풍선기반 자율형 공중로봇키트 개발

김현식*

Development of Balloon-based Autonomous Airborne Robot-kit

Hyun-Sik Kim *

요 약

최근에는 극한 분야에서 수상로봇, 수중로봇, 공중로봇과 같은 해양로봇의 필요성이 제기되고 있음에도 불구하고, 그 기반은 매우 부족하다. 다행히도, 로봇교육에 대한 요구가 증가하고 있으므로, 해양로봇키트의 개발 및 보급을 통하여 연구개발 기반을 마련하고 미래 인재를 양성하는 것이 바람직하다. 그러나, 기존에는 공중 이동 및 장애물회피가 가능한 풍선기반의 해양로봇키트가 없다. 이 문제를 해결하기 위해서, 적외선 센서를 이용하여 장애물회피가 가능한 풍선기반 자율 공중로봇키트가 개발되었다. 시험평가 결과는 실제 적용 가능성과 추가 연구의 필요성을 보여준다.

ABSTRACT

Recently, although the need of marine robots such as the underwater robot, surface robot and airborne robot being raised in extreme areas, the basis is very deficient. Fortunately, as the need of the robot education is increasing, it is desirable to establish the R&D basis of marine robots and to train future talents through the development and diffusion of marine robot kits. However, in conventional case, there is no marine robot-kit based on the balloon, which has the abilities of the airborne locomotion and obstacle avoidance. To solve this problem, a balloon-based autonomous airborne robot-kit that has the ability of the obstacle avoidance with an infrared sensor, is developed. The test and evaluation results show the possibility of the real applications and the necessity of additional work.

키워드

Marine Robot, Balloon-Based, Autonomous, Airborne, Robot-Kit
해양로봇, 풍선기반, 자율, 공중, 로봇키트

1. 서 론

최근에는 에너지 자원 확보, 해양 사고 예방/수습, 해적 위협 대응, 항만/해저 시설 진단/관리, 해양 감시/정찰/방어 등 다양한 극한 분야에서 해양로봇의 필요성이 절실히 제기되고 있다. 그럼에도 불구하고, 그 기반은 매우 부족한 실정이다.

다행히도, 최근에는 로봇교육에 대한 수요 증가로 해양로봇아카데미, 해양로봇경진대회 등의 사례가 존재하고 있는데, 해양로봇키트의 개발 및 보급을 통하여 연구개발 기반을 마련하고 미래 인재를 양성하는 것은 우리나라의 로봇기반을 확보하는데 있어서 매우 현실적인 해법이 된다.

해양로봇키트의 개발과 관련하여, 수상 이동 및 장

* 교신저자(corresponding author) : 동명대학교 로봇시스템공학과(hyunskim@tu.ac.kr)
접수일자 : 2013. 05. 27

심사(수정)일자 : 2013. 07. 25

게재확정일자 : 2013. 08. 23

애물회피[1-4]가 가능한 자율형 수상로봇키트[5]는 3채널 소나(sonar) 센서를 탑재하고 서지(surge), 요(yaw)의 2자유도 운동이 가능하며, 수중 이동 및 장애물회피가 가능한 자율형 수중로봇키트[6]는 4채널 소나 센서를 탑재하고 서지, 요, 피치(pitch)의 3자유도 운동이 가능하다. 또한, 공중 이동이 가능한 풍선기반 원격조종형 공중로봇키트[7]는 서지, 요, 피치의 3자유도 운동이 가능하다. 하지만, 공중 이동 및 장애물회피가 가능한 자율형 공중로봇키트가 없다.

이 문제를 해결하기 위해서, 적외선 센서를 이용하여 장애물회피가 가능한 풍선기반 자율 공중로봇키트가 개발되었다. 본 키트는 효율적인 개발을 위해서 시스템공학 프로세스를 적용하여 개발하였다.

II. 키트 시제작

본 절에서는 시스템공학 프로세스 중에서 분석, 설계, 시제작 프로세스가 기술되며, 주요 내용은 수학적 모델, 하드웨어 플랫폼, 소프트웨어 플랫폼 등으로 세분화되어 기술된다.

2.1 수학적 모델

일반적인 공중로봇키트는 롤(roll), 피치(pitch), 요(yaw), 서지(surge), 스웨이(sway), 히브(heave)의 6자유도(Degree Of Freedom : DOF) 운동이 가능하며, 병진(translation) 성분인 x, y, z 와 회전(rotation) 성분인 ϕ, θ, ψ 를 포함한다. 속도 성분이 u, v, w , 각속도 성분이 p, q, r 이고, 힘 및 모멘트 성분이 $\mathbf{F} = [X \ Y \ Z]^T$, $\mathbf{G} = [K \ M \ N]^T$ 일 때, 관련 식은 다음과 같다[7].

$$\mathbf{M}\mathbf{a} = - \begin{bmatrix} \mathbf{F}_I \\ \mathbf{G}_I \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{F}_R \\ \mathbf{G}_R \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{F}_H \\ \mathbf{G}_H \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{F}_P \\ \mathbf{G}_P \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서, $\mathbf{M}$ 은 질량 행렬이고, $\mathbf{a} = [\dot{u} \ \dot{v} \ \dot{w} \ \dot{p} \ \dot{q} \ \dot{r}]^T$ 는 가속도 행렬이다. $\mathbf{F}_I = [X_I \ Y_I \ Z_I]^T$ 는 관성(inertia) 힘 벡터, $\mathbf{G}_I = [K_I \ M_I \ N_I]^T$ 는 관성 모멘트 벡터이고, $\mathbf{F}_R = [X_R \ Y_R \ Z_R]^T$ 및 $\mathbf{G}_R = [K_R \ M_R \ N_R]^T$ 은 각각 부력 및 무게와 관련된 복원 힘 및 모멘트 벡터이고, $\mathbf{F}_H = [X_H \ Y_H \ Z_H]^T$ 및 $\mathbf{G}_H = [K_H \ M_H \ N_H]^T$ 은 각각 선체(hull) 형상과 관련된 힘 및 모멘트 벡터

이고, $\mathbf{F}_P = [X_P \ Y_P \ Z_P]^T$ 및 $\mathbf{G}_P = [K_P \ M_P \ N_P]^T$ 은 각각 추진기와 관련된 추진 힘 및 모멘트 벡터이다. 이 중에서 지배력은 Z_R 인데, 헬륨가스를 이용하여 부력을 발생시켜 중성부력을 획득하는 데 있어서 매우 중요한 역할을 하며, 주위 온도에 의존하는 특성을 가지고 있다. 본 키트는 안정적인 수평면 장애물회피 성능 검증을 위하여 요, 서지의 2자유도로 구현하였다.

2.2 하드웨어 플랫폼

H/W 플랫폼의 시제작 내용은 다음과 같다. 해양로봇의 최고기술국인 미국의 NPS(Naval Postgraduate School)는 수중/수상, 육상, 공중과 관련된 체계들을 통신망으로 연계하여 그 효과를 극대화하는 이종 협력 네트워크(Heterogeneous Collaborative Network) 기술이 상용화 수준이며, 이와 관련해서 국내에서도 초소형 해양로봇[5-7] 연구개발이 활성화되고 있다.

그림 1. 이종 협력 네트워크

Fig. 1 Heterogeneous collaborative network

이러한 해양로봇 기술 동향과 관련하여, 본 연구에서는 그림 2와 같은 브레인스토밍(brainstorming) 과정을 거쳤다.

그림 2. 브레인스토밍

Fig. 2 Brainstorming

앞의 브레인스토밍을 기반으로 정립된 기본적인 운용개념은 그림 3과 같다.

그림 3. 운용개념도
Fig. 3 Diagram of operating concept

앞의 운용개념을 기반으로 요구사항 분석이 수행되었으며, 이동성(R1), 회피성(R2), 유지보수성(R3) 등이 도출되었다.

다음으로, 기능 분석은 요구사항 분석 결과를 바탕으로 수행되었으며, 무게/부력 조절 기능(F1), 공기저항최소화 기능(F2), 수평면 이동 기능(F3), 수평면 장애물회피 기능(F4), 분해/조립 기능(F5), 전원 ON/OFF 기능(F6), 프로그램 다운로드 기능(F7) 등이 도출되었다.

다음으로, H/W 구성품 식별은 앞서 수행된 요구사항 및 기능 분석 결과를 바탕으로 그림 4와 같이 수행되었으며, 형상관리 측면에서 몸체부, 계측부, 추진부, 기타로 구분하였다.

그림 4. H/W 가계도
Fig. 4 H/W family tree

그림 5는 H/W 가계도를 바탕으로 상세 설계를 진행한 결과로서, CATIA(Computer Aided Three dimensional Interactive Application) 프로그램 및

RP(rapid prototyping) 장비를 이용한 시제작을 위하여 3D 모델링 기반의 설계를 수행하였다.

그림 5. 3D 모델링 기반의 H/W 설계
Fig. 5 3D modeling-based H/W design

설계된 키트는 작은 공기저항을 가지면서도 식(1)의 Z_R 과 관련된 부력을 발생시키는 풍선부, 식(1)의 X_P 와 관련된 힘 및 N_P 와 관련된 모멘트를 발생시키는 Surge/Yaw 발생부, 장애물 탐지를 위한 적외선 센서부를 가지고 있다. 또한, 볼트/너트, 핀 및 테이프를 이용하여 탈부착이 가능한 특징을 가지고 있다.

H/W 구성품 중에서 보드장착판, 조절판, 모터장착판, 센서부착판, 전원장착판은 그림 6의 프린터, 용해기, 프린팅 프로그램을 이용하여 시제작되었다.

그림 6. 시제작 장비
Fig. 6 Manufacturing equipment

나머지 H/W 구성품인 풍선, 제어보드, 핀, 적외선 센서, 서보모터, 프로펠러, DC모터, 전원부, 납, 테이프 등은 상용품을 구입하였다.

그림 7은 제어기, DC모터, 전원부를 나타내는데, 상용화 및 저증량을 위해서 저가형 및 초소형 부품이 선정되었다. 제어기는 저가형이므로 A/D 컨버터를 내장하고 있지 않다.

그림 7. 상용 부품
Fig. 7 Commercial components

그림 8은 적외선 센서를 나타내는데, 역시 상용화 및 저증량을 위해서 저가형 및 초소형 부품이 선정되었다. 서보모터 축에 부착되어 회전이 가능하므로, 1개의 적외선 센서를 이용한 장애물회피 알고리즘을 개발하는데 활용이 가능하다.

그림 8. 적외선 센서
Fig. 8 Infrared sensor

적외선 센서의 특성곡선을 살펴보면 물체와의 거리가 가까워질수록 출력전압의 크기가 증가함을 알 수 있는데, 5 [V] 입력전압 기준에서, 약 15 [cm] 지점에서 2.75 [V]가 출력됨을 알 수 있다. 본 키트에 사용된 제어기는 A/D 컨버터를 내장하고 있지 않으므로, 단 하나의 디지털포트를 사용하여 적외선 센서의 출력 값이 2.5 [V] 이상이 되면 High로 인식하여 장애물회피를 수행하도록 하였다.

앞서 언급한 적외선 센서를 포함한 전체적인 데이터 연동구성은 그림 9와 같다.

그림 9. 제어부 연동도
Fig. 9 Interface diagram of control part

그림 5의 3D 설계 내용을 바탕으로 이후에 언급한 내용을 종합하여 H/W 시제작에 반영한 결과는 그림 10과 같은데, 상용화 및 저증량이 가능하도록 저가형, 초소형, 최소 부품의 조건을 충족하고 있다.

그림 10. 3D 모델링 기반의 H/W 시제작
Fig. 10 3D modeling-based H/W manufacturing

려한 메커니즘 및 알고리즘의 개선이 필요함을 알 수 있었다. 앞의 과정을 통해 개발 및 검증된 키트의 제원은 표 2와 같다.

표 2. 개발된 키트의 사양
Table 2. Specification of developed kit

Item	Value
Balloon Length	120 [cm]
Balloon Height	60 [cm]
Balloon Width	20 [cm]
Width	38 [cm]
Weight	79 [g]
Turning Diameter	0 [cm]
Normal/Maximum Speed	10/50 [cm/s]
Detection Distance	5 [cm]

VI. 결 론

본 논문에서는 글로벌 표준 연구개발방법론인 시스템공학 프로세스를 적용하여 국내 최초로 개발된 풍선기반 자율형 공중로봇키트를 소개하였다.

개발된 키트는 이동성, 회피성, 유지보수성이 우수한 보급형 키트로서, 간단한 구조를 가지면서도 2자유도 운동이 가능하며, 적외선 센서를 이용하여 장애물 회피가 가능하다.

개발된 키트의 성능 검증을 위한 시험평가 결과는 본 키트의 실제 적용 가능성과 추가 연구의 필요성을 보여 주는데, 초소형 해양로봇 연구개발 뿐만 아니라 미래인재 양성에 적용이 가능하며, 로봇특성을 반영한 장애물회피 알고리즘 등의 개발에 활용이 가능하다.

감사의 글

이 논문은 2012학년도 동명대학교 교내학술연구비 지원에 의하여 연구되었음 (2012A012)

참고 문헌

- [1] Y.-C. Bae and J.-K. Park, "A Study on Obstacle Avoid Method and Synchronization of multi chaotic robot for Robot Formation

Control based on Chaotic Theory", The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 5, No. 5, pp. 534-540, 2010.

- [2] S.-W. Noh, N.-Y. Ko, and T.G. Kim, "Implementing Autonomous Navigation of a Mobile Robot Integrating Localization, Obstacle Avoidance and Path Planning", The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 6, No. 1, pp. 148-156, 2011.
- [3] K.-J. Kim and N.-Y. Ko, "Numerical Performance Analysis of Obstacle Avoidance Method for a Mobile Robot", The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 7, No. 2, pp. 401-407, 2012.
- [4] H.-S. Kim, "Study on Local Path Control Method based on Beam Modeling of Obstacle Avoidance Sonar", Journal of Korean Institute of Intelligent Systems, Vol. 22, No. 2, pp. 218-224, 2012.
- [5] H.-S. Kim and I.-H. Kim, "Surface-type autonomous robot-kit", Korean Patent Application 10-2011-0107945, 2011.
- [6] H.-S. Kim, H.-J. Kang, Y.-J. Ham, and S.S. Park, "Development of underwater-type autonomous marine robot-kit", The Journal of Korea Institute of Intelligent Systems, Vol. 22, No. 3, pp. 312-318, 2012.
- [7] H.-S. Kim, "Development of a remotely operated aerial robot-kit", The Journal of Korea Robotics Society, Vol. 7, No. 3, pp. 216-221, 2012.

저자 소개

김현식(Hyun-Sik Kim)

1994년 부산대학교 전기공학과 졸업(공학사)

1996년 부산대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사)

2001년 부산대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박사)

1998년~2007년 국방과학연구소 연구원

2007년~현재 동명대학교 로봇시스템공학과 교수

※ 관심분야 : 인공지능, 로봇틱스, 해양로봇