

소나 영상 획득을 위한 무인자율항법 시스템 구현

류재훈 · 류광렬*

Implementation of AUSV System for Sonar Image Acquisition

Jae Hoon Ryu · Kwang Ryol Ryu*

Department of Electronic Engineering, Mokwon University, Daejeon 35349, Korea

요 약

본 논문은 해저탐사에서 소나영상 촬영을 위한 무인자율항법(AUSV)시스템 구현에 관한 연구이다. 자율항법 시스템은 선체에 모션센서, DGPS에 의한 현재 경위도 좌표와 목표지 경위도 좌표의 차를 가지고 선체 추진체의 항로를 FFPID 알고리즘으로 제어한다. 실험결과, 목적지 좌표에 대한 제어좌표 오차는 전체 항법거리 1km 에서 6 m 이하로 우수하다. 또한 자율항법 모드에서의 소나영상 촬영 결과물은 유인선 촬영 결과물과의 차이는 12 화소 이하로 전체 영상 차이는 거의 식별할 수 없이 동일하다. 개발된 시스템은 유인선으로 촬영 불가능한 해저 지형에 대한 소나 영상 촬영을 위한 새로운 방법으로 활용 가능하다.

ABSTRACT

This paper describes the implementation of AUSV system for sonar image acquisition to survey the seabed. The system is controlled by Feed Forward PID algorithm on the vessel for bearing of the thrusters composed of motion sensor and DGPS which calculates the differences between the current location and the destination location for longitude and latitude based on GPS coordinates. As experimental results, the bearing control performance is good that the error distance from the destination positions are under 6m in total survey track of 1km. And the sonar image deviation of a object is under 12 pixels from the manned survey method, which the comparison with the total image quality is almost the same as the manned survey one. Thus the proposed AUSV system is a new method of system can be utilized at the limited survey areas as the surveyor should not be able to approach on sea surface by onboard vessel.

키워드 : 무인자율항법, DGPS, FFPID, 측면주사소나, 추진체

Key word : AUSV, DGPS, FFPID, Side scan sonar, Thruster

Received 01 November 2016, Revised 02 November 2016, Accepted 06 November 2016

* Corresponding Author Kwang Ryol Ryu (E-mail: conan@mwu.ac.kr, Tel: +82-42-829-7651)

Department of Electronic Engineering, Mokwon University, Daejeon 35349, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2016.20.11.2162>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

자율항법(Autonomous Control)은 사용자가 의도한 목적지로 자율로 이동하는 기술이다. 해상에서 무인자율항법 시스템(AUSV : Autonomous Unmanned Surface Vehicle)은 군사나 조사를 위해서 연구 되어 왔다. 해외에서는 대부분 장기간의 해양 조사에 관련된 시스템을 연구해 왔으며, 인명 피해가 없는 적진 정찰 용으로도 활용 되어 왔다[1, 2]. 또한, 연구 목적에 따라 선체의 종류도 다양하다. 속도가 빠르고 길이 6m 이상의 쾌속정을 이용한 자율항법 선박은 주로 목적지 좌표의 영상 촬영이 목적이었으며, 해양의 생태 변화 조사에는 바지(Barge ship) 선박, 쌍동선(Catamaran ship)을 사용하였다[3-5]. 국내에서도 알고리즘 개발, 조사 분야의 자율항법 시스템 개발이 진행 되고 있으나 아직 미미한 수준이다[6].

따라서 본 연구에서는 측면주사소나(Side Scan Sonar)를 선체 하부에 장착하여 해저면 영상 촬영 목적으로 하는 무인자율항법 시스템과 주행 안정성과 소나 영상 촬영에 적절한 속도 3~4노트를 유지할 수 있는 시스템 개발을 목적으로 개발된다. DGPS와 피드퍼워드 PID 알고리즘을 적용한 AUSV 시스템의 하드웨어 및 소프트웨어 구성과 무인자율항법 항로 생성 및 제어 알고리즘, 실험 및 결과를 제시한다.

II. 무인자율항법 시스템 구현

2.1. 무인자율항법 시스템

본 논문에서 구현된 Side Scan Sonar 의 해저 영상 촬영을 위한 시스템 AUSV는 그림 1과 같이 사용자가 지정하는 위치에 도달하기 위한 추진체 구동을 경위도 좌표계와 선체의 선미를 입력값으로하는 FFPID (Feed Forward Proportional Integral Derivative) 선체 제어 시스템 및 알고리즘이다. AUSV 소프트웨어 시스템은 선체 제어 시스템(Boat Unit)과 육상 제어 시스템(Land Unit)으로 나눈다. 그림 2에서와 같이 선체제어 시스템은 PC 기반 제어시스템, DGPS (Differential Global Positioning System), 움직임 센서(Motion sensor), 무선랜(Wireless Lan), RC 모듈, 배터리가 탑재 될 수 있는 선체로 구성하였고 여기에 선체 하부에 측면주사소나

를 장착한다. 육상제어 시스템은 무선랜과 선체의 신호를 모니터링, 자율항법 항로 탐사 계획 등을 할 수 있는 소프트웨어로 구성된다.

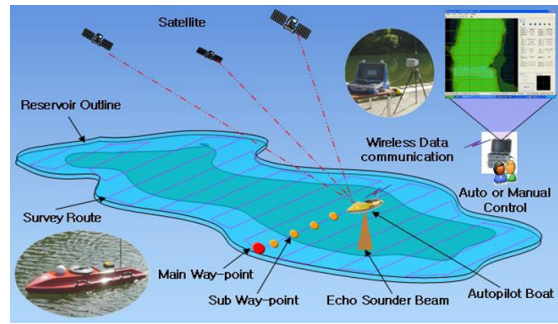


Fig. 1 AUSV System Configuration

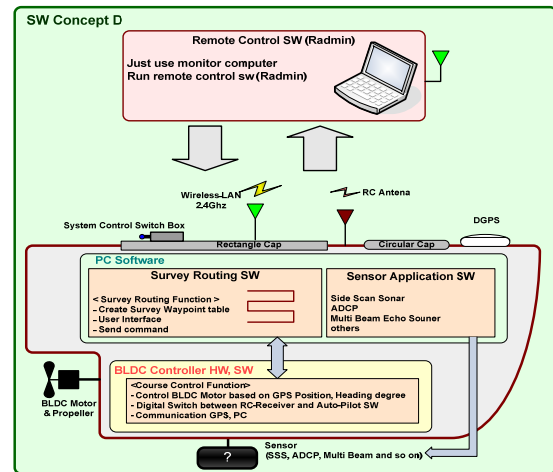


Fig. 2 AUSV Software Flow

2.2. 항로 생성 및 제어

선체가 자율항법으로 이동하여 목적지 좌표까지 도달하기 위해서는 목적지 경위도 자료에 대해서 현재 선체의 경위도 좌표와의 항로거리의 식 (1)으로 계산하고, 방위각 차에 의해서 선체의 항로각(Bearing)은 그림 3과 같이 계산 한 후 이를 추진체(Thrusters)에 전달하는 자율항법 시스템이다.

식 (1)에 의해 선체 자신의 좌표와 목적지 좌표 사이에 거리를 계산하고, 식 (2)에 의해서 방위각을 구한 후 그림 3과 같이 식 (3)으로 항로각을 구한다.

$$\alpha = \cos\Phi_f \sin\Delta\lambda_{fs} \quad (1)$$

$$\beta = \cos\Phi_s \sin\Phi_f - \sin\Phi_s \cos\Phi_f \cos\Delta\Phi_{sf}$$

$$\gamma = \sin\Phi_s \sin\Phi_f + \cos\Phi_s \cos\Phi_f \cos\Delta\lambda_{sf}$$

$$\Delta\sigma = \arctan\left(\frac{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}{\gamma}\right)$$

$$\therefore \text{Distance}(m) = r\Delta\sigma$$

여기서

- $\Phi_s, \Phi_f, \lambda_s, \lambda_f$: Geographical Latitude, Longitude of two points.
- $\Delta\sigma$: the angular difference
- r : the radius in Earth (6,378,137m)

$$P_s = \sin\Delta\lambda_{fs} \cos\Phi_f$$

$$P_f = \cos\lambda_s \sin\lambda_f - P_s \cos\Delta\lambda_{fs}$$

$$\theta_i = \arctan\left(\frac{P_s}{P_f}\right)$$

if $P_f < 0$
 $\theta_i += 2\pi$

여기서

- θ_c : Initial Course

$$\theta_x = \theta_o - \theta_c \quad (3)$$

if $\theta_x > 180$
 $\theta_x -= 360$

자율항법제어는 그림 4에서처럼 움직임 센서의 선미, 항로각의 차(error)를 활용하여 추진체의 스티어링(Steering), 드라이빙(Driving)을 제어하는 FFPID 제어로 구성된다. FFPID 제어 시스템의 Feed Forward 제어는 일반적으로 시스템에 맞게 구현이 된다. 식 (5), (6)과 같이 구현된 선체의 추진체의 출력에 맞추어 계산된다.

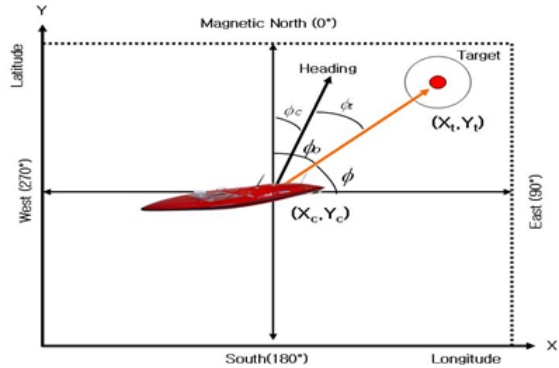


Fig. 3 2D Bearing coordinate

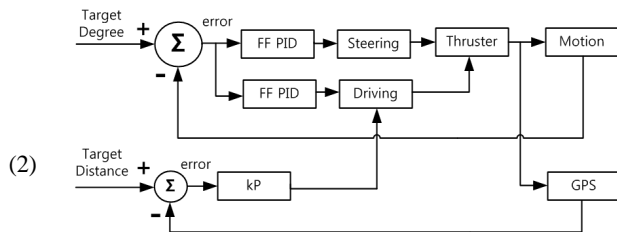


Fig. 4 FFPID controlling system

$$P(\text{Proportional pulse}) = K_p e(t) \quad (4)$$

$$I(\text{Integrate pulse}) = K_i \int_{t_0}^t e(t') dt'$$

$$D(\text{Derivative}) = K_d \frac{de(t)}{dt}$$

$$ff_s = e \left| \frac{\Delta A}{\kappa_{s1}} \right| \kappa_{s2} \quad (5)$$

$$ff_d = \kappa_{d1} h - \left(\frac{|\Delta A|}{\kappa_{d2}} \right) \quad (6)$$

여기서

- $K_{s1}, K_{s2}, K_{d1}, K_{d2}$: Constant of Steering, Driving

III. 시스템 실험 및 고찰

본론에서 제안한 항로생성 및 자율항법 제어를 위해서 두 경위도 좌표에 의한 거리와 방향의 도출 방식

과 다른 방식과의 비교 계산이 필요하다. 비교 검증에 사용된 방식은 국토지리원에서 배포하여 사용되는 계산시트와 구글사에서 제공하는 (Google Earth)거리 측정 기능으로 하였다. 표 1.에서와 같이, 다른 두 방식에 대해서 최소 0.2m 의 거리와 각도 0.87°로 제안된 도출 방법이 자율항법 제어에 사용 가능한 수치임을 알 수 있다.

Table. 1 Comparison with distance and bearing

Measured Area	Calculation Sheet	Google Earth	Proposed	Minimum deviation
Misan Lake in Korea	172.043m	171.48m	171.68m	<0.2m
	271.02°	270.90°	270.2°	<0.7°
Taupo Lake in New Zealand	2059.493m	2057.28m	2058.34m	<1.06m
	137.47°	138.56°	137.69°	<0.87°
Hudson River in USA	13,453.81 m	11,226.36 m	11,256.17 m	<29.81m
	188.43°	187.75°	186.92°	<0.83°



Fig. 5 Built ASUV boat

자율항법시스템의 선체는 그림 5와 같이 보트제작에 사용되는 FRP 재질로 제작되었으며, 피치(Pitch)와 롤(Roll) 운동 특성이 0.5° 이하로 우수한 동작을 갖는다. 선체의 하부에는 해저 영상 촬영을 위한 측면조사 소나를 장착한다. 선체 내부에는 소형 PC 본체, DGPS 수신기, 움직임 센서, 무선랜 AP 그리고 전지를 넣어 자율항법으로 제어 할 수 있도록 한다. 선체 후면에는 60W BLDC 모터, 수냉장치(Water Cooling Housing), 프로펠러로 구성된 추진체 2대를 장착한다.

선체의 운동특성 계측 결과, 스티어링, 드라이빙 출

력(PWM) Y는 제어 각도 (Δ angle) X에 대해서 그림 6과 같은 특성 곡선을 갖는다.

육상의 시스템은 그림 7과 같이 목적지 좌표를 설정하고 선체의 모든 데이터를 무선랜으로 전체를 모니터링 할 수 있도록 개발된다.

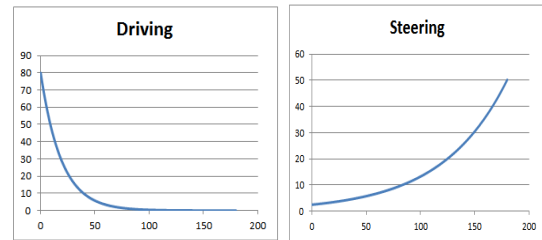


Fig. 6 Output curve of thruster(Steering, Driving)

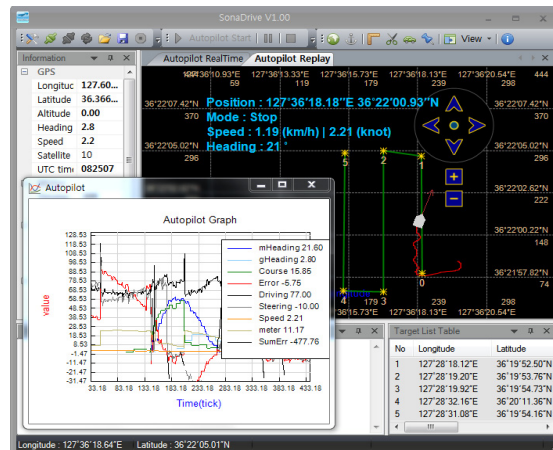


Fig. 7 ASUV Land Unit display

자율항법 시스템의 실험은 약 1km 거리에 목적지 좌표 6개를 선정하였으며, 실험 당시 조류의 방향은 위에서 좌로 약 0.5 m/s 흐르고 있었다. 그림 8과 같이 선정된 6개의 좌표를 지나 최종 목적지에 도달하는데 약 20분여 분이 지났으며 측정된 자율항법 시스템의 거리 오차는 최대 6m로 나타났다. 측면조사소나 촬영 영상은 무너진 다리 부분의 영상을 비교하기로 하였으며, 그림 9의 a. 유인선으로 촬영한 영상과 구현된 b. ASUV 영상과의 차이는 약 12 화소 정도 이며 두 촬영 방식의 큰 차이는 구별 될 수 없음을 알 수 있어, ASUV 시스템이 새로운 소나영상 촬영 방식으로 활용 가능성을 보여준다.

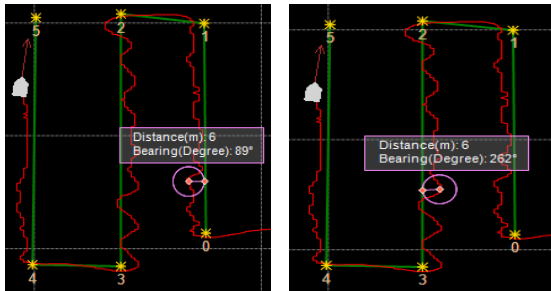


Fig. 8 ASUA system experimentation

로 촬영한 영상과 구현된 AUSV 영상과의 차이는 약 12 화소 정도이다. 따라서 AUSV 시스템은 비교적 우수한 항법제어와 획득 소나영상의 화질이 선명하다. 결과적으로 사람이 직접 승선하여 촬영할 수 없는 제한된 지역, 즉 유인선으로 불가능한 지역에서의 촬영이 가능하여 그 활용도가 높다 할 수 있다.

REFERENCES

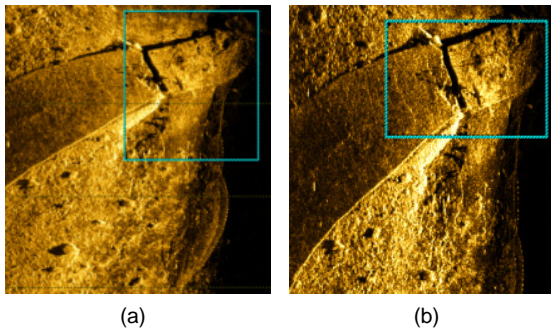


Fig. 9 Sonar images comparison (a) Decoy ship image (b) AUSA image

- [1] J. E. Manley, "Unmanned Surface Vehicles, 15 Years of Development," *Proceedings of OCEANS 2008*, IEEE, pp.1-4, 2008.
- [2] W. Gro, S. Wang, and W. Dun, "The Design of a Control System for an Unmanned Surface Vehicle," *J. of The Open Automation and Control Systems*, vol. 7, pp. 150-156, Jul. 2015.
- [3] Y. Li, "Unified approach of Unmanned Surface vehicle Navigation in Presence of Waves," *J. of Robotics, Israel Institute of Technology*, vol. 2011, Nov. 2011.
- [4] D. Rodriguez, M. Franklin, C. Byrne, "A Study of the Feasibility of Autonomous Surface Vehicles," Worcester Polytechnic Institute, Project Report, Dec. 2012.
- [5] S. Savits, I. Blickstein, P. Bunyk, "U.S. Navy Employment for Unmanned Surface Vehicles (USVs)," National Defense Research Institute, RAND Report, 2013.
- [6] H. I. Kim and S. H. Jun, "Development of Autonomous Navigation for every Small Unmanned Surface Vehicle Based on GPS," *J. of Korean Institute of Navigation and Port Research*, vol. 33, no.5, pp.303-308, Jun. 2009.

IV. 결 론

본 연구는 해저 소나영상 촬영을 위한 자율항법 시스템 구현 연구이다. 실험 결과, 자율항법 시스템의 거리 오차는 km 당 최대 6m이하이다. 영상화질은 유인선으



류재훈(Jae Hoon Ryu)

목원대학교 전자공학과 박사과정
 ※관심분야 : 해양정보통신, 영상비디오 시스템



류광렬(Kwang Ryol Ryu)

목원대학교 전자공학과 교수
 ※관심분야 : BME, DSP, Biometrics, Spiritual Science