

다중 무인기의 임무 할당을 위한 수정된 합의 기반 경매 알고리즘

김민걸 · 신석훈 · 이은복 · 지승도*

Modified Consensus Based Auction Algorithm for Task Allocation of Multiple Unmanned Aerial Vehicle

Min-geol Kim · Suk-hoon Shin · Eun-bog Lee · Sung-do Chi*

ABSTRACT

In order to operate multiple UAVs for multiple tasks efficiently, we need a task allocation algorithm with minimum cost, i.e., total moving distance required to accomplish the whole mission. In this paper, we have proposed the MCBAA (Modified Consensus Based Auction Algorithm) which can be suitably applied to the operation of multiple UAVs. The key idea of proposed algorithm is to minimize sum of distance from current location of agents to location of tasks based on the conventional CBAA. Several simulation test performed on three UAV agents with multiple tasks demonstrates the overall efficiency both in time and total distance.

Key words : Task Allocation, Consensus Based Auction Algorithm, CBAA

요약

다수의 임무를 다중의 무인기로 효과적으로 수행하기 위해서는 전체 임무를 수행하는데 필요한 총 이동거리를 최소화하는 알고리즘이 필요하다. 본 논문에서는 다수의 무인기 운용에 적합하게 적용할 수 있는 수정된 합의 기반 경매 알고리즘 (Modified Consensus Based Auction Algorithm)을 제안한다. 제안하는 알고리즘의 핵심 아이디어는 기존의 합의 기반 경매 알고리즘을 기초로 하여 에이전트들의 위치와 임무까지의 거리의 합을 최소화하는 것이다. 3개의 UAV 에이전트로 다수의 임무를 수행하는 시물레이션을 진행하였고 전체 임무 완수 시간과 전체 이동 거리 측면에서 효율적임을 보였다.

주요어 : 임무 할당, 합의 기반 경매 알고리즘, CBAA

1. 서론

무인기(Unmanned Aerial Vehicle : UAV)는 사람이 타고 있지 않고 원격 혹은 자동으로 비행하는 물체를 말한다. 무인기는 기동력이 좋고 관측 범위가 넓어 재난 감시, 인명 구조, 물류 운반, 농약 살포 같은 민간 용도는 물론 정찰 및 감시, 공격 임무 수행 같은 군사적 목적으로 다양하게 쓰이고 있다(Goodrich, 2008, Grocholsky, Ben, 2006, Zhou, Gouqing, 2005). 기존의 무인기는 단독으로

운용되고 지상에 기체를 운용하는 원격 조종사가 있어야 한다. 하지만 최근 무인기에 탑재 가능한 다양한 고성능의 센서들이 개발되었고 이러한 센서들로부터 받은 정보를 활용하여 협업과 임무 할당, 최적 비행경로 계획, 장애물 회피 등 자율적으로 임무 수행이 가능한 무인기를 개발하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다.

특히 최근 컴퓨팅 파워가 증가하고 인공지능 분야의 발달로 인해 다중 에이전트를 통하여 이러한 문제를 해결하려는 방법이 각광받고 있다. 협업에 관한 연구는 1990년 후반부터 활발하게 이루어지고 있으며 다수 개체의 협업 임무 수행 연구는 다양한 분야에서 적용 범위를 넓혀가고 있는 실정이다(Murray, Richard M., 2007).

다수의 무인기를 효율적으로 사용하기 위해서는 각각의 무인기가 수행해야 하는 임무를 할당하고 임무를 수행하기 위해 움직여야 하는 경로를 최적화해야 하는 문제가

Received: 22 November 2014, **Revised:** 11 December 2014,
Accepted: 22 December 2014

*Corresponding Author: Sung-do Chi
E-mail: sdchi@kau.ac.kr
Korea Aerospace University

생긴다. 이러한 문제를 해결하기 위해 크게 중앙 제어 방식의 외판원 문제(Traveling Salesman Problem) (Dorigo, Marco, 1997)와 분산 제어 방식의 합의 기반 경매 알고리즘(Consensus Based Auction Algorithm : CBAA) (Luc Brunet, 2008, Choi, Han-Lim, 2009)을 통해 문제를 해결하려는 연구가 진행되고 있다. 본 연구에서는 합의 기반 경매 알고리즘을 수정하여 임무 할당 시 비용을 부분 최적화 하는 연구를 수행하였다.

2. 관련 연구

분산 제어 방식은 최적의 해를 보장하지는 못하지만 실시간 연산이 가능할 정도로 계산복잡도가 낮고 무인기끼리 정보를 공유하며 임무를 수행할 수 있고 일부가 고장이 나도 나머지 일부가 임무를 수행하여 전체가 실패하지 않는다는 장점이 있다.(Moon Sang-woo, 2012)

합의 기반 경매 알고리즘(Consensus Based Auction Algorithm:CBAA)(Luc Brunet, 2008, Choi Han-Lim, 2009)은 분산 제어 방식의 임무 할당을 위한 가장 일반적인 모델 중에 하나이다. 합의 기반 경매 알고리즘은 Fig. 1의 (a)와 같이 두 단계로 구성되는데 첫째는 경매(Auction) 과정, 두 번째는 합의(Consensus) 과정으로 이루어진다.

먼저, 각 무인기는 임무를 할당 받아야 하거나 임무를 끝낸 상황에서 합의 기반 경매 알고리즘이 작동하게 된다. 경매 과정에서는 해당 에이전트의 가장 효율(Cost)이 좋은 임무를 선택하게 된다. 합의 과정에서는 선택한 임무를 다른 에이전트에게 전송하고 다른 에이전트들로부터 임무를 수신한다. 그리고 각각의 에이전트들이 선택한 임무의 종류가 다를 경우 해당 임무는 해당 에이전트들에게 할당된다. 선택한 임무의 종류가 같다면 효율을 비교하여 효율이 더 좋은 임무가 해당 에이전트에게 할당된다. 그리고 경합에서 떨어진 에이전트는 다시 경매 과정과 합의 과정을 통해 임무를 할당하게 된다. 임무가 할당되지 않은 에이전트가 존재하지 않을 때 까지 위의 과정을 반복하게 된다.

임무 할당 문제는 t 개의 임무와 u 개의 에이전트가 주어졌을 때 에이전트 간의 중복 없이 전체 비용을 최적화 하는 것이다. 하지만 기존의 합의기반 경매 알고리즘에서는 오로지 개별적인 최적 비용만을 고려하기 때문에 전체 비용을 고려할 경우 보다 효과적인 비용을 산출할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해 수정된 합의 기반 경매 알고리즘을 제안한다.

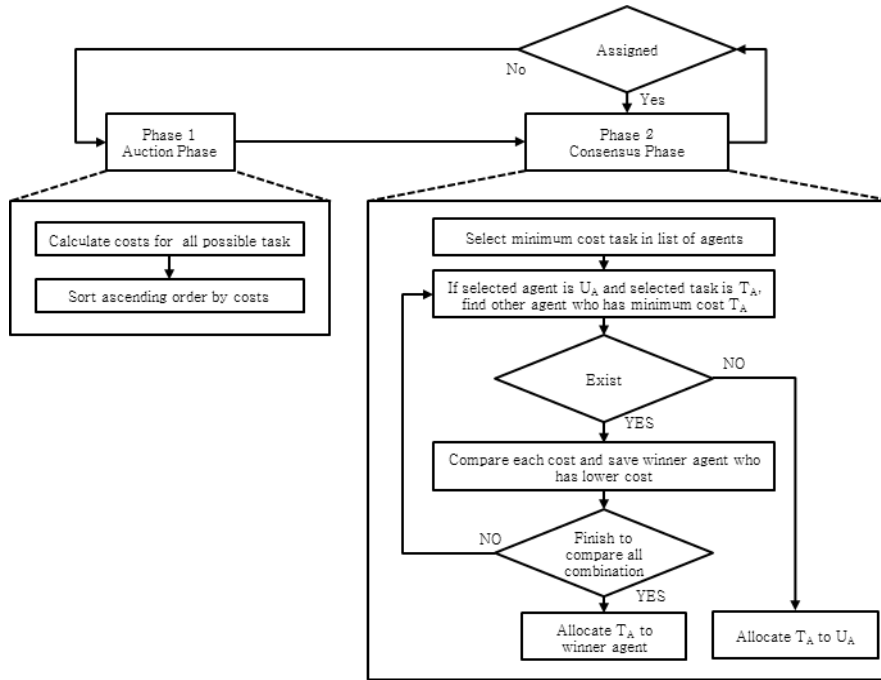
3. 수정된 합의 기반 경매 알고리즘

제안하는 수정된 합의 알고리즘의 순서도는 Fig. 1의 (b)와 같고 경매 과정까지는 기존의 알고리즘과 동일하게 진행된다. 합의 과정에서는 에이전트들의 리스트를 검색하여 가장 낮은 비용을 가진 임무를 찾는다. 이때 선택된 임무가 T_A 이라 가정하고 그 값을 가진 에이전트를 U_A 라고 가정하자. 그렇다면 다른 에이전트들의 리스트의 최우선순위에 해당 임무 T_A 가 있는지 찾는다. 이때, 리스트의 최우선순위에 해당 임무 T_A 를 가지고 있는 다른 에이전트 U_B 가 있다면 차우선순위의 임무의 종류가 같은지 확인한다. 차우선순위의 임무의 종류가 T_B 로 같다면 에이전트 U_A 의 임무 T_A 에 대한 비용과 에이전트 U_B 의 임무 T_B 의 비용의 합이 에이전트 U_A 의 임무 T_B 의 비용과 에이전트 U_B 의 임무 T_A 의 비용의 합보다 크다면 임무 T_A 은 에이전트 U_B 에게 할당하고 임무 T_B 는 에이전트 U_A 에게 할당한다. 합이 작다면 에이전트 U_A 에 임무 T_A 만 할당하게 된다. 할당할 임무가 남아있지 않거나 임무를 할당 받지 않은 에이전트가 없을 때 까지 위 과정을 반복한다.

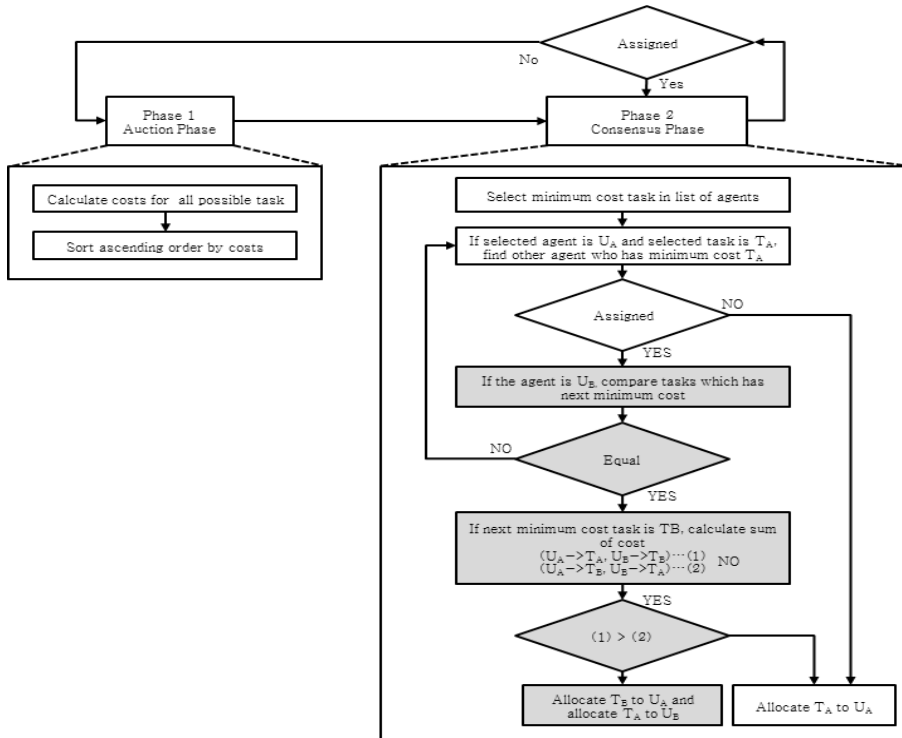
Fig. 2과 Table 1을 보자. Fig. 2은 무인기가 각각의 임무까지의 비용(거리)을 그림으로 나타낸 것이고, Table 1은 이를 표로 정리한 것이다. 색깔이 가장 옅은 것이 첫 번째, 중간이 두 번째, 가장 진한 것이 세 번째 경매 과정이다. 첫 번째 경매 과정을 통해 무인기 U_A 가 임무 T_A 를 선택하게 되고, 두 번째 경매 과정을 통해 무인기 U_C 가 임무 T_B 를 선택하게 되고 마지막 무인기 U_B 가 임무 T_C 를 선택하게 된다. 이때 총 비용의 합은 $10 + 10 + 22 = 42$ 가 된다. 하지만 두 번째 단계에서 무인기 U_C 가 임무 T_C 를 선택하고, 무인기 U_B 가 임무 T_B 를 선택하게 되면 총 비용의 합은 $10 + 15 + 16 = 41$ 이 되어 기존의 경매 알고리즘 보다 효율적임을 알 수 있다.

4. 사례연구

본 논문에서 제안한 수정된 합의 기반 경매 알고리즘의 효율성을 검증하기 위해 DEVS를 이용하여 모델링&시뮬레이션을 진행하였다(Zeigler, 1990, Zeigler, 2000). 시뮬레이션의 시나리오는 3개의 무인기 에이전트가 기존 합의 기반 경매 알고리즘과 수정된 합의 기반 경매 알고리즘을 탑재하고 임의의 위치에 생성된 12개의 임무를 모두 수행하는 것이다. 임의의 임무 생성 범위는 0에서 500



(a) Flow Chart of Consensus Based Auction Algorithm(Luc Brunet, 2008, Choi, Han-Lim, 2009)



(b) Flow Chart of Modified Consensus Based Auction Algorithm

Fig. 1. Conventional Approach vs. Proposed Approach

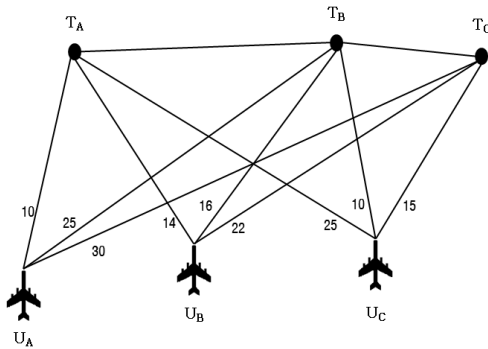


Fig. 2. Example of Applying Modified Consensus Based Auction Algorithm

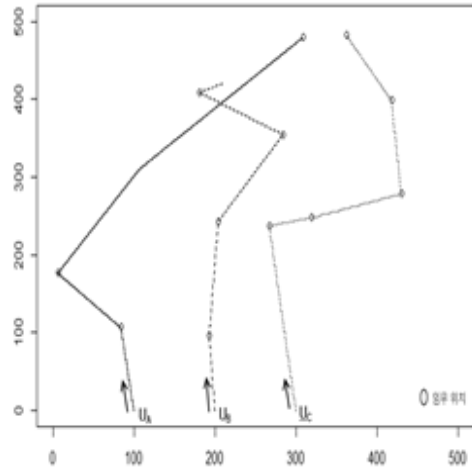
Table 1. Selectable Task Type and Cost of UAV in Fig. 3

Priority	UAV U_A		UAV U_B		UAV U_C	
	Task Type	Cost (Dist)	Task Type	Cost (Dist)	Task Type	Cost (Dist)
1	T_A	10	T_A	14	T_B	10
2	T_B	25	T_B	16	T_C	15
3	T_C	30	T_C	22	T_A	25

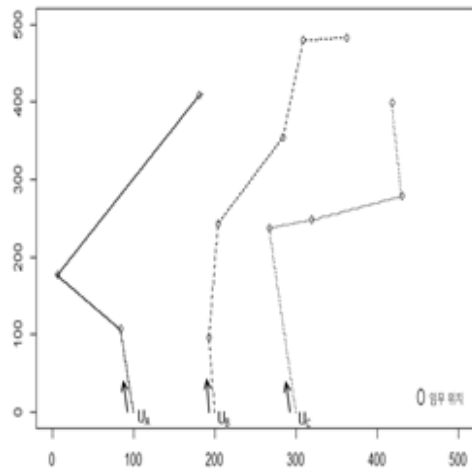
사이의 임의의 좌표를 선택하게 하였고 무인기 에이전트의 이동속도는 초당 1, 임무 수행 시간은 3초로 설정하였고 총 20번의 시뮬레이션을 진행하였다. 이때 무인기 에이전트의 임무 수행 시간과 총 이동거리를 측정하여 기존 합의 기반 경매 알고리즘과 수정된 합의 기반 경매 알고리즘의 효율성을 비교하였다.

Fig. 3는 기존의 합의 기반 경매 알고리즘을 적용한 시뮬레이션과 수정된 합의 기반 경매 알고리즘을 적용한 시뮬레이션 결과를 확인하기 위해 이동경로를 표시한 것이다. 두 그림을 비교하면 (100,0)에서 출발하는 무인기 U_A 와 (200,0)에서 출발하는 무인기 U_B 가 있고, 무인기 U_A 가 두 번째 임무를 마치고 세 번째 임무로 향해 갈 때 기존의 알고리즘에서는 가는 도중에 목표를 바꿔나가는 모습이 보이지만, 수정된 알고리즘에서는 무인기 U_A 가 도중에 경로를 바꾸지 않고 그대로 세 번째 임무 수행을 위해 이동하는 모습을 볼 수 있다.

위의 조건을 바탕으로 하여 진행한 20번의 시뮬레이션 중에 전체 임무 시간 완료를 기준으로는 기존 방식보다 결과가 좋지 않은 것이 2건, 동일한 것이 8건, 좋은 것이 10건 있었으며, 전체 에이전트의 이동거리 측면에서 보았을 때 좋지 않은 것이 5건, 동일한 것이 4건, 좋은 것이



(a) Consensus Based Auction Algorithm



(b) Modified Consensus Based Auction Algorithm

Fig. 3. Tracing Movement of Agents

11건 있었다. 이를 통해 두 개의 에이전트가 비슷한 위치에 있는 임무 위치로 이동하고 있고 경로가 교차하는 상황이 많은 경우 기존 알고리즘 보다 전체적으로 향상된 결과를 얻을 수 있었다. 전체 임무완료 시간은 평균 2.5% 단축되었으며, 전체 에이전트 이동량을 평균 2.3% 감소시킬 수 있었다. 자세한 실험결과는 Table 2에 나타나 있다.

5. 결론

본 논문에서는 복수 무인기의 임무 할당을 위한 수정된 합의 기반 경매 알고리즘을 제안하였고, 위의 시뮬레이션을 통해 특정 조건에서 전체 임무 완료 시간과 전체

Table 2. Simulation Result

(a) All Tasks' Fulfill Time and Reduced Time

Num	All Tasks' Fulfill Time		Reduced Time
	CBBA	MCBBA	
1	547.5	538.4	9.1
2	597.2	597.2	0
3	522.2	522.2	0
4	648.4	601.2	47.2
5	796.8	796.8	0
6	707.3	708.6	-1.3
7	611.6	611.6	0
8	618.5	618.5	0
9	671	645.3	25.7
10	639.8	639.8	0
11	774.5	774.5	0
12	644.2	561.9	82.3
13	640.1	640.1	0
14	668.8	626.2	42.6
15	729.2	706.4	22.8
16	565.8	586.5	-20.7
17	598.8	589.5	9.3
18	557.9	555.8	2.1
19	524.9	520.4	4.5
20	750	650.1	99.9

(b) Sum of All Movement of Agents and Reduced Distance

Num	Sum of All Movement of Agents		Reduced Distance
	CBBA	MCBBA	
1	1585.5	1559	26.5
2	1699	1663.4	35.6
3	1504.5	1485.1	19.4
4	1707.6	1744.8	-37.2
5	1901	1901	0
6	1996.6	1997.9	-1.3
7	1631.2	1631.2	0
8	1780	1792.4	-12.4
9	1888.3	1814.8	73.5
10	1736.7	1739	-2.3
11	1818.2	1818.2	0
12	1803.4	1599.8	203.6
13	1460.7	1460.7	0
14	1859	1846.4	12.6
15	1960.2	1633.8	326.4
16	1653.5	1569.5	84
17	1760.4	1739.1	21.3
18	1557.2	1555.1	2.1
19	1457	1527.2	-70.2
20	1981.3	1832.1	149.2

에이전트의 이동거리를 단축 할 수 있었다. 이를 실제 무인기의 임무 할당에 적용한다면 좀 더 효율적인 임무 할당 결과를 얻을 수 있을 것이라 기대된다. 향후 과제로서 보다 향상된 효율을 가지는 알고리즘의 연구와 동적으로 임무가 생성되는 환경에서 적용할 수 있는 알고리즘의 연구가 필요할 것이다.

감사의 글

이 논문은 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(과제번호 : 2013R1A1A2011177) 및 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 ICT융합고급인력과정지원사업(NIPA-2014-H0401-14-1021)의 연구결과로 수행되었음.

References

1. Choi, Han-Lim, Luc Brunet, and Jonathan P. How. "Consensus-based decentralized auctions for robust task allocation." *Robotics, IEEE Transactions on* 25.4 (2009): 912-926.
2. Dorigo, Marco, and Luca Maria Gambardella. "Ant colony system: a cooperative learning approach to the traveling salesman problem." *Evolutionary Computation, IEEE Transactions on* 1.1 (1997): 53-66.
3. Goodrich, Michael A., et al. "Supporting wilderness search and rescue using a camera-equipped mini UAV." *Journal of Field Robotics* 25.1-2 (2008): 89-110.
4. Grocholsky, Ben, et al. "Cooperative air and ground surveillance." *Robotics & Automation Magazine, IEEE* 13.3 (2006): 16-25.
5. Luc Brunet, Han-Lim Choi, and Jonathan P. How. "Consensus-based auction approaches for decentralized task assignment." *AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference, Honolulu, Hawaii*. 2008.
6. Moon Sang-woo, Oh Eun-mi, and Shim Hyun-chul. "Implementation of an Automatic Flight System and Experimental Validation using an Integrated Task Assignment and Path Planning Framework for Multiple UAVs." *The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences Spring Conference* (2012): 687-692.
7. Murray, Richard M. "Recent research in cooperative control of multivehicle systems." *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control* 129.5 (2007): 571-583.
8. Zeigler, Bernard P., Herbert Praehofer, and Tag Gon Kim. *Theory of modeling and simulation: integrating discrete event*

and continuous complex dynamic systems. Academic press, 2000.

9. Zeigler, Bernard. "Object-oriented simulation with hierarchical, modular models." (1990).
10. Zhou, Gouqing, Chaokui Li, and Penggen Cheng. "Unmanned

aerial vehicle (UAV) real-time video registration for forest fire monitoring." Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2005. IGARSS'05. Proceedings. 2005 IEEE International. Vol. 3. IEEE, 2005.



김민걸 (devilmason@naver.com)

2010 한국항공대학교 항공전자 및 정보통신공학부 학사
2013~현재 한국항공대학교 컴퓨터공학과 석사

관심분야 : 지능 시스템, 시뮬레이션 모델링,



신석훈 (ev4shin@kau.ac.kr)

2009 한국항공대학교 항공전자 및 정보통신공학부 학사
2011 한국항공대학교 컴퓨터공학과 석사
2011~현재 한국항공대학교 컴퓨터공학과 박사과정

관심분야 : 지능 시스템, 자율에이전트, ABMS, 시뮬레이션 모델링



이은복 (danaleebb@gmail.com)

2008 한국항공대학교 항공전자 및 정보통신공학부 학사
2010 한국항공대학교 컴퓨터공학과 석사
2010~현재 한국항공대학교 컴퓨터공학과 박사과정

관심분야 : 다중에이전트 시스템 디자인, 소프트웨어 설계, 피난 시뮬레이션



지승도 (sdchi@kau.ac.kr)

1982 연세대학교 전기공학과 학사
1984 연세대학교 전기공학과 석사
1985~1986 두산 컴퓨터(현 한국 디지털) 근무
1991 미국 아리조나대학교 전기전산공학과 박사
1992~현재 한국항공대학교 항공전자 및 정보통신공학부 교수

관심분야 : DEVS M&S, 컴퓨터 보안, 지능시스템 디자인 방법론, 시뮬레이션 기반 인공생명, 교통 모델링