

차량 통신 시스템 기반 UAV 라우팅 알고리즘

김 룰¹ · 주양익[†]

(Received July 5, 2016 ; Revised September 2, 2016 ; Accepted September 2, 2016)

Unmanned aerial vehicle routing algorithm using vehicular communication systems

Ryul Kim¹ · Yang-Ick Joo[†]

요약: IT 기술의 발전과 각종 관련 규제가 해결되어 드론으로 불리는 무인비행체(Unmanned Aerial Vehicle; UAV)에 대한 수요가 증가하고 있다. 하지만, 현재까지 개발된 UAV는 무선조종 혹은 영상인식 기반의 자율비행에 의해 비행경로가 설정되므로, 안전사고에 대한 대책이 없다면 UAV에 대한 수요 증가는 UAV 간 혹은 UAV와 주변 사물 간의 충돌을 야기할 것이다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해서 차량 통신 시스템을 활용한 UAV 비행경로 설정 방안을 제안한다. 제안된 방식에서는 차량 통신 시스템 인프라를 이용하여 UAV의 충돌을 방지하고 효율적인 비행이 가능하도록 하였으며, 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 제안된 방식의 효율성을 검증하였다. 그리고 제안된 방식은 차량 통신 규격을 준수하면서 약간의 오버헤드만 추가되어, 상용 차량 통신 시스템에 적용이 용이하도록 설계하였다.

주제어: 무인비행체, 드론, 차량 통신, 충돌 방지

Abstract: The prosperity of IT technologies and the removal of restrictions regarding Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), also known as drones, have driven growth in their popularity. However, without a proper solution to the problem of accident avoidance for UAVs, this popularity increases the potential for collisions between UAVs and between UAV and terrain features. These collisions can occur because UAVs to date have flown using radio control or image recognition based autonomous navigation. Therefore, we propose efficient UAV routing schemes to tackle the collision problem using vehicular communication systems. Performance evaluation by computer simulation shows that the proposed methods effectively reduce the collision probability and improve the routing efficiency of the UAV. Furthermore, the proposed algorithms are compatible and can be directly applied with small overhead to the commercial vehicular communication system implementation.

Keyword: Unmanned aerial vehicle (UAV), Drone, Vehicular Ad hoc Network (VANET), Collision prevention

1. 서론

최근 무인비행체(Unmanned Aerial Vehicle; UAV)에 대한 관심이 눈에 띄게 늘고 있다. 그 이유는 전자 산업의 발전에 따라 다양한 센서들의 개발, 높은 정밀도 향상, 배터리의 용량 확대, 통신 기술의 발전 등에 힘입어 UAV의 성능이 나날이 향상되고, 주로 군사용을 목적으로 개발되던 UAV가 이제는 산불감시, 물품배송, 레저 등 다양한 분야에서 발전되고 있기 때문이다. 이에 따라 UAV의 수요가 급격히 증가하고 있으며[1], 이는 UAV 상호 간 또는 주변 구조물과의 충돌을 야기할 수 있다. 뿐만 아니라 상공에서 충돌 이후 추락하는 물체에 의해 지상에 있는 인명, 구조물들이 2차 피해를 입을 수 있다. 이러한 위험요소에 대비하여 UAV의 충돌방지 방안이 필수적이다. 하지만, 현재 우리나라 항공법은 UAV 사고에 대한 규제가 매우 부족하며, 단

지 ‘야간비행금지’, ‘인파가 많은 곳에서의 비행금지’만 다루고 있다[2]. 게다가 최근에는 관련 산업 육성을 위해 규제가 완화되는 추세이므로 UAV 충돌방지 방안 및 비행경로 설정 방안이 필요하다. 따라서, 해당 위험요소를 방지하기 위하여 본 논문에서는 WAVE (Wireless Access in Vehicular Environment)[3]-[7] 등의 표준으로 표현되는 차량 통신 시스템(Vehicular Ad hoc Network; VANET)을 이용하여 비행 시 장애물이 거의 존재하지 않는 도로상공으로 UAV의 비행을 유도하고, 이를 통해 UAV 간, 그리고 UAV와 주변 지형지물과의 충돌을 방지하며 효율적인 비행경로를 설정할 수 있는 방안을 제안한다.

현재까지 UAV 비행경로 설정 방법에 대한 다양한 연구가 진행되었으며, 이러한 경로 설정 방안들은 제한된 영역 내에서 무선조종을 통해 경로를 제어하거나, GPS를 통해

[†] Corresponding Author (ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3125-5316>): Division of Electrical and Electronics Engineering, Korea Maritime and Ocean University, 727, Taejong-ro, Yeongdo-gu, Busan 49112, Korea, E-mail: yijoo@kmou.ac.kr, Tel: 051-410-4419

¹ Division of Electrical and Electronics Engineering, Korea Maritime and Ocean University, E-mail: kimruel@naver.com, Tel: 051-410-5080

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.

최종 목적지까지의 경로를 비행하며 영상인식 기반의 UAV 자체 성능에 의존하여 비행 중 발생 가능한 충돌을 회피하는 한계가 있다. 향후 택배용 UAV 산업뿐만 아니라 미래의 새로운 교통산업으로 각광받는 개인용 항공기(Personal Air Vehicle; PAV) 산업[8]이 상용화가 되려면 광범위한 영역에서 충돌에 대한 안전을 보장할 수 있는 UAV 라우팅(routing) 기술이 필수적이다.

따라서 본 논문에서는 차량 통신 시스템의 인프라(infrastructure)를 활용하여 보다 실현가능하고 효율적인 UAV 라우팅 알고리즘을 제안한다. 차량 통신 시스템은 차량에 설치된 차량 통신용 단말기(On Board Unit; OBU)와 도로 주변에 기지국 역할을 수행할 노변기지국(Road-Side Unit; RSU)으로 구성됨에 따라 차량과 차량, 차량과 RSU 간의 정보교환을 가능하게 하여 교통 장애요소 정보 및 주변 정보를 얻을 수 있게 한다[3]. 현재 차량 통신 시스템은 상용화를 위해 전 세계적으로 시험망 테스트가 진행 중에 있어[9], 향후 도로망 전역에 배치될 것으로 예상된다. 따라서, 본 논문에서는 차량 통신 인프라를 이용하여 별도의 추가 인프라 구축 없이 UAV 간 충돌을 방지할 수 있는 방안을 제안하고자 하며, 더불어 UAV와 RSU간의 실시간 통신을 이용하여 UAV의 경로 탐색 및 이동 효율성을 개선하고자 한다. 제안된 방안의 본 논문에서의 기술은 설명의 편의를 위해 WAVE 기반의 차량 통신 시스템으로 국한되었지만, 기타 차량 통신 표준이나 상용화 측면에서 전 세계적인 광역망을 갖추고 최근 차량 통신에 대한 지원 방안에 대한 표준화가 진행되고 있는 [10] LTE 망을 통해서도 적용이 가능하다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 UAV 비행 경로 설정 및 충돌방지를 지원하기 위해 이용되는 차량 통신 시스템의 표준 규격과 해당 규격에 대한 제안하는 알고리즘의 적용 방안을 설명하며, 3장에서는 본 논문에서 제안한 차량 통신 인프라를 이용한 UAV 충돌 방지 및 라우팅 방안에 대해 기술한다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 성능 평가 결과를 4장에서 분석하고, 끝으로 5장에서 결론을 맺는다.

2. 시스템 환경

차량 통신 시스템의 RSU는 일정 간격을 두고 도로변에 존재하며, RSU는 차량 통신 표준에 따라 통신에 필요한 접속 제어 정보와 인근 RSU 정보 등을 주기적으로 방송(broadcast)하고, 필요에 따라 특정 OBU가 설치된 차량에게 필요한 정보를 전송하고 수신할 수 있다. 제안한 방식에서는 기존 차량 통신 표준을 준수하면서 UAV 비행 경로 설정 방안을 제시하므로, 기존 차량 통신 시스템과 동일하게 RSU의 방송 정보를 UAV가 수신하고 경우에 따라 UAV와 RSU가 일대일 통신이 가능함을 가정한다. 물론 일대일 통신을 위한 패킷 포맷(format)은 차량 통신 규격을 준수한다. 그리고 일반적인 차량 통신 시스템과 셀룰러 시스템과 같이 인근 RSU 간에는 정보를 공유하고, 해당 RSU 영역 내

접속 중인 OBU를 관리하고 공유하듯이, 비행 중인 UAV의 정보도 함께 공유할 수 있어야 한다. UAV의 정보로는 UAV 고유 식별 ID, 해당 UAV의 비행 관련 정보(비행 고도, 방향 등) 등을 포함한다.

그리고 제안하는 알고리즘은 도로를 따라 배치된 RSU를 이용하여 장애물이 거의 존재하지 않는 도로 상공을 비행 경로로 활용하므로, UAV는 차량 항법 장치(GPS 혹은 내비게이션)를 내재하여 비행경로를 탐색함을 가정한다. 차량 항법 장치는 향후 차량 통신 시스템의 도입에 따라 RSU와 연동될 것으로 기대되고, 따라서 차량 항법 장치를 통한 경로 탐색 시 경로 상에 존재하는 RSU 정보를 획득할 수 있다. 그리고 제안된 방식을 통해 비행하는 UAV는 UAV 간 충돌 및 주변 지형지물과의 충돌을 회피할 수 있지만, 예상되지 못한 돌발적으로 발생한 장애물은 UAV 자체의 회피 시스템 및 영상 인식 시스템을 활용하여 회피 비행이 가능하여야 한다[11][12].

3. 차량 통신 기반 UAV 비행 경로 유도 알고리즘

본 논문에서 제안하는 차량 통신 시스템 연동 UAV 비행 알고리즘은 UAV 비행 경로를 설정함에 있어 주변 지형지물과 UAV의 충돌을 최소화하기 위해 도로 주변 상공을 비행 경로로 설정하며, 이를 위해 도로변에 설치된 RSU를 경로 설정의 기준으로 활용한다. 제안된 방식은 UAV와 RSU의 통신방법과 역할비중에 따라 2가지 알고리즘으로 분류할 수 있다. 첫 번째 알고리즘은 UAV에 차량 항법 장치를 장착하고 최초의 경로탐색부터 목적지까지의 이동 전반을 해당 UAV가 직접 제어하여 RSU는 기존의 차량 통신 기지국 역할만 수행하고 UAV 라우팅을 위한 부가적인 오버헤드(overhead)가 없는 것이 특징이다. 이 방식에서 UAV는 인접 RSU의 방송 정보를 이용하여 경로의 선택과 비행의 전 과정을 직접 처리한다. 두 번째 알고리즘은 첫 번째와 동일한 방식으로 UAV에 차량 항법 장치를 장착하여 최초의 경로탐색부터 목적지까지의 이동 전반을 자신이 직접 제어하지만, 차이점은 세부적인 비행경로의 설정을 위해 UAV와 RSU간에 직접 메시지 교환이 일어나는 것이다. 이는 첫번째 방식에 비해 오버헤드가 발생하겠지만 비행정보에 대한 피드백과정이 추가되어 충돌방지를 위한 필요한 정보를 얻을 수 있다.

비행정보에 대한 메시지는 Figure 1과 같이 차량 통신 규격의 메시지 포맷(message format)을 따라 IEEE 1609.3에 제안된 근거리 전용통신(Dedicated short range communication)의 WSM (WAVE short message) 헤더의 확장 영역(Extension fields)에 포함될 수 있다. 차량 통신 규격에서는 WSM 헤더의 확장 영역에 시스템의 기본적인 구성 메시지 외 추가적인 정보를 할당할 수 있도록 정의가 되어있기 때문에 해당 영역을 이용하여 UAV의 비행관련 정보를 교환하는 것이 가능하다[13].

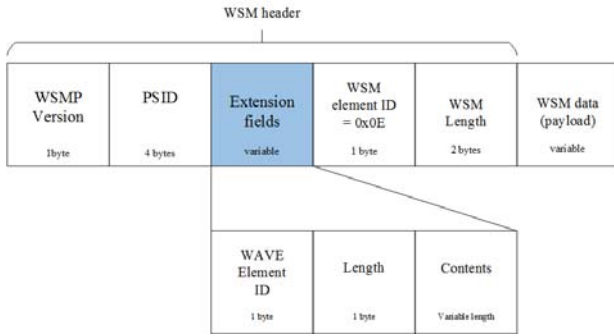


Figure 1: WAVE short message format

3.1 차량 통신 기반 UAV 라우팅 알고리즘 (RSU-Independent UAV Routing Algorithm, RI-URA)

본 논문에서 제안하는 첫 번째 UAV 라우팅 알고리즘인 RI-URA (RSU-Independent UAV Routing Algorithm) 방식은 UAV 비행경로 설정에 있어서 차량 통신 시스템 인프라를 활용하지만 기존 차량 통신을 위한 RSU에 대한 추가적인 장치나 오버헤드가 불필요하기 때문에(RSU-Independent), 현재 상태로 적용이 가능하며 그 동작 과정을 Figure 2에 나타내었다.

최초 사용자의 목적지 입력에 따라 UAV가 직접 차량 항법 장치를 이용하여 목적지 부근 RSU ID를 Dest RSU ID (Destination RSU Identity)로 획득하고, 현재 위치에서 인근의 RSU를 검출한 뒤, 해당 RSU로부터 목적지 주변 Dest RSU까지의 경로를 탐색한다. 탐색한 경로 상의 RSU List를 작성하여 진행순서를 설정하고 순서에 따라 Target RSU로의 이동을 시작한다. 다음 RSU에 접근하여 RSU 신호 검출 과정을 거친 뒤 검출된 RSU가 Dest RSU ID와 일치하는지를 판단하고 일치한다면 목적지에 도달하였으므로 알고리즘을 종료한다. 검출된 RSU가 Dest RSU ID와 일치하지 않는 경우, UAV는 해당 RSU의 방송 정보를 수신하여 해당 RSU의 인접 RSU 정보 및 거리 정보 등을 획득한다.

이 정보를 통해 이전 과정에서 작성되었던 RSU List 상의 경로보다 효율적인 경로가 확인된다면 효율적인 경로 상의 RSU를 Optimum RSU로 결정하고 이를 Target RSU로 설정하여 비행을 지속한다. Optimum RSU 결정을 위한 경로 최적화 과정은 RSU의 방송 메시지 수신을 통해 인접 RSU 정보를 획득하여 불필요한 우회 비행을 최소화하는 과정이다. Figure 3과 같이 UAV가 'RSU_1→RSU_2→RSU_3→RSU_4'의 순서로 경로 상의 RSU List를 작성했다고 가정할 때, RSU_2가 'RSU_2→RSU_4'간의 인접성 정보를 방송하면 해당 정보에 따라 UAV가 RSU_3을 경유하지 않도록 비행경로를 최적화하여 RSU List를 'RSU_1→RSU_2→RSU_4'와 같이 수정하여 진행할 수 있다.

하지만, RSU 방송 정보를 통해 보다 효율적인 경로가 탐색되지 않는다면 기존의 RSU List상의 다음 번 RSU를 Target RSU로 설정하고, 이전의 과정을 반복한다. 이 RI-URA 방식은 설치된 RSU를 통해 도로 주변 상공의 빈 공간을 이용하지만, 경로 상의 위험인자에 대한 판단은 오직 UAV에 의존해야 한다는 단점이 있다. 게다가 해당 방식은 인근 RSU 내 타 UAV의 비행정보(타 UAV의 진행방향, 고도 점유 여부 등)가 공유되지 못하기 때문에 2대 이상의 UAV가 동일한 고도를 비행할 경우 사고의 위험성은 여전히 존재한다. 하지만 RI-URA 방식에서 사용되는 RSU는 추가적인 장치나 오버헤드가 불필요하기 때문에, 기존 차량 통신 규격에 정의된 RSU에 대해 UAV 비행을 지원하기 위한 추가비용이 없는 장점이 있다.

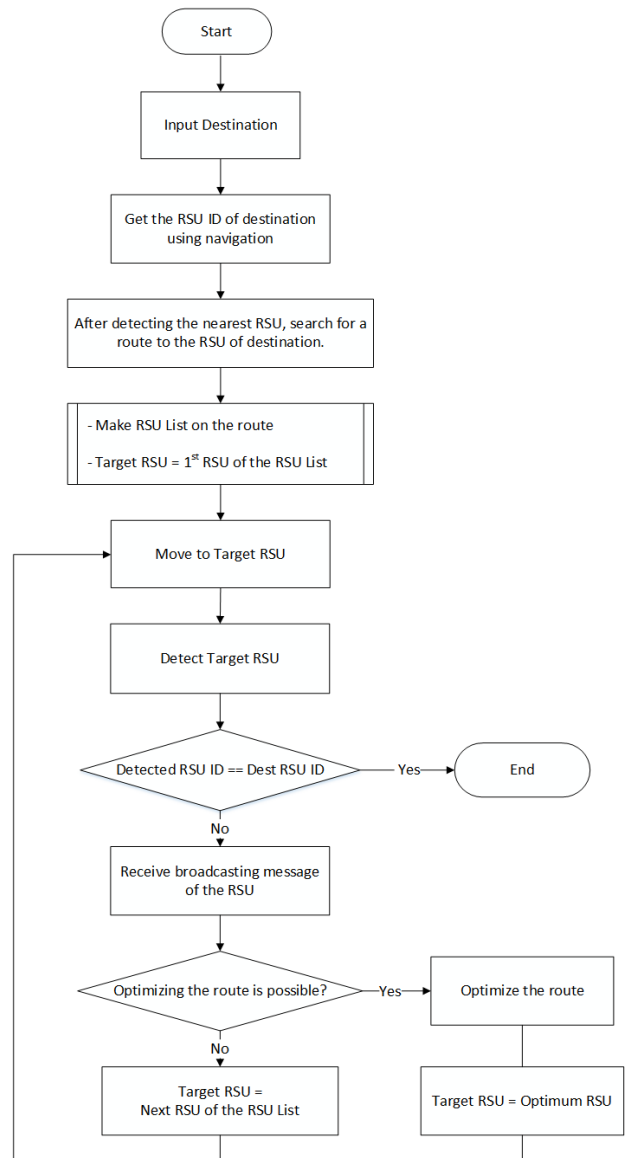


Figure 2: UAV algorithm of RI-URA

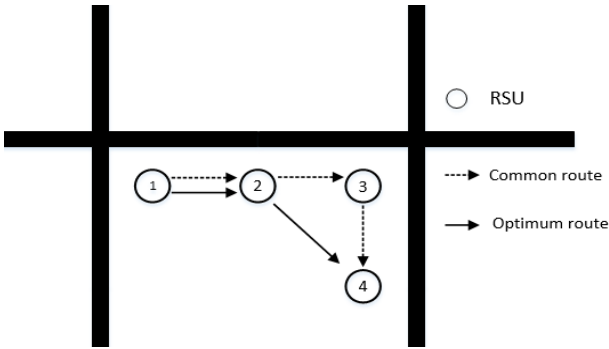


Figure 3: Example of the route optimization

3.2 차량 통신 연동 UAV 라우팅 알고리즘

(RSU-Assisted UAV Routing Algorithm, RA-URA)

Figure 4에 본 논문의 두 번째 제안된 알고리즘인 RA-URA (RSU-Assisted UAV Routing Algorithm)의 동작 과정을 UAV 측면에서 도시하였다. RA-URA 방식은 RI-URA와 유사하지만, UAV 간 충돌을 방지하기 위한 일대일 메시지 교환 과정이 추가되었다. 따라서, Figure 1과 같은 차량 통신 규격에 정의된 메시지 포맷을 이용하여 메시지 교환이 이루어지며, 이는 기존(legacy) 차량 통신 시스템에서는 RA-URA 방식을 위해 새롭게 정의된 WAVE Element ID를 해석할 수 없으므로 기존 시스템에 대한 영향은 전혀 없으며, RA-URA 방식을 지원하는 RSU만 해당 메시지에 대한 송수신이 가능하여, 기존 차량 통신 시스템과의 연동에는 문제가 없다.

먼저, 경로 상의 RSU List 작성과 첫 번째 Target RSU로의 이동까지는 RI-URA 방식과 동일한 방법으로 진행한다. Target RSU의 신호를 검출하고 검출한 RSU가 Dest RSU가 아닐 경우, 해당 RSU와 메시지를 서로 교환하여 비행 경로 설정과 함께 UAV 간 충돌 방지를 위한 비행관련 세부 정보를 획득한다. 비행정보 메시지는 비행정보요구 (Flight Information Request; FlightInfoReq) 메시지와 비행정보응답(Flight Information Response; FlightInfoResp) 메시지로 구분한다. RSU의 방송 메시지를 수신한 UAV는 RSU에게 자신의 고유 식별 정보와 목적지까지 경로 상의 RSU List 정보 등을 포함하는 FlightInfoReq 메시지를 송신하고 이 메시지를 수신한 RSU는 인근 RSU로부터 실시간으로 비행에 장애가 되는 요소(인근 RSU를 통과하는 UAV 정보, 지형지물 등)와 수집된 경로최적화 정보를 이용하여 최적의 Target RSU를 결정하고 해당 Target RSU까지 비행고도 및 속도 등의 정보가 포함된 FlightInfoResp 메시지를 송신한다. 이러한 정보를 바탕으로 UAV는 경로 최적화된 Target RSU까지 독립적인 비행공간을 확보하여 이동한다. Figure 5와 같이 FlightInfoResp 메시지를 전달한

RSU는 UAV 라우팅과정이 원활히 이루어졌는지의 판단과 원활하지 못했을 때의 사고를 미연에 방지하기 위해 인근 RSU와 Target RSU로 UAV의 이동정보를 공유한다. Target RSU로부터 UAV의 도착정보가 수신되면 해당 RSU는 비행경로관련 정보를 삭제하여 해당 UAV의 안전 비행을 위한 시공간자원을 해제하고, 만약 특정 시간이 지나도 도착정보가 수신되지 않으면 예상경로에서 UAV가 경로를 이탈한 것으로 간주하여 인근 RSU에 UAV의 경로이탈 정보를 제공하고 이를 통해 경로를 이탈한 UAV와 다른 UAV와 충돌이 발생하지 않도록 향후 비행자원할당 시 고려하며, 경로 이탈 UAV에 대한 세부 조치는항은 본 논문의 범위를 벗어나므로 생략한다.

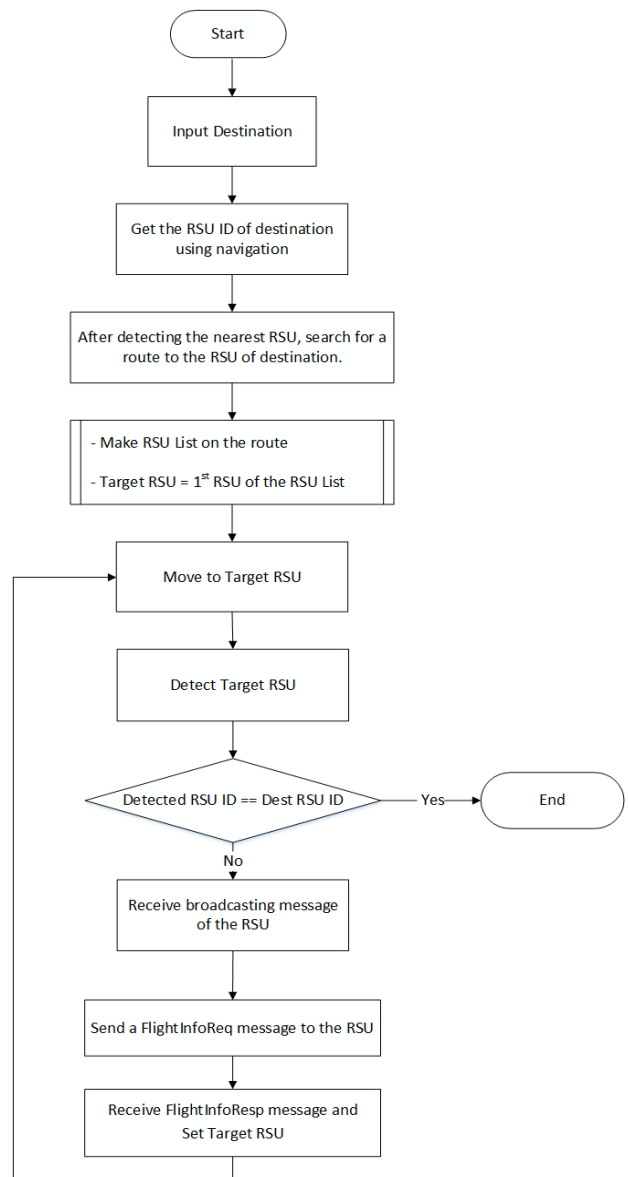


Figure 4: UAV algorithm of RA-URA

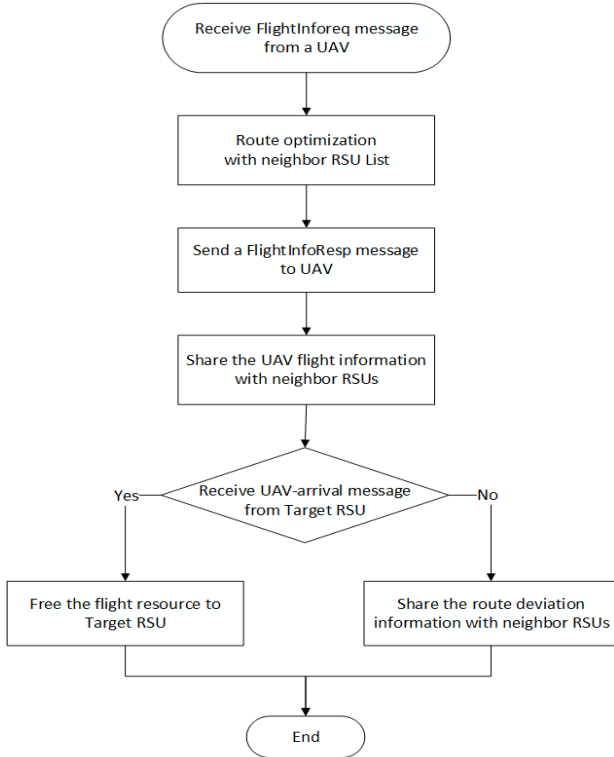


Figure 5: RSU algorithm of RA-URA

4. 성능 평가

본 절에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 제안한 알고리즘에 대한 성능을 비교 분석하였다. Figure 6과 같이 도심의 모습과 비슷하게 3차원 공간을 구상하여 지면의 가로와 세로의 길이를 각 100m로 가정하고, 건물의 높이는 임의의 값으로 설정하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 최대 허용 고도는 Figure 7과 같이 Amazon에서 정의한 [14] Localized Traffic 상황을 가정하여 60m로 제한하였다.

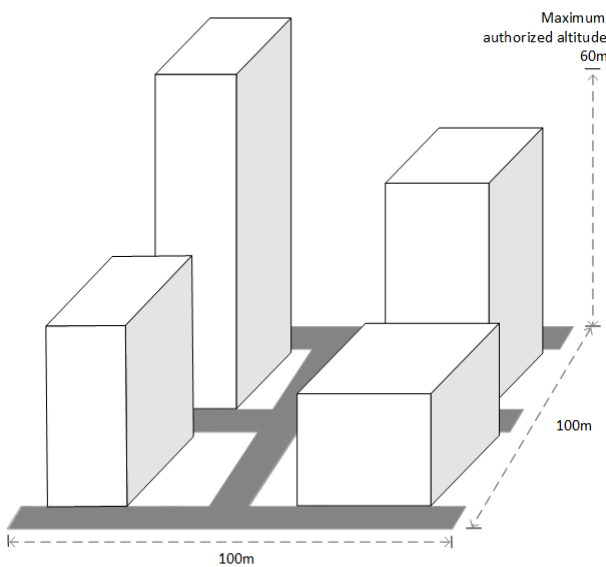


Figure 6: Simulation environment

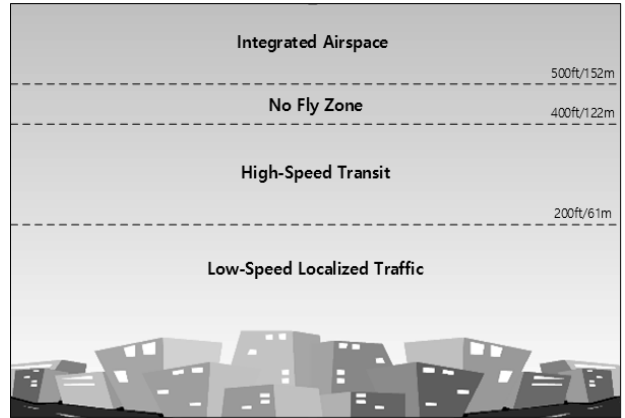


Figure 7: Airspace Design for Small Drone Operation [14]

가정된 환경에서 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하여 비행 중인 UAV 수에 따른 충돌 확률을 Figure 8에 나타내었다. 예상한 바와 같이 비행 중인 UAV 수의 증가에 따라 시뮬레이션 공간에 대한 UAV 밀도가 증가하므로 충돌 확률이 증가함을 확인할 수 있다. RA-URA 방식은 RSU와의 정보 교환을 통해 특정 UAV에게 독립된 비행공간을 할당하여 충돌 확률을 효과적으로 낮춤을 확인할 수 있다. 하지만, RI-URA 방식은 RSU에 의한 독립된 비행공간 할당이 불가능하고 단지 비행 시 장애물이 거의 존재하지 않는 도로 상공을 활용하므로 시뮬레이션 결과 영상인식을 통해 장애물 회피가 가능한 것으로 가정한 기존 UAV 비행 방안과 동일한 결과를 보였다. 하지만 기존의 영상인식 기반의 UAV 비행경로 설정 방안은 건물 및 주변 지형지물에 대한 인지 후 회피 동작에 대한 시간 및 전력 소모가 필요하므로 시간 지연 측면이나 UAV 에너지 효율성 측면에서 성능 저하가 예상된다. 따라서 주변 지형지물이 많은 도심 환경과 같은 경우, UAV 비행을 위해 RA-URA 혹은 RI-URA 방식을 적용하면 효과적으로 UAV 상호 간 충돌과 주변 장애물과의 충돌을 방지하게 되어 UAV의 사고 가능성을 대폭 낮출 수 있다.

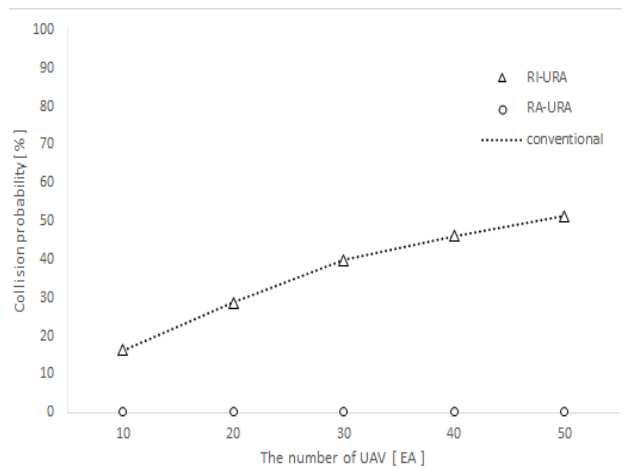


Figure 8: Collision probability with varying number of UAVs

Figure 9는 UAV 수를 50대로 고정하고, 각 제안하는 방식에서 최대 허용 고도의 값을 변수로 시뮬레이션을 진행해 보았다. 최대 허용 고도의 증가에 따라 단위 부피당 UAV 수가 줄어들기 때문에 모든 상황에서 충돌확률은 감소함을 알 수 있다. 그렇지만, RSU의 통신 가용 거리가 제한되고 비행 규제에 의해 최대 허용 고도는 제한될 것이다. 또한 인접 고도 간 안전성을 위하여 각 고도 간에도 차선 폭과 같은 보호구간(guard space)을 할당하면 가용 고도는 더욱 좁아질 것이다. Figure 9의 결과 역시, Figure 8과 동일하게 RA-URA 방식은 RSU와의 정보 교환을 통해 특정 UAV에게 독립된 비행공간을 할당하여 충돌 확률을 효과적으로 낮출 수 있고, RI-URA 방식은 RSU에 의한 독립된 비행공간 할당이 불가능하고 단지 비행 시 장애물이 거의 존재하지 않는 도로상공을 활용하므로 시뮬레이션 결과 영상 인식을 통해 장애물 회피가 가능한 것으로 가정된 기존 UAV 비행 방안과 동일한 결과를 보였다.

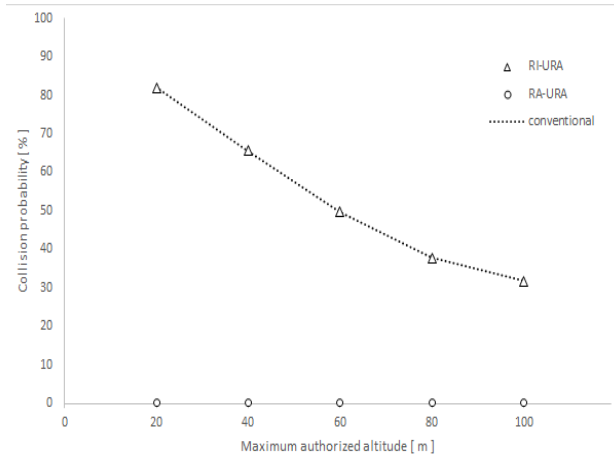


Figure 9: Collision probability with varying limit of maximum authorized altitude

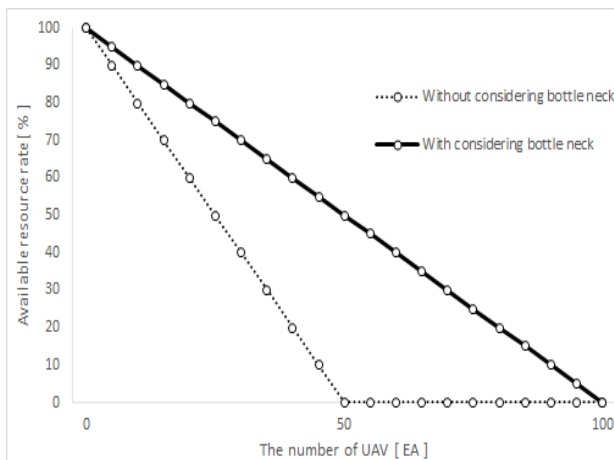


Figure 10: Available flight resource rate with varying number of UAVs in the RA-URA method

Figure 10은 UAV 라우팅 과정에서 경로 최적화 유무에 따른 가용한 비행공간 자원의 비율(available flight resource rate)

을 나타낸다. 경로 최적화를 통해 비행 시간을 단축할 수 있지만, 최적화된 특정 경로로만 비행을 유도하게 되면 병목현상으로 인해 비행 시 대기시간이 발생할 수 있다. 따라서 비행공간의 가용자원을 고려하여 비행경로가 분산되도록 하여야 전체적인 비행 시간을 단축시킬 수 있을 것이다.

5. 결론

본 논문에서는 UAV 수요 증가에 따라 예상되는 사고의 위험성에 대하여 차량 통신 시스템을 기반으로 위험을 최소화하는 방안과 이를 통한 UAV 라우팅 알고리즘을 제안하였고, 시뮬레이션을 통해 제안된 방식에 대한 성능을 검증하였다. 성능 분석 결과, 기존의 UAV 비행 방식이 영상인식을 통해 모든 장애물을 회피할 수 있다고 하더라도, 제안된 방식의 충돌 회피 성능이 동등하거나 상대적으로 우수하였고, 특히 도심환경에서 비행할 경우, 비행 시간 및 비행 시 소모되는 에너지를 절약할 수 있음을 예상할 수 있었다. RA-URA 방식은 UAV와 지형지물간의 충돌을 방지할 뿐만 아니라 각 UAV의 이동경로 및 고도할당에 대한 정보를 공유함으로써 UAV에 독립적인 비행공간을 확보하여 UAV의 상호간의 충돌을 미연에 방지할 수 있음을 확인하였다. 그리고 RSU의 역할에 따라 목적지까지 비행 시간을 단축할 수 있는 경로 최적화를 수행할 수 있고 병목현상을 고려하여 비행 경로를 분산시킬 수도 있음을 확인하였다.

본 논문에서 제안된 두 가지 방식은 모두 현재 차량 통신 관련 표준을 준수하며 표준에 위배되지 않는 약간의 오버헤드를 추가하여 현재 시스템 구현에 적용 가능하므로, 비교적 적은 추가 비용으로 UAV 비행 안전성에 대한 우려를 해소할 수 있어, 향후 UAV 시장 활성화에 기여할 수 있을 것이다.

후 기

이 논문은 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임 (2013R1A1A1008098).

References

- [1] J. H. Jin and G. B. Lee, "Exploring of trends and understanding for Unmanned Aerial Vehicle," Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences, vol. 33, no. 2, pp. 80-85, 2016 (in Korean).
- [2] Ministry of Land, Infrastructure and Transport (South Korea), "Enforcement regulations in civil aeronautics law," article 66, 68, revision Nov 3. 2015.
- [3] "IEEE Std. 802.11p/D7.0, Amendment 7: Wireless Access in Vehicular Environments", May 2009.
- [4] "IEEE Std. 1609.1-2006, IEEE Trial-Use Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)

- Resource Manager”, 2006.
- [5] “IEEE Std. 1609.2-2006, IEEE Trial-Use Standard for Wireless Access in Vehicular Environments - Security Services for Applications and Management Messages”, 2006.
- [6] “IEEE Std. 1609.3-2007, IEEE Trial-Use Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Networking Services”, 2007.
- [7] “IEEE Std. 1609.4-2006, IEEE Trial-Use Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Multi-channel Operation”, 2006.
- [8] J. H. Kim, G. H. Jo, and J. W. Lee, “Development and prospect of personal air vehicle as next generation transportation,” *Journal of the Korean Society for Aeronautical & Space Sciences*, vol. 34, no. 3, pp. 101-108, 2006 (in Korean).
- [9] Ministry of Land, Infrastructure and Transport (South Korea), <http://www.molit.go.kr/portal.do>, http://www.molit.go.kr/USR/NEWS/m_72/dtl.jsp?id=95076518, Accessed June 10, 2016.
- [10] H. Seo, K. D. Lee, Sh. Yasukawa, Y. Peng, and P. Sartori, “LTE evolution for vehicle-to-everything services,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 54, no. 6, pp. 22-28, 2016.
- [11] H. Kim, M. Miwa, and J. H. Shim, “An obstacle avoidance system of an unmanned aerial vehicle using a laser range finder,” *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, vol. 37, no. 7, pp. 737-742, 2013 (in Korean).
- [12] MIT Computer Science and Artificial Intelligence Lab., <http://www.csail.mit.edu>, http://www.csail.mit.edu/drone_flies_through_forest_at_30_mph, Accessed June 10, 2016.
- [13] H. Hartenstein and K. P. Laberteaux, *VANET Vehicular Applications and Inter-Networking Technologies*, John Wiley & Sons Ltd, 2010.
- [14] Amazon Prime Air, www.amazon.com/primeair, <https://www.documentcloud.org/documents/2182311-amazon-revising-the-air-space-model-for-the-safe.html>, Accessed June 10, 2016.