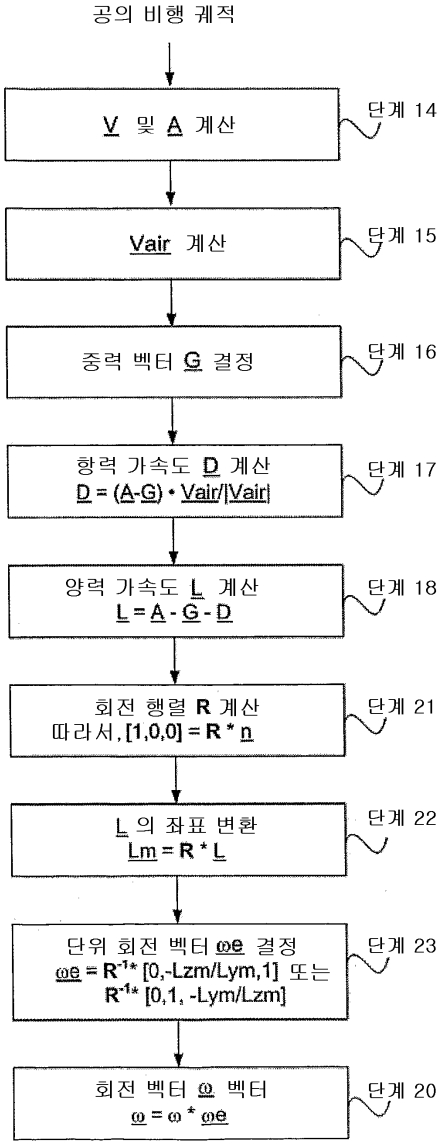
도면8


L
V
W
Vair
D
ω
G

도면9


공의 비행 궤적
V 및 A 계산
단계 14
Vair 계산
단계 15
중력 벡터 G 결정
단계 16
항력 가속도 D 계산
D = (A-G) • Vair/|Vair|
단계 17
양력 가속도 L 계산
L = A - G - D
단계 18
L(t) • ωe = 0 for [t1;tn]를 풀어서
단위 회전 벡터 ωe 결정
단계 19
회전 벡터 ω 벡터
ω = ω * ωe
단계 20

도면10


공의 비행 궤적
V 및 A 계산
단계 14
Vair 계산
단계 15
중력 벡터 G 결정
단계 16
항력 가속도 D 계산
D = (A-G) • Vair/|Vair|
단계 17
양력 가속도 L 계산
L = A - G - D
단계 18
회전 행렬 R 계산
따라서, [1,0,0] = R * n
단계 21
L 의 좌표 변환
Lm = R * L
단계 22
단위 회전 벡터 ωe 결정
ωe = R-1* [0,-Lzm/Lym,1] 또는
R-1* [0,1, -Lym/Lzm]
단계 23
회전 벡터 ω 벡터
ω = ω * ωe
단계 20