

정밀 농작업 지원을 위한 복합 항법시스템 개발

Development of Integrated Navigation System for Supporting Precision Farming

김상철* 박우풍* 정인규* 성제훈 이충근* 이운용**
정희원 정희원 정희원 정희원 정희원 정희원

S.C. Kim W.P. Park I.G.Jung J.H.Sung C.K.Lee W.Y. Lee

1. 서론

단순한 반복작업에서 부터 복잡한 의사결정과정과 경험적 지식을 필요로 하는 고도화된 산업분야에 이르기까지, 오늘날 정보화의 물결이 닿지 않는 곳이 거의 찾기 어렵다. 트랙터와 같은 자주형 농기계의 자율주행 기술은 농업분야에서 이루어지고 있는 산업 정보화의 또 다른 일면이며 생산성과 포장작업 능률을 혁신적으로 향상시킬 수 있는 미래의 기술로 평가되고 있다.

자율주행 차량은 밤낮없이 작업이 가능하고, 날씨의 영향을 받지 않으며, 측위신호를 기반으로 주행하기 때문에 위치정보와 결합된 데이터로 부터 가변적인 농작업과 변량제어가 가능하다. 또한 작업부담 면적을 보면, 소형의 자율주행 차량으로 대형의 현재 농작업 기계를 대체할 수 있으므로 토양 압밀을 예방하고, 위험하거나 농약살포와 같이 사람이 직접하기엔 해로운 농작업을 대신 수행하는등 많은 잇점을 가지고 있다. 이러한 목적을 위해 GPS를 항법장치로 사용할 경우 오차의 누적 없이 차량의 위치를 일정한 오차범위 내에서 직접 얻을 수 있을 뿐 아니라 주행시간이나 거리가 증가해도 일정한 항법성능을 유지하는 등 매우 많은 이점을 가진다. 그럼에도 불구하고 GPS의 측위신호 오차는 장애물에 매우 민감하게 반응하며 더우기 수 cm의 오차를 갖는 항법용 GPS는 USD10,000\$이상으로 가격이 매우 비싸기 때문에 자율주행 시스템을 실용화 하는데 큰 제약이 되고 있다. 더우기 과수나 작물사이에서 작업해야하는 정밀농업의 경우 정밀한 측위신호와 차량의 자세에 관한 정보를 필요로 하며, 낮은 가격과 안정성을 충족해야 한다. 본 연구에서는 이러한 목적에 적합한 항법장치의 개발을 위해 농업에 실용적으로 사용될 수 있는 복수개의 저가형 GPS 결합하여 차량의 자세를 추정하고, 측위정밀도의 향상을 이루고자 한다.

* 농업기계화연구소(National Agricultural Mechanization Research Institute, RDA)

**한국농업전문학교(Korea National Agricultural College)

2. 연구사

2차 세계대전중에 등장한 전파항법장치는 지상에 위치한 송신소에서 발사되는 전파를 수신하여 항체의 위치를 측정하는 시스템으로서 운항중인 항체에는 전파 수신 장치만 설치하면 된다는 장점으로 인하여 복잡하고 가격이 높은 관성항법장치를 사용하기 어려운 선박, 항공기 등에서 최근까지도 유용하게 사용되고 있다. 미국 해군에서는 Transit이라는 6개의 위성을 이용한 위성항법시스템을 1950년대 후반에 구상하기 시작하여 1968년부터 사용하기 시작하였다. Transit의 단점을 보완하고자 하는 노력은 이후에 미국 해군과 공군에 의해 계속되어 1970년대에 GPS프로그램이 시작되게 되었다. 그동안 여러 차례의 계획 수정과 실험을 통하여 현재는 24개의 위성으로 구성된 완전한 시스템이 구축되어 운영되고 있다. 미국의 이와 같은 프로그램에 대항하여 러시아에서도 이와 유사한 시스템인 GLONASS(GLOBAL Navigation Satellite System)을 구축하고 있다.

3. 재료 및 방법

3.1. 시험장치 구성

GPS수신장치는 BAE SYSTEMS에서 생산한 저가형 OEM 모듈인 ALLSTAR GPS 수신카드 4개에 전원공급장치와 시리얼 통신 인터페이스, 수신기 프로그래밍 및 컨트롤을 위한 스위치를 부가한 통합 보드(그림 3-1)를 제작하여 부착하였다.

수신기 실장을 위한 케이스는 노이즈로부터의 보호를 위해 알루미늄으로 제작(그림 3-2)하고, 트랙터의 진동과 off-road로 부터의 충격을 흡수할 수 있도록 케이스의 내부에(그림 3-2)는 30mm 두께의 공업용 스폰지를 사용하여 수신기 보드와 절연하였다. 각 수신기는 38400bps의 통신속도와 RS232C 프로토콜을 사용하여 마스터 프로세서로 UTC 시간과 경위도 좌표, 속도 및 방위, 위성 데이터 등을 binary format으로 전송하도록 하였다. 4개의 안테나는 서로 직각을 이루며 중심으로부터 각각 동일한 거리를 유지하고 있다. 시험에 사용된 ALLSTAR OEM GPS 수신카드는 반제품 상태로 사용자가 신호처리를 위한 프로그램을 다운로드할 수 있는 EEPROM 메모리가 탑재되어 있다.



Fig.3-1. Interfacing board for integrating 4 GPS receiver

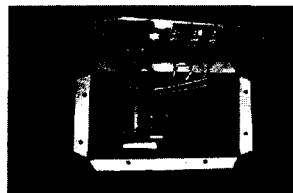


Fig.3-2. Insulation of casing inside for protecting board

3.2. 신호융합 알고리즘

신호융합 알고리즘은 크게 두 단계로 나누어 설명할 수 있다. 첫 번째 단계는 안테

나 상호간의 기하학적 관계를 만족하는 범위로 위치오차를 줄이는 과정이고 두 번째 단계는 칼만 필터를 이용하여 오차의 공분산을 최소화 하는 과정이다.

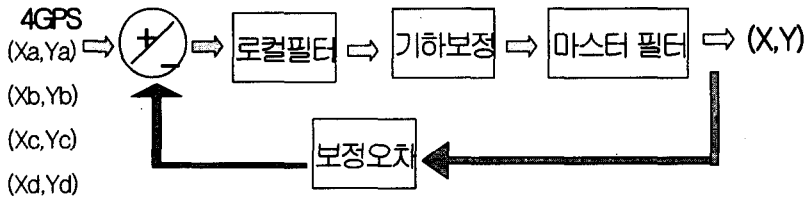


Fig .3-3. Block diagram for integration of positioning data

3.2.1 기하학적 관계를 이용한 측위오차의 보정

안테나는 기하학적으로 네변의 길이가 같은 정사각형의 꼭지점에 위치하고 있으며 고정된 대각선의 길이로부터 안테나와 안테나 사이의 거리를 계산할 수 있다. 따라서 안테나의 위치를 나타내는 실시간 GPS 좌표를 연결하여 만들어진 기하학적 도형의 모양은 좌표가 갖는 오차 때문에 매우 불규칙한 모습을 나타낼 것이다. 이러한 좌표를 기하학적 구속조건에 따라 정렬하면 오차의 크기는 줄어들고 오차의 방향도 본래의 참값에 가까워 진다고 가정하였다. 이러한 가정의 타당성을 검증하기 위해 아래와 같은 알고리즘을 사용하였다. 우선 초기화 기간동안 4개 GPS 수신기 좌표 평균으로부터 수신기가 이루는 기하학적 도형의 평균좌표를 구하고 이 평균좌표를 중점좌표로 가정하여 중점좌표로부터 각 수신기의 오차를 연산한 다음 새로운 좌표가 입력되면 이 오차 값만큼 보정하여 주는 순환적 연산과정을 반복하고 기하보정된 좌표값은 칼만필터 알고리즘으로 전달된다. 4개 GPS의 중점좌표는 단순히 측정된 4개 좌표의 산술 평균으로 식(3-1)과 같이 나타 낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 x_m(k) &= \frac{zx_a(k) + zx_b(k) + zx_c(k) + zx_d(k)}{4} \\
 y_m(k) &= \frac{zy_a(k) + zy_b(k) + zy_c(k) + zy_d(k)}{4}
 \end{aligned}
 \tag{3-1}$$

여기서

$x_m(k)$: 4개 안테나의 x축 중점좌표

$y_m(k)$: 4개 안테나의 y축 중점좌표

$zx_a(k), zx_b(k), zx_c(k), zx_d(k)$: 4개 안테나의 각각의 x축 중점좌표

$zy_a(k), zy_b(k), zy_c(k), zy_d(k)$: 4개 안테나의 각각의 y축 중점좌표

3.2.2. 칼만필터를 이용한 GPS와 자이로 신호의 결합

칼만 필터는 동적 특성을 갖는 시스템의 정보를 통합하는 데 유용한 것으로 알려져 있으며, 특히 다중 센서를 이용한 항법 시스템 등에 널리 쓰이고 있다. 칼만 필터는 상태변

수의 최적 추정치를 구하는 방법으로 구조가 선형적이고 실제 값의 평균치와 추정값의 평균치 사이에 바이어스가 없으며 상태변수와 추정 상태변수의 오차 분산을 최소화 하는 특성을 가지고 있다. 이러한 칼만 필터는 가우시안(Gaussian) 분포를 갖는 백색잡음에 의하여 구동되는 선형 시스템에 적용되는 경우 최적 필터로 평가되고 있다. 따라서 GPS와 자이로신호의 통합에 칼만 필터를 이용하기 위해서는 비선형 항법 방정식을 갖는 자이로의 특성을 고려할 때 선형화(linearization) 과정이 필요하다.

3.2.3 검증실험

3.2.3.1 고정위치 실험

CMC(Canadian Marconi Company)의 GPS Pre-Amplifier AT575-70 RevB를 아래 그림에서와 같이 서로 직각이 되도록 방사형으로 배치하고 안테나 간의 거리는 30cm로 고정하였다. 4개의 안테나를 꼭지점으로 하는 사각형의 중점에는 DGPS시 rms오차가 2cm 인 NoVatel사의 RT-2 안테나를 설치하였다. 통합 GPS수신 박스는 실내에 설치하여 데스크탑 컴퓨터와 연결하여 신호를 분석하였다.

3.2.3.2 이동위치 실험

이동위치 실험은 안테나를 고정할 수 있는 십자모양의 브라켓을 그림3- 와 같이 알미늄 프로파일로 제작하고, 안테나 고정판은 알미늄 프로파일의 홈을 따라 직선상을 이동할 수 있도록 하여, 필요에 따라 안테나간의 거리를 조정할수 있게 하였다. 안테나간의 거리는 최대 2m 까지 벌일 수 있도록 하고 트랙터 지붕 위의 구조물에 고정될 수 있도록 하였다. 트랙터는 자율주행 시험을 위해 개조된 대동 26마력 트랙터를 사용하였다. 2m 브라켓을 이용한 GPS 신호 수신시험은 아래 그림과 같이 지상의 고정된 점에서 시험한후 트랙터에 탑재하였고 이동경로의 추적을 위해 십자 구조물의 중앙에는 rms오차가 2cm 인 NoVatel사의 RT-2 GPS안테나를 배치했다. 또 계속 이동하는 트랙터 위의 안테나 위치를 기하학적으로 보정할 수 있도록 진북으로 부터의 정렬오차를 측정하기 위해 KVH사의 AUTO Gyro를 사용했다.

4. 결과 및 고찰

4.1. 단일 GPS의 수신특성

시험에 사용된 GPS 수신기의 오차특성을 알아보기 위해 농업기계화연구소 옥상에 설치된 Test Point에 ALLSTAR GPS 수신기의 전용안테나인 GPS Preamplifier antenna AT575-70 Rev B를 설치하고 약 30분간 연속적으로 데이터를 수신한 결과 측위데이터의 평균값이 true position(37.27416610N, 126.98194901E)와는 약 300m의 오차를 나타냈으며, 측정기간 동안의 측위데이터 평균치에 대한 RMS오차는 14.6m로 나타냈다.

4.2. 다중 GPS의 알고리즘 시뮬레이션 결과

random position data를 이용하여 다중 GPS 신호처리 알고리즘에 적용한 결과 약 30Sample 이후에는 True Position과의 오차는 약 60cm 이내로 줄어들어 안정된 형태를 나

타내고 있음을 알수있다. 따라서 측위신호의 오차가 true position에 대하여 Gaussian 분포를 이루고 누적 오차의 공분산이 0으로 접근하는 GPS 측위신호의 오차를 감소시키는데 유용한 알고리즘으로 판단되었다.

4.3 검증실험 결과

4.3.1 고정위치 시험

이미 알고있는 측지점인 농업기계화연구소 옥상의 GPS Test Point (37.27416610N, 126.98194901E)에 설치한 공시 GPS 안테나를 이용하였다. 4채널 모두 16m~23m 정도의 오차범위에서 true position을 중심으로 매 샘플링 마다 0.2~0.3m의 거리만큼 랜덤한 벡터방향을 향해 연속적으로 움직이고 있다. 수신기 자체의 필터링 알고리즘 때문에 수신기의 출력이 랜덤한 이산신호 형태로 나타나지 않았으며 신호의 평균도 경,위도 모두에 있어 3~5m 정도 바이어스 되고 있었다.

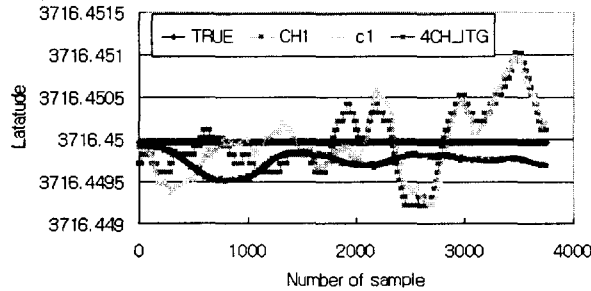


Fig.4-1. Position and their average of 4 GPS receiver which is corrected by Kalman filter in latitude.

4.3.2 이동위치 시험

다중 GPS 수신장치와 신호 통합 알고리즘을 동적환경에서 시험하기 위하여 농촌진흥청내의 소규모 광장에서 50×22m정도의 트랙을 설정한 후 26마력 트랙터에 시험장치와 함께 NovTel사의 RT-2를 탑재하고 DGPS 신호를 수신하여 2cm(RMS) 이내의 오차 정밀도로 측정하여 참 궤적으로 간주하였다.

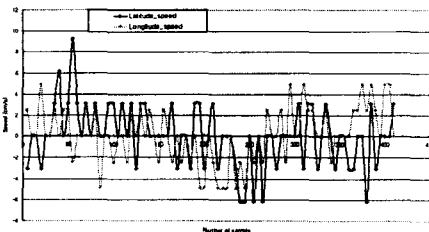


Fig. 4-2.Tracking speed and direction measured by gyro and speed meter

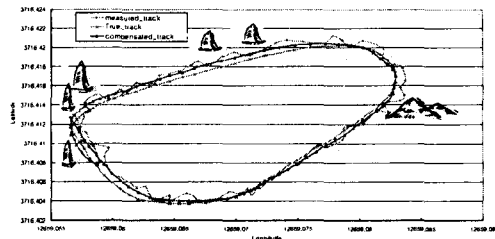


Fig. 4-3. Measured and corrected tracking trace by 4 GPS integration algorithm

그림4-2은 참 궤적을 트래킹 하는동안 GPS 신호보정을 위해 탑재한 자이로와 속도센서의 출력으로부터 변환된 경위도 방향의 속도벡터 크기를 표시하였다. 위도에 있어서

부호가 나타내는 방향은 (+)가 북쪽으로의 위도증가를, (-)가 남쪽으로의 위도 증가를 나타내도록 하였으며. 경도에 있어서 부호가 나타내는 방향은 (+)가 동쪽으로의 경도증가를, (-)가 서쪽으로의 경도 감소를 나타내도록 하였다. 속도 벡터의 크기는 경,위도 모두에 있어 -6~9cm 의 범위에 있었으며 벡터의 합이 거의 0에 가까워 짐으로 기하학적 폐곡선 궤적의 특징을 잘 반영하고 있었다. 그림 4-8는 주행시험장 주변의 지형과 참 궤적, 4GPS 다중 수신기의 평균 위치궤적, 보정된 위치궤적을 각각 나타내었다. 주행궤적의 동남쪽과 동북쪽은 높이 약 10m가량의 구릉지에 수목이 식재되어 있으며, 북쪽과 서쪽에는 5~15m가량의 건물이 다수 분포하고 있다. 이러한 주변의 영향으로 다중수신기의 측위신호는 최대 약 23m까지 오차가 발생하고 있으나, 제안된 알고리즘을 이용하여 보정한 결과 1.5m이내의 오차수준을 유지할 수 있는 것으로 나타났다.

5. 결론

본 연구는 정밀농업의 측위 시스템에 사용할 수 있는 값싸고 안정된 항법장치의 개발을 위하여 수행되었으며 다중 GPS를 수신할 수 있는 hardware의 개발과 4개 GPS 안테나의 기하학적 관계를 이용한 측위신호 보정알고리즘, 다중GPS 신호의 통합 알고리즘 개발을 연구 목표로 하고 시뮬레이션과 필드시험을 통해 시스템의 성능을 시험하였다.

이동위치시험은 농촌진흥청구내의 50×22m크기의 광장에서 폐곡선의 자유경로를 주행하였으며 GPS수신에 장애가 되는 지형이나 건물 수목 등이 주행로 주변에 다수존재하여 Single GPS의 수신오차는 20m 정도 까지 증가하였으나 다중수신 알고리즘에 의하여 처리된 측위신호는 약 1.5m이내의 오차를 유지할 수 있었다

다중 GPS 수신 시스템은 다수개의 GPS의 항법해와 관성센서 및 속도센서의 데이터가 필터 및 통합기의 입력으로 사용됨으로 전체적인 항법해의 정밀도를 2m 이내에서 안정시키는 것으로 나타나 정밀농업을 비롯한 측위신호를 필요로 하는 농작업 기계의 항법장치로 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 의도적 혼입 노이즈인 SA나 바이어스와 같은 공통 노이즈를 제거하는데는 한계가 있었으며, 금후 이러한 문제의 해결을 위해 Carrier Phase의 이용과 강결합 방식의 다중 GPS 통합기술 개발을 통해 보다 개선된 항법해와 안정(robust)한 시스템의 구축이 가능할 것으로 생각된다.

6. 참고문헌

1. 김진원. "GPS 반송파 위상과 INS를 상호보완적으로 이용한 자세추정" 서울대학교 제어계측공학과 공학박사 학위논문. 1999
2. 이영재, 지규인, 박찬식, 김일선, 이상규, 김춘식. DGPS와 그 응용, 항공우주공학회지, 23권 1호. 1995
3. Brown, R.G, Y.C.Jwang, Introduction to random Signal and Applied Kalman Filtering, 2nd ed. Wiley, New York, 1992.