濟州大學校 尖端技術硏究所 論文集, 第14卷, 1號, pp.163-167, 2003. 6
Cheju Nat'l Univ. Res. Inst. Adv. Tech. Jour., Vol.14, No.1, pp.163-167, 2003. 6

무인 해양탐사선 개발

김 상 철* · 임 종 환** · 강 철 웅**

Development of a Marine Probing Ship

Sang-Cheol Kim* , Jong-Hwan Lim** , Chul-Woong Kang**

ABSTRACT

The paper presents a small unmanned probing ship that can reduce the cost for acquiring data of marine and coastal environments. For communication system, we adopt direct and indirect methods based on the wireless modem of a commercial cellular telephone. The former is a direct communication between the modems of the ship and the server, and the latter is an indirect communication via internet between the ship and the server. The system is equipped with a digital compass and a GPS for position estimation, and extended Kalman filter is used for the data association. The performance of the ship is demonstrated with the results produced by sets of experiments.

Key Words : Unmanned probing ship, Wireless communication, Internet, Extended Kalman filter

Ⅰ. 서 론

현재 해양탐사는 광범위한 해양을 폭 넓고 정밀하게 탐사할 수 있는 대형 해양조사선, 해저 개발을 위한 자료 관측용 해중 유·무인 잠수정[1,2], 세계의 기상 변동에 영향을 미치는 해양 기상정보를 수집하기 위한 계류식 buoy[3]를 이용하고 있으며, 선진 해양국가에서는 오래 전부터 이와 같은 해양 탐사시스템 개발에 많은 투자를 하고 있다. 국내에서도 해양수산개발원을 중심으로 하여 해양환경관측을 위한 수질 관측용 buoy[4,5] 시스템을 개발하였다. 날로 심각해져 가는 연근해의 해양오염을 감시 관찰하기 위해서는 실시간으로 연근해의 해양환경을 관측할 필요가 있으나, 대형 해양탐사선의 경우는 항해가 가능한 해역에서만 탐사가 가능하고 부대 경비가 과다한 문제가 있다. 또한 계류식 buoy에 의한 관측은 이동이 불가능하므로 다양한 해역의 실시간 관측이 어렵다는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 일반적인 탐사선을 대신하여 손쉽게 연안의 상태를 조사할 수 있는 소형 무인탐사선을 개발하고자 한다.

* 제주대학교 대학원
Graduate School, Cheju Nat'l Univ.
** 제주대학교 기계·에너지·생산공학부, 첨단기술연구소
Faculty of Mechanical, Energy & Production Eng., Cheju Nat'l Univ., Res. Inst. of Adv. Tech.

Ⅱ. 시스템 설계

2.1 선체부

선체부는 거친 파도에도 전복되지 않게 하기 위하

여 쌍동선 형태로 설계하였다. 본체에는 제어, 통신, 탐사 등을 위한 각종 회로 및 전원공급을 위한 배터리 등이 내장되어 있으며 이들이 부력 조절 역할도 동시에 수행한다. 본체 좌우에는 일정한 각도를 갖고 부력체 역할을 하는 부력체가 좌우 대칭으로 연결되어 있다. 구동부는 본체와 완전 분리형으로 지상이동시 이송이 편리하게 설계하였고, 또한 선수와 선미 방향으로 이동이 가능하게 설계하여 선체의 부력중심을 맞추는데 용이하게 하였다. 무인 탐사선의 본체, 부력체, 그리고 구동부의 재질등 강도와 무게, 구입 및 가공의 용이성, 방식성 등을 고려하여 대부분을 PVC(Poly Vinyl Chloride)를 이용하였다. 특히 본체의 재질은 무선통신에 있어서의 외란을 줄이기 위해 가급적 철제의 사용을 지양하였으며, 본체 및 부력체, 구동부의 연결은 스테인레스 레버를 사용하였다.

시스템은 Fig. 1과 같이 두 개의 스크류로 추진되며 무인항법을 위해 DGPS(Differential Global Positioning System)와 디지털 컴퍼스가 장착되어있다. 본 무인탐사선에서는 DGPS에 의한 위성항법과 디지털 컴퍼스에 의한 추측항법을 동시에 이용하는 방법을 채택하였다[6-8]. 무인탐사선과 지상서버와의 통신은 무선 인터넷 망을 통하여 지상의 서버와 데이터 송수신을 하는 간접통신방식과 Fig. 2와 같이 무선 통신망을 이용하여 탐사선과 지상서버의 1:1 통신 즉, 직접 통신 방식 등 두 가지 통신방식이 모두 가능하도록 설계하였다. 간접 통신은 주로 탐사선에서 수집된 각종 정보의 전송을 담당하며, 직접통신은 탐사위치 등의 명령하달이나 비상시 또는 필요 시 원격제어용으로 이용된다.

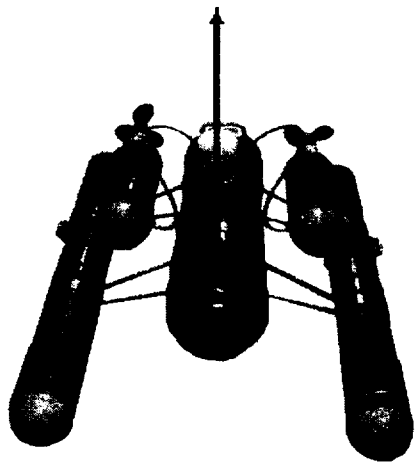

Fig. 1 Unmanned probing ship

2.2 시스템 제어부

제어부의 역할은 통신부로부터 명령을 수신하여 구동부를 적절하게 제어하거나, 수신되어지는 DGPS신호 및 지자계 데이터를 획득하며 추후 이를 이용 자율항해가 가능하도록 하며, 얻어진 데이터를 송신부로 송신하는 역할을 한다. Fig. 2는 제어부의 구성도를 나타내며 주 제어기 하부에 모터 드라이버, 지자기센서, DGPS 수신기 그리고 무선 통신모듈이 연결되어 있다.

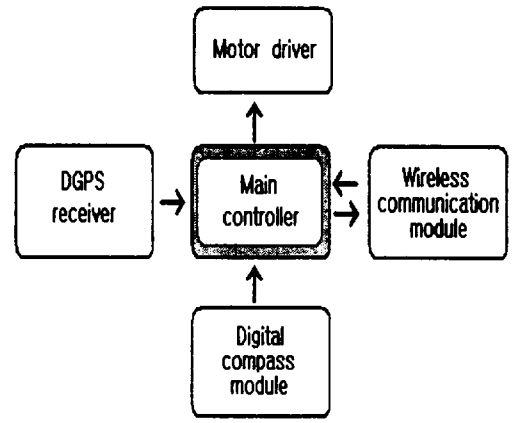

Fig. 2 The control system

주 제어기는 각종 명령처리 및 연산속도가 빠르고 신뢰성이 있는 80C196-KC 마이크로프로세서를 채택하였고, 통신부는 무선 모뎀으로 구성되어 있으며 무인 해양탐사선 제어기와 지상 또는 모선의 서버와의 통신을 담당한다.

무인 해양탐사선의 동작을 지상서버에서 제어할 때 인터넷 망을 통할 경우 속도지연 문제가 발생하여 제어가 순조롭지 못할 경우를 대비하여 지상서버에 부착된 모뎀과 무인 해양탐사선 모뎀간의 직접통신을 통하여 수행하도록 설계하였다. 또한, 무선 모뎀에서

송신된 데이터는 기존 통신망의 중계기와 인터넷망을 통하여 지상의 서버에 전달될 수 있으며, 원격 제어시는 지상 서버로부터 반대 경로로 무인 해양탐사선에 명령을 전달할 수 있다.

2.3 구동부

구동부는 무인 해양탐사선을 추진시키고 방향을 조절하는 역할을 담당하는데 양면의 부력체에 부착되어 있는 구동부 내부에 DC 모터가 장착되어 있고 이 모터 축이 외부로 돌출되어 부착되어 있다. 따라서 무인 해양탐사선의 양측에서 두 개의 스크루가 동시에 작동하여 탐사선을 추진시키며 양쪽 스크루의 속도차에 따라 방향을 전환하는 구조로 되어있다.

2.4 원격제어 및 모니터링 시스템

지상 서버부는 무인 해양탐사선과의 통신을 위한 통신부 및 제어부 그리고 데이터 및 무인 해양탐사선의 위치 등을 감시하는 모니터링부로 구성되어있다. Fig. 3은 원격제어 및 모니터링 시스템의 개념도를 나타낸다. 탐사선으로부터 위치 데이터나 방위각 정보는 실시간으로 무선 통신망을 통해 Mobile to Mobile 방식으로 서버로 전송되어진다.

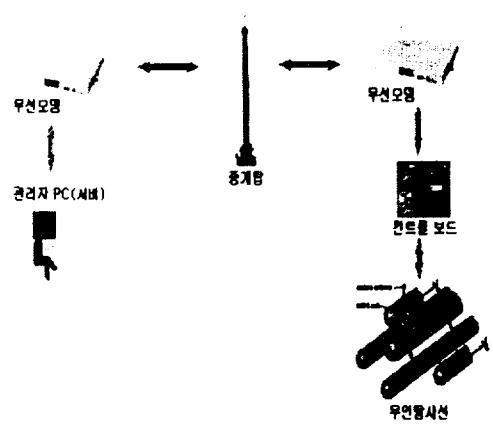

Fig. 3 Schematic diagram of the wireless control system(Mobile to Mobile)

III. 탐사선의 위치평가

3.1 위치측정시스템

DGPS의 정확도를 평가하기 위하여 제주기상청 DGPS기준점(건교부 측량점)에서 측정한 WGS (World Geodetic System)경위도 data의 평균 및 절대값, 표준편차를 Table 1에 나타내었다. 항해 중인 모형선의 실시간 방향정보를 얻기 위하여 디지털 컴퍼스를 사용하였으며, 그에 대한 사양과 측정치를 Table 2에 나타내었다.

Table 1 Accuracy of DGPS-53 (unit : degree)

	Average	Absolute value	Standard deviation
Longitude	126.314732	126.314737	1.6624E-06
Latitude	33.3050134	33.3050152	3.92076E-0

Table 2 Specifications of the digital compass module

ITEM	VALUE
Resolution	1° (Repeatability:±1°)
output	RS-232C (9600bps)
Response	4Hz
Standard deviation	±10°(on the sea)

3.2 확장 칼만필터를 이용한 위치평가

무인탐사선의 위치평가는 확장 칼만 필터를 이용하였다. $\lambda(k)$는 경도, $\phi(k)$는 위도, 그리고 $\theta(k)$는 탐사선의 자세각으로 정의하면, 무인 탐사선의 위치를 나타내는 상태 벡터는 다음으로 표현된다.

$$x(k)=\begin{bmatrix}\lambda(k)\\ \phi(k)\\ \theta(k)\end{bmatrix} \quad (1)$$

먼저 시스템 모델을 구성하면 다음과 같다.

$$x(k+1) = f(x(k), u(k)) + v(k), \quad v(k) \sim N(0, Q(k)) \tag{2}$$

$f(x(k), u(k))$는 상태천이 함수이며, $u(k)$는 제어입력, $v(k)$는 평균이 0이고 공분산이 $Q(k)$인 가우시안 잡음이다. 탐사선의 속도와 위도 경도 변화관계는 다음과 같다[9].

$$\begin{aligned} \dot{\lambda} &= \frac{V\sin\theta}{(R_e+h)\cos\phi} \\ \dot{\phi} &= \frac{V\cos\theta}{R_e+h} \\ \lambda(t+\Delta t) &= \lambda(t) + \dot{\lambda}\Delta t \\ \phi(t+\Delta t) &= \phi(t) + \dot{\phi}\Delta t \end{aligned} \tag{3}$$

여기서 V는 탐사선의 속도, R_e는 지구반경, h는 고도이며, 바다 표면을 항해하므로 $h=0$이 된다. 따라서 식(3)을 이용하여, 이산시간 $f(x(k), u(k))$를 구하면 다음과 같다.

$$f(x(k), u(k)) = \begin{pmatrix} \lambda(k) + \dfrac{d(k)\sin\theta(k)}{R\cos\phi(k)} \\ \phi(k) + \dfrac{d(k)\cos\theta(k)}{R} \\ \theta(k) + \Delta\theta(k) \end{pmatrix} \tag{4}$$

여기서 $d(k)$는 시간 k에서의 이동거리로서 $V\Delta t$이다.

DGPS와 디지털 컴퍼스의 측정모델은 실제 위치정보에 무작위 오차만이 개입한다고 가정하면 다음과 같이 슬 수 있다.

$$Z(k) = h(x(k)) + w(k), \quad w(k) \sim N(0, R(k)) \tag{5}$$

$w(k)$는 평균이 0이고 공분산이 $R(k)$인 가우시안 잡음이다. 또한 $h(x(k))$는 다음과 같이 정의한다.

$$h(x(k)) = \begin{pmatrix} \lambda(k)_{GPS} \\ \phi(k)_{GPS} \\ \theta(k)_{DCM} \end{pmatrix} \tag{6}$$

이와 같이 정의된 플랜트 모델과 측정모델을 확장칼만 필터 알고리즘에 적용하여 탐사선의 위치를 평가한다[10].

IV. 결과 및 고찰

4.1 탐사선 운항실험

설계된 탐사선의 안정성 및 운항특성을 알아보기 위해 실 해역 실험을 다양한 날씨 조건에 대해 수행하였다. 운항실험 결과 부력조절을 하지 않을 경우 탐사선 본체의 2/3정도만이 수면위로 노출되기 때문에 바람에 의한 불안정성 문제는 거의 없었다.

파고가 1m 이하로 높지 않은 경우에는 잠수율을 최대한 낮춰 유체저항을 줄임으로서 탐사선이 최대속도($1.5\,m/s$)로 운항할 수 있었으며, 파고가 높은 경우는 반대로 잠수율을 높임으로써 안정성을 확보할 수 있는 것으로 나타났다. 부력조절을 할 경우 탐사선의 최대 잠수율은 거의 100%에 달하며 실제 탐사선의 작업은 태풍이나 파랑주의보와 같은 극한 상황이 아닌 정상 날씨에 수행될 것이므로 설계된 탐사선의 안정성은 충분한 것으로 사료된다.

지상 서버와 탐사선간의 직접 통신은 통신장애 지역이 아니한 별 문제가 없었으며, 인터넷 통신에 의한 데이터 수신은 회선 과부하가 걸릴 때마다 조금씩 지연되는 경향을 보였으나 실시간 데이터 확보에는 큰 문제가 되지 않을 정도였다.

4.2 위치평가 결과

Fig. 4와 5는 실제 바다에서 탐사선의 항해 실험을 한 결과이다. 실험은 4곳의 위치(그림에서 사각점)를 미리 설정한 다음 탐사선을 설정된 위치를 차례대로 통과시키는 방법으로 수행하였으며 총 이동거리는 1,050m정도이다.

Fig. 4는 추측항법만으로 운항한 결과로서 같은 지점을 통과 했음에도 불구하고 매회 운항시 마다 오차가 크게 발생함을 알 수 있다. Fig. 5는 확장 칼만필터를 이용한 실험 결과로서 주행횟수가 증가함에도

불구하고 설정된 지점에 대해 누적오차가 발생하지 않음을 알 수 있다.

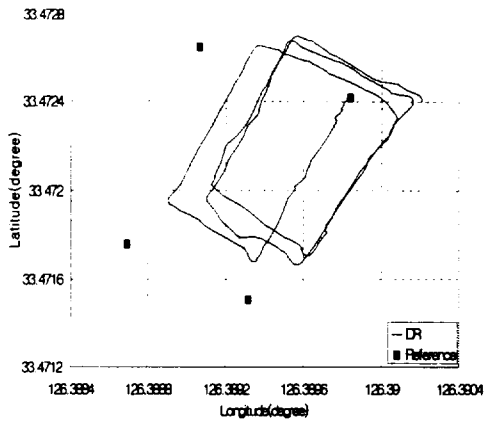

Fig. 4 Results of navigation using dead reckoning

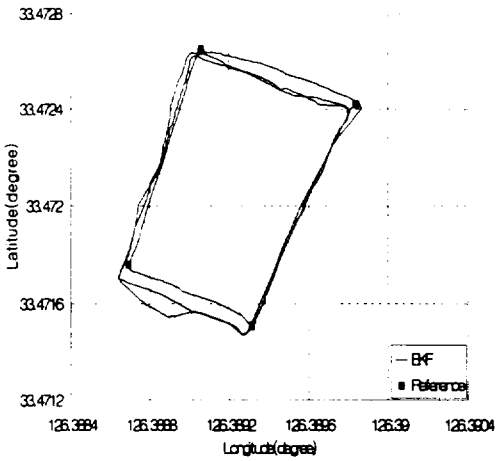

Fig. 5 Results of navigation using EKF

V. 결 론

본 연구에서는 해양의 각종 물리, 화학적 정보를 측정할 수 있는 무인 원격제어형 해양 탐사선을 개발하였다. 자율항해를 위한 위치 데이터 정보를 무선모뎀을 통하여 실시간으로 전송하는 시스템을 개발하였으며, 확장 칼만 필터를 이용한 위치 평가 방법을 제안하였다. 본 시스템은 특히 소형으로서 기존의 조사선이 접근하기 어려운 해역이나 연안에서 저렴한 비용으로 조사가 가능할 것으로 사료된다.

참고문헌

1] U. Tamaki, 1999, Development of AUV PTEROA, International Advanced Robotics MBARI, pp.195-200.

2] J. Yuh, 2000, Design and Control of Autonomous Underwater Robots, Int. J. of Autonomous Robots, Vol. 8, No. 1, pp. 7-24.

3] A. Ishida, Y. Kasino, H. Mitsudera, and T. Kadokura, 1999, Mean Structure and variability of the Equatorial Pacific Subspace Countercurrent in the JAMSTECH High- resolution OGCM, JAMSTECR No. 39, pp.117- 137.

4] 안유환, 2000, 해양환경관측 및 개선을 위한 기반기술 연구, KORDI 2000 Annual Report.

5] 한국해양연구소, 1995, 광역 표층 해류관측을 위한 TG PS Buoy 시스템 운영지침서.

6] 박대선, 2001, 실시간 OS를 이용한 GPS/DR 결합 무인지상차량 항법시스템 개발, 건국대학교 전자·정보통신공학과 석사 학위 논문.

7] 박요섭, 1996, 다중 빔 음향 측심 자료 처리를 위한 해저면 맵핑 시스템, 인하대학교 자동화 공학과 석사 학위 논문.

8] 한국해양연구소, 1998, DGPS운용을 위한 기반 구축, BSPE 98716-00-1158-2.

9] G. Siouris, 1993, Aerospace Avionics Systems-A Modern Synthesis Press.

10] J. H. Lim, C. U. Kang, 2002, Grid-based Localization of a Mobile Robot using Sonar Sensors, KSME Int. J., Vol. 6, No. 3, pp.302-309.