

차량 네트워크 기반 중앙관리형 무인비행체 경로 유도 시스템

김 룰¹ · 주양익[†]

(Received October 21, 2016 ; Revised November 12, 2016 ; Accepted November 12, 2016)

Centralized routing method of unmanned aerial vehicle using vehicular Ad Hoc networks

Ryul Kim¹ · Yang-Ick Joo[†]

요약: 미국을 중심으로 상업용 무인비행체에 대한 규제가 명시된 조건하에 완화되어 관련 산업의 발전이 예상된다. 이에 따라 2017년에 미국에서 약 60만대에 이르는 무인비행체가 운용될 것으로 예상되지만 안전사고의 문제로 무인비행체의 자율 비행에 제약이 따른다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 무인비행체의 충돌을 방지하고 경로를 탐색하는 연구가 진행되었으나, 경로 탐색 과정에서 상황에 따른 동적인 대처가 불가능하고 효율적인 경로 유도가 되지 못하는 단점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 해당 문제를 해결하기 위하여 차량 네트워크를 이용한 중앙관리방식의 무인비행체 경로 유도 시스템을 제안하고자 한다. 제안된 방식은 차량 통신용 네트워크가 경로 탐색의 주체가 되어 무인비행체를 데이터 패킷과 같이 라우팅의 대상으로 처리하여, 무인비행체가 직접 처리할 경로 탐색 과정을 줄이기 때문에 무인비행체의 에너지 효율성을 증가시킬 수 있고, 동일한 네트워크 내 무인비행체들의 전체적인 비행 흐름을 미리 파악하여 갑작스런 혼잡현상을 미연에 대비할 수 있으므로 무인비행체 라우팅 효율을 개선할 수 있다.

주제어: 무인비행체, 드론, 차량 네트워크, 충돌 방지

Abstract: With the relaxation of regulations on unmanned aerial vehicles (UAVs) in the USA, the development of related industries is expected. Hence, it is anticipated that the number the UAVs will reach approximately 600,000 in the USA in 2017. However, automated flights of commercial UAVs are restricted owing to concerns about accidents. To deal with the possibility of collisions, several studies on collision prevention and the routing of UAVs have been conducted. However, these studies do not deal with various situations dynamically or provide efficient solutions. Therefore, we propose a centralized routing method for the UAV that uses vehicular networks. In the proposed scheme, vehicular networks regard UAVs as data packets to be routed. Accordingly, the proposed method reduces UAV processing power required for route searches. In addition, the routing efficiency for UAV flight paths can be improved since congestion can be minimized by using a vehicular network.

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

1. 서 론

최근 들어 ICT 기술의 발전과 각종 관련 규제가 완화되어 무인비행체(Unmanned Aerial Vehicle; UAV)에 대한 수요와 관심이 증가하고 있다[1]. 게다가 2016년 8월 30일부터 미국 국토교통부 산하기관인 연방항공청(Federal Aviation Administration; FAA)에서는 상업용 UAV에 관한 규정 ‘소형 UAV에 관한 운영 및 인증’을 발효했다[2]. 이는 제도적 결합 및 각종 규제들로 인하여 UAV 산업의 발전이 제한적이었으나, 명시된 규정 하에서 사실상 전면 허용된 것을 의미한다. 이에 따라 재난 방지, 레저, 문화 산업 등 여러 분야에서의 활용이 기대된다. 해당 명시된 규정은 다음과 같다.

- 각 UAV에 대하여 조종사의 운용이 필수적이고, 비행은 조종사의 시선이 닿는 시야 선에서만 이뤄져야 하며, 또한 무인기 운용에 관여하지 않는 사람의 상공을 지나선 안 된다.

- 비행 가능 시간은 안전을 위하여 일출 30분 전부터 일몰 30분 후까지로 제한되어 있으며 비행고도 및 속도, 장소 또한 제한적이다.

이에 따라 UAV 조종사의 능숙한 조종능력이 필수적이며, 비행 범위 또한 무선 제어가 가능한 범위로 제한된다. 따라서 여전히 응용분야에 대한 큰 제약이 존재하며, 이를 해결하기 위해서는 UAV 비행에 대한 안전을 담보할 수 있는

[†] 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@kmou.ac.kr, 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.

UAV 비행기법 및 충돌 방지 방안에 대한 연구가 필요하다.

로봇 청소기와 같이 물체의 주요 부분에 센서를 부착해 해당 센서의 값을 기반으로 충돌을 방지하는 기술이 상용화 되어 있다. 하지만 이러한 특정 센서에 의존하여 충돌을 방지하는 방법은 해당 센서의 감도 내에서만 작동이 가능하다는 것과 기기의 이동 속도에 의한 유연한 회피를 제공할 수 없다는 단점이 있어 UAV의 충돌 방지 방안으로 부적절하다. Conner-Simons [3]는 UAV 전면부에 카메라 모듈을 장착하여 영상처리를 이용한 충돌 회피 방안에 대하여 실험을 진행했다. 해당 실험에서는 UAV가 30마일(약 48 km/h)의 이동속도에서 정면의 장애물을 인지하고 회피를 하였다. 그러나 위 실험의 환경은 넓은 공간에서 이루어지고 고정된 장애물을 회피한다는 한계가 있고, 유동적인 장애물에 대한 고려가 부족하다. 그러므로 도심 지역과 같이 복잡한 공간에서의 영상 처리 기반 UAV 운용은 상용화하기에 어려움이 예상된다. Kim *et al.* [4]은 이러한 센서나 영상 처리에 의한 회피 방안의 한계를 해결하기 위하여 차량 통신 시스템을 활용한 UAV 충돌 방지 방안을 제안한다. 해당 연구에서는 차량 통신용 단말기(On Board Unit; OBU)를 부착한 각 UAV의 이동 정보를 차량 통신망에서 관리하여 미연에 충돌 상황을 방지하는 방법을 제안했다. 하지만 이 연구에서는 UAV의 경로를 탐색하는 과정에서 특정 노변기지국(Road-Side Unit; RSU) 간 이동에 대한 정보만 활용하여 특정 구간에 대해 UAV의 이동량이 많아져 혼잡 구간이 생긴다면 제안한 경로 탐색 방법은 비행 지연이 증가하게 되며 이에 대해 사전에 대처하는 것이 불가능하다. 또한 UAV가 직접 경로를 탐색하고 경로 상의 노변기지국을 통해 비행 정보를 결정하므로 탐색 구간이 길어지게 되는 경우 기하급수적으로 데이터 정보양이 많아진다. 이러한 데이터 증가량에 의한 데이터 송수신의 증가는 UAV의 배터리 전력소모를 증가시키는 결과를 초래할 수 있으며, 그에 따라 최대 비행거리가 줄어들 수 있다. 아울러 UAV 비행을 위한 데이터 트래픽(traffic)의 증가는 기존 차량 통신 트래픽만을 가정한 RSU 용량에 영향을 줄 수 있다. 해당 연구에서는 UAV의 충돌 방지 방안으로 차량 통신 시스템을 활용하는 점에서는 효과적이나, 경로 탐색 방법에서 효율성이 보다 개선되어야 한다.

따라서 본 논문에서는 경로 탐색 방법의 주체를 RSU로 설정하여 차량 네트워크에서 UAV의 경로를 탐색하는 방법을 제안한다. UAV의 목적지 정보를 수신한 RSU가 차량 네트워크에서 해당 UAV를 마치 데이터 패킷과 같이 취급하여 라우팅함으로써 RSU 간 링크 관점에서의 경로설정이 아니라 전체 네트워크 관점에서 최적의 경로 설정이 가능하도록 한다. UAV는 자신의 목적지 정보만을 해당 RSU에 송신하는 역할만 하여 RSU의 유도에 따라 이동하기 때문에 경로 탐색과 데이터 처리과정에 의한 배터리 소모를 줄일 수 있다. 그리고 네트워크 라우팅 과정으로 사전에 혼잡 발생에 대한 정보를 미리 파악할 수 있어 경로혼잡에 대한 유연한 대처도 가능할 것이라 기대된다. 기존 [4]의 방식에 비해

UAV의 정보 처리량이 감소한 만큼 RSU의 정보 처리량은 다소 증가하지만, 노변기지국으로서의 프로세서 처리용량을 고려한다면 충분히 수용 가능한 수준으로 볼 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문에서 제안하고자하는 차량 네트워크의 차량 통신 시스템에 관련하여 표준 규격 및 해당 규격에 대한 제안하는 알고리즘의 적용 방안을 설명하며, 3장에서는 본 논문에서 제안한 차량 네트워크 기반 중앙관리형 UAV 경로 유도 시스템에 대해 기술한다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 성능 평가 결과를 4장에서 분석하고, 끝으로 5장에서 결론을 맺는다.

2. 차량 통신 시스템

Figure 1과 같이 WAVE (Wireless Access in Vehicular Environment) [5]-[8] 등의 표준으로 표현되는 VANET은 OBU가 설치된 차량과 도로 주변에서 기지국 역할을 수행할 RSU로 구성되어 차량과 차량(V2V), 차량과 RSU(V2I) 간의 정보교환을 가능하도록 한다. 이에 따라 교통의 장애 요소 및 주변 서비스 정보 등을 얻을 수 있어 미래의 교통 정보 시스템으로서 시험망 테스트 중에 있다.

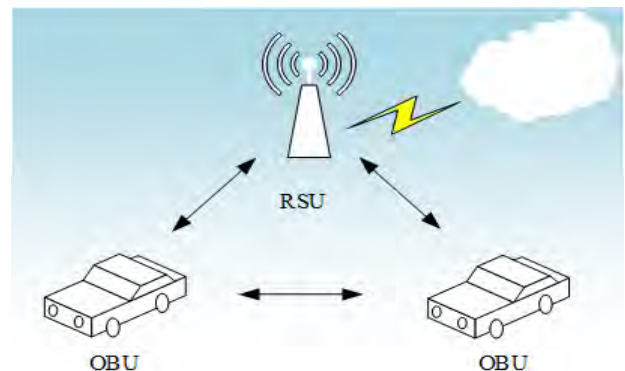


Figure 1: Vehicular Ad hoc Network

본 논문에서 UAV 라우팅을 위해 활용될 차량 통신 시스템에 대한 가정은 [4]와 동일하며 그 내용은 다음과 같다. 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 비행경로 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 비행경로로 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[3][9].

3. 차량 네트워크 기반 중앙관리형 UAV 경로 탐색 및 유도 알고리즘 (Centralized Routing Method of UAV using VANETs)

3.1 경로 탐색 절차

본 논문에서 제안하는 RSU 기반 경로 탐색 방법은 기존에 연구가 진행되어왔던 차량 항법 장치를 이용한 경로 탐색 방법[4]과는 다르다. 차량 항법 장치를 통해 전체 경로를 탐색하는 것이 아닌 **Figure 2**와 같이 UAV가 차량 항법 장치를 이용하여 Dest RSU ID (Destination RSU Identity)를 확인하고, 확인된 Dest RSU ID를 현재 위치 인근에 위치한 RSU의 방송메시지를 통해 획득한 RSU ID와 비교한다. 이때, 해당 RSU ID가 Dest RSU ID와 같다면 현재 위치가 목적지이기 때문에 동작을 완료한다. 하지만 비교한 RSU ID가 일치하지 않는다면 UAV는 해당 RSU에 Dest RSU ID를 포함한 비행정보요구 (Flight Information Request; FlightInfoReq) 메시지를 송신한다. **Figure 3**와 같이 해당 메시지를 수신한 RSU는 차량 네트워크를 활용하여 현재 위치에서 Dest RSU ID까지 최적의 경로를 결정하고 경로 상의 RSU 리스트를 설정한다. 최적의 경로를 결정하는데 있어서 RSU와 차량 네트워크는 UAV를 데이터 패킷과 같이 취급하여 패킷 라우팅 알고리즘을 통해 혼잡한 경로를 회피하게 된다. 그리고 경로 리스트 상의 2번째 경유 RSU를 Target RSU로 설정하고 비행 관련 정보를 포함한 비행정보 응답(Flight Information Response; FlightInfoResp) 메시지를 생성한다. 이와 동시에 해당 UAV의 비행 정보를 Target RSU와 인근 RSU에 공유한다. 공유된 정보는 차후 UAV의 도착 정보의 수신여부에 따라 UAV의 사고여부를 판단하는 근거가 된다. 이후에 RSU에서는 UAV에 FlightInfoResp 메시지를 송신하고 해당 메시지를 수신한 UAV는 메시지 내에 포함된 Target RSU 정보를 기반으로 비행을 진행한다. 이에 따라 감지되는 RSU에 대하여 도착 정보를 송신하고, 위의 단계를 반복한다.

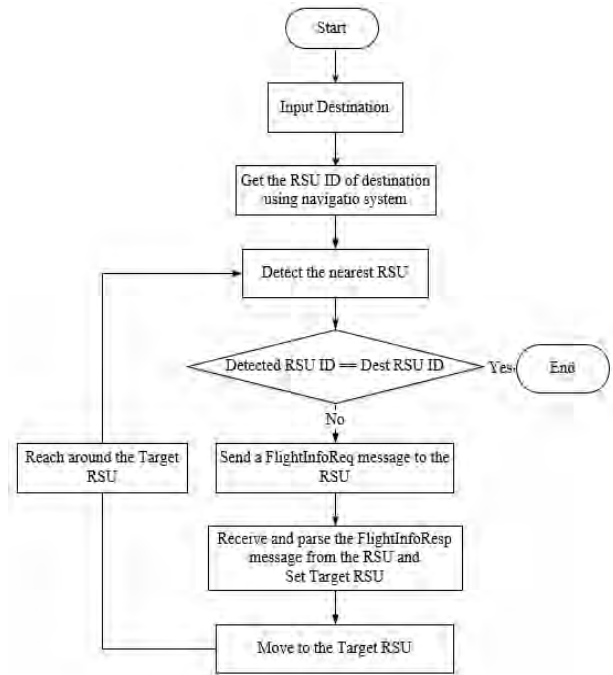


Figure 2: UAV algorithm of the proposed scheme

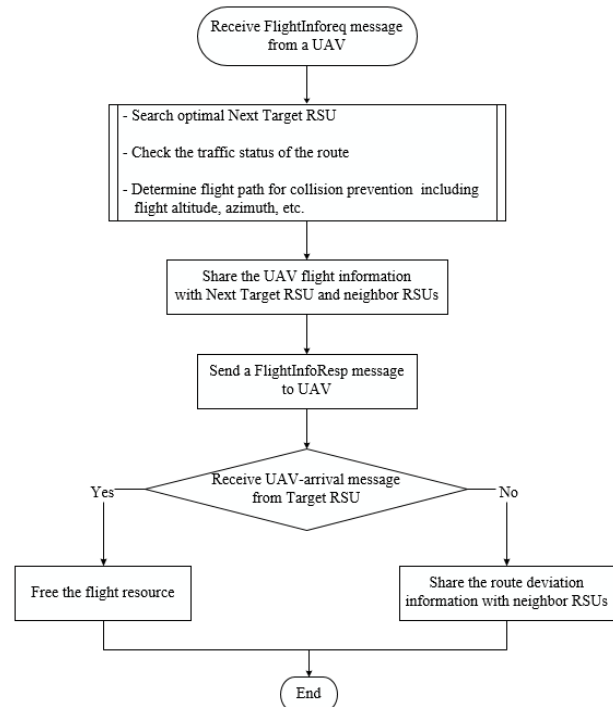


Figure 3: RSU algorithm of the proposed scheme

3.2 경로 탐색 방법

RSU가 UAV로부터 최초 Dest RSU ID 정보를 수신하면 현재 위치에서 Dest RSU 까지 유효한 경로 상의 트래픽을 체크한다. 해당 과정을 통해 기존의 방법인 RA-URA의 최단 거리 우선 라우팅에서 고려하지 못하는 혼잡 현상을 해결할 수 있다. 이해를 돕기 위하여 **Figure 4, 5, 6**와 같은 예시를 든다. 해당 그림들은 도심 속의 모습을 2

차원 평면으로 간략하게 도식화한 그림이다. 네모는 건물이 밀집된 블록을 나타내고 검은 동그라미는 RSU를 뜻하며 흰색 동그라미는 출발 RSU를 나타낸다. 해당 그림 상의 경로는 경로 리스트상의 경로를 임의로 나타낸 것이다. **Figure 4**는 평상시 최소 거리 기준 경로를 나타낸 것이고, **Figure 5**는 혼잡 발생 시 기존의 알고리즘 기반으로 경로를 탐색했을 경우의 그림을 나타낸다. 기존 방식의 경로 탐색 방법은 네트워크 전반의 UAV 트래픽 혼잡을 고려한 경로 변경이 고려되지 않았으므로 UAV 수의 증가에 따른 경로 혼방이 발생할 수밖에 없으므로, **Figure 5**와 같이 특정 구간에 혼잡이 발생했음에도 불구하고, 이를 회피하지 못하여 혼잡은 해소되지 못할 뿐만 아니라 혼잡을 가중시킨다. 하지만 제안한 방식을 적용한 **Figure 6**은 차량 네트워크를 통해 UAV 이동상황을 공유하여 혼잡 상황이 발생하거나, 일어날 것을 예측할 수 있으므로 혼잡 상황을 해소하거나 방지할 수 있다.

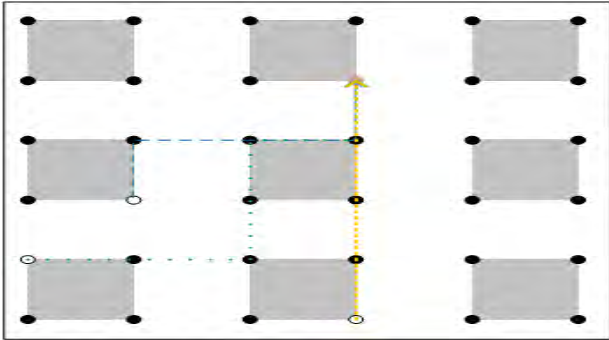


Figure 4: Normal situation

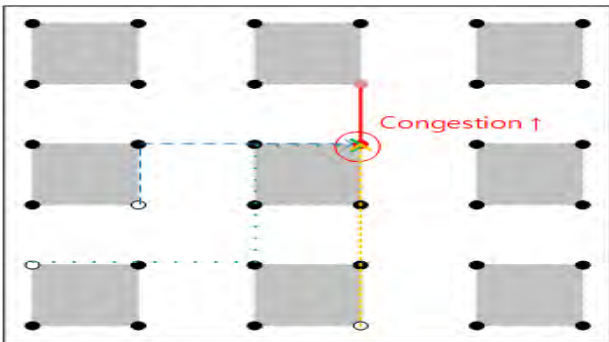


Figure 5: UAV traffic congestion

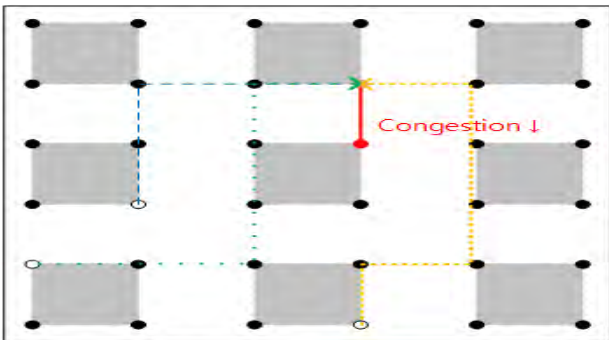


Figure 6: Relief of the congestion by the proposed scheme

3.3 경로 분류

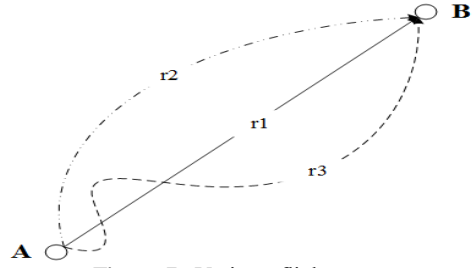


Figure 7: Various flight route

Figure 7은 우회하는 경로에 따라 간략하게 도식화한 그림이다. 각 경로 r1, r2, r3에 따른 이동 시간을 t_1, t_2, t_3 라 하고 가장 짧은 경로 이동 시간 t_1 에 대하여 t_2, t_3 의 차이, 지연 시간을 d_2, d_3 라 정의한다. 또한, UAV 간 안전거리를 속도에 따라 환산한 보호시간을 t_{guard} 라 칭하며, 한 UAV가 A지점을 출발한 후 각 t_{guard} 가 경과하기 전 A지점에 또 다른 UAV가 이전 UAV가 출발 후 $\Delta t_{arrival}$ 이후 도착하여 해당 UAV가 대기해야하는 시간을 t_{wait} 이라하며, t_{wait} 은 아래와 같이 정의된다.

$$t_{wait} = t_{guard} - \Delta t_{arrival} \quad (1)$$

Figure 8은 **Figure 7**의 환경에서 경로별 예상지연시간에 따른 비행경로 분류에 대한 과정을 나타낸다. 경로를 분류하기 위해서 사전에 목적지까지 진행 가능한 경로를 탐색하고 해당 경로의 거리에 따라 번호를 지정한다. 이에 따라 번호가 지정된 경로의 고유한 이동 시간의 차이에 따라 d_i 값을 정의할 수 있다. 이후 해당 A지점에 UAV가 감지되면 해당 지점 t_{guard} 로부터 t_{wait} 값을 계산하고, t_{wait} 값을 r_i 의 d_i 값과 비교하여 효율성이 높은 경로를 선택한다. 특정 경로가 선택되면 해당 경로는 t_{guard} 값을 업데이트한다.

```

00 Sort the routes in ascending order of  $d_{ri}$ 
01 Make a path list based on the sorted order
02 selected path = the 1st one in the list
03 candidate path = the 2nd one in the list
04 if(Detect a UAV)
05     Calculate  $t_{wait}$  of the selected path
06     while(total number of the sorted routes - 1)
07         if( $t_{wait} > \text{delay of the candidate path}$ )
08             selected path = candidate path
09             Calculate  $t_{wait}$  of the selected path
10         end
11         candidate path = the next one in the list
12     end
13 else
14     Wait for UAV
15 end
    
```

Figure 8: Flight route selection procedure

4. 성능 평가

본 절에서는 MATLAB으로 구현된 시뮬레이터를 통해 제안한 알고리즘에 대한 성능을 비교 분석하였다. Figure 7 과 같이 A에서 B를 가기위한 여러 가지 라우팅 경로가 있다. 해당 경로에 따른 성능을 평가하기 위해 A지점에서 B 지점까지 모든 UAV의 이동 완료 시간을 비교하였다.

Figure 9는 A점과 B점간 최단 거리 100m인 단일 경로(r1)에서 UAV가 5 m/s 속도로 비행할 때($t_l = 20$ s), 해당 구간을 통과하는 UAV의 증가에 따른 이동 완료 시간의 변화를 t_{guard} 값에 따라 나타낸 것이다. 동일 경로 비행 시 UAV 간 충돌방지를 위한 안전거리가 확보되어야하며, 안전거리 확보를 위한 t_{guard} 값에 따라 이동 소요 시간이 달라진다. t_{guard} 값이 감소할수록 전체 이동 소요 시간은 감소하지만 안전거리가 상대적으로 작게 확보되어 충돌의 위험성은 상대적으로 증가함을 예상할 수 있다.

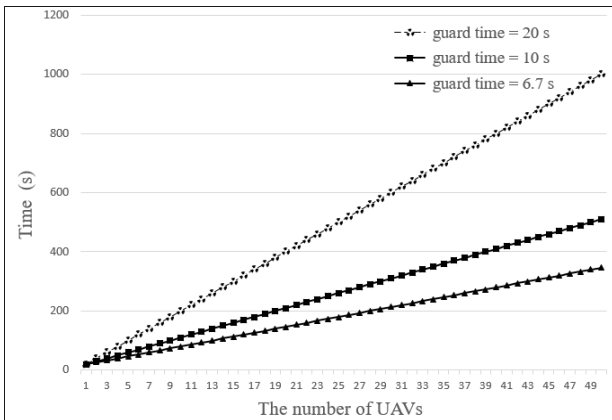


Figure 9: Required flight time with varying t_{guard}

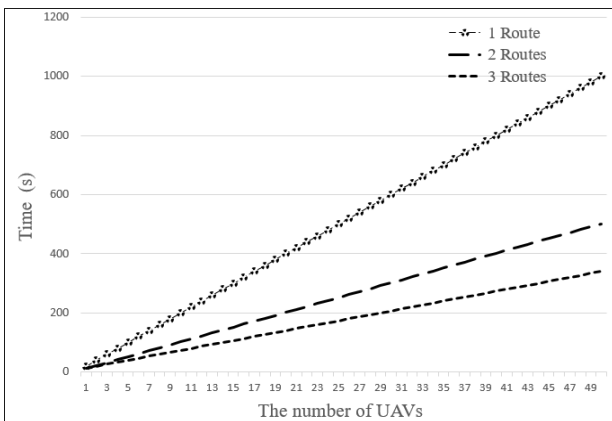


Figure 10: Required flight time with varying number of routes

Figure 10는 t_{guard} 값을 20초로 설정하고 UAV 증가에 따른 이동 소요 시간의 변화를 비행 가능 경로의 수에 따라 실험을 진행했다. 단일 경로를 2, 3 경로로 확장함으로써 전체 이동 소요 시간이 상당히 감소함을 확인할 수 있다.

기존 방식[4]에서는 UAV가 경로 탐색의 주체이므로 UAV가 직접 처리해야할 데이터 정보량이 많다. 하지만 제

안하고자 하는 알고리즘은 경로 탐색의 주체가 RSU가 되어 UAV가 처리해야할 데이터의 양을 상당히 줄일 수 있다. Figure 11은 제안하는 알고리즘에 의한 처리 데이터 감소량을 상대적으로 나타낸 그래프다. 차량 통신 표준[10]에 기술된 정보량을 기준으로 측정 결과 기존 방식 대비 상당 부분의 데이터 처리량을 줄일 수 있음을 확인하였다.

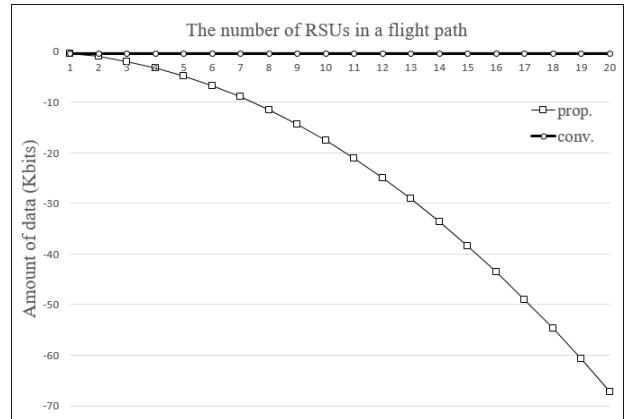


Figure 11: Amount of data variation of the proposed algorithm

5. 결 론

본 논문에서는 경로 탐색 문제점 및 혼잡 상황을 예방하기 위해 차량 네트워크 기반 중앙 관리형 UAV 경로 유도 시스템을 제안하였다. 제안한 시스템은 차량 네트워크에서 직접 UAV를 관리하여 UAV가 특정 구간에서 병목되는 현상을 방지하고 유동적인 경로를 제공해 시스템 전체의 혼잡을 줄일 수 있다. 혼잡에 영향을 미치는 UAV 전체 이동 시간을 줄이는 방법으로 추가적인 경로의 병행 또는 분산 라우팅을 제안하였다. 이에 따라 효과적인 성능 개선을 확인했으며 향후 돌발사고 및 위험요소에 따른 동적 라우팅 방안을 연구할 계획이다.

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] <http://news1.kr/>, <http://news1.kr/articles/?2760975>, Accessed June 10, 2016.

- [3] <http://www.csail.mit.edu>, http://www.csail.mit.edu/drone_flies_through_forest_at_30_mph, Accessed June 10, 2016.
- [4] R. Kim and Y. I. Joo, "Unmanned aerial vehicle routing algorithm using vehicular communication systems," *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, vol. 40, no. 7, pp. 622-628, 2016 (in Korean).
- [5] "IEEE Std. 1609.1-2006, IEEE Trial-Use Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Resource Manager", 2006.
- [6] "IEEE Std. 1609.2-2006, IEEE Trial-Use Standard for Wireless Access in Vehicular Environments - Security Services for Applications and Management Messages", 2006.
- [7] "IEEE Std. 1609.3-2007, IEEE Trial-Use Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Networking Services", 2007.
- [8] "IEEE Std. 1609.4-2006, IEEE Trial-Use Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Multi-channel Operation", 2006.
- [9] 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).
- [10] H. Hartenstein and K. P. Laberteaux, *VANET Vehicular Applications and Inter-Networking Technologies*, John Wiley & Sons Ltd, 2010.