

개선된 Perpendicular Simplification을 사용한 장애물 주변 지형적 경계 생성기법

Keep-out Geofencing Method using A Modified Perpendicular Simplification

신수영¹ · 이금진^{2*}

¹한국항공대학교 스마트드론융합학과

²한국항공대학교 항공교통물류학과/스마트드론융합학과

Su-Young Shin¹ · KeumJin Lee^{2*}

¹Department of Smart Drone Convergence, Korea Aerospace University, Gyeonggi-do, 10540, Korea

²Department of Air Transportation and Logistics, Korea Aerospace University, Gyeonggi-do, 10540, Korea

[요 약]

지형적 경계 (geofence)란 무인기가 침범하거나 또는 벗어나지 말아야 할 영역을 설정해 놓은 가상의 경계로서, 저고도 무인기 교통관리체계(UAS traffic management)의 필수적인 구성요소 중 하나이다. 본 연구에서는 perpendicular 알고리즘을 개선하여 지형적 경계를 단순화하는 기법을 제안한다. 제안된 기법을 실제 건물을 측정하여 얻은 데이터에 적용하여 성능을 평가하였으며, 제안된 방법이 기존 방법에 비해 공간적 낭비를 최소화하면서도 꼭짓점의 개수를 효과적으로 줄임을 확인하였다.

[Abstract]

Geofence defines the area that UAS should not enter or exit to ensure the safety of their operations, and is considered as one of critical capabilities of the UTM (UAS traffic management) system. In this study, a geofence simplification method using modified perpendicular algorithm is proposed. The performances of the proposed geofence simplification method were evaluated with actual building data, and the evaluation results confirmed that the number of vertices can be effectively reduced while minimizing the spatial size of the geofence.

Key word : Geofence, Perpendicular simplification, UAS traffic management, UAS safety, Very low level airspace.

<https://doi.org/10.12673/jant.2020.24.6.508>



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.

Received 8 December 2020; Revised 14 December 2020
Accepted (Publication) 27 December 2020 (30 December 2020)

*Corresponding Author; Keumjin Lee

Tel: +82-2-300-0375

E-mail: keumjin.lee@kau.ac.kr

1. 서론

지형적 경계(geofence)는 공간상에 설정되는 고정된(static) 또는 유동적인(dynamic) 가상의 3차원 경계를 의미한다[1]. 지형적 경계는 무인기가 해당 영역 안에서만 비행하도록 허락되는 영역 안 지형적 경계(keep in geofence)와 지상 장애물이나 위험구역 주변에 무인기의 접근을 제한하기 위해 설정되는 영역 밖 지형적 경계(keep out geofence)로 구분된다.

더 안정적이고 효율적인 지형적 경계를 생성하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. [2]에서는 장애물 주변에 주어진 완충거리(buffer)를 두고 다각형 형태의 지형적 경계를 생성하는 방법이 제시 되었으며, [3]에서는 지형적 경계를 동적으로 설정함으로써 무인기 간의 분리(separation)에 활용하는 방법이 제안 되었다. [4]는 무인기의 성능, 위치정보 업데이트 주기 및 정확성, 기상 조건 등을 고려하여 무인기 간의 분리를 보다 효율적으로 보장하는 방법을 제시하였다. [5]는 라이더(lidar)를 통해 수집된 장애물들에 대한 추출 데이터를 이용하여 다각형 형태의 지형적 경계를 설정하는 방법을 제시하였다. 과도하게 많은 점들로 이루어진 지형적 경계는 실제 무인기 운용에 활용되기에는 부적합한 측면이 있어 지형적 경계를 구성하는 점의 개수를 줄이는 단순화 과정이 반드시 요구되는데, [5]는 이러한 단순화 과정이 없다는 점에서 본 연구와는 차별된다.

[6]에서는 확장, 끝처리, 병합, 단순화 과정으로 이루어진 지형적 경계 생성 기법이 제안되었다. 해당 연구에서는 RDP (Ramer-Douglas Peucker) 알고리즘과 부분적 확장을 사용하여 지형적 경계를 구성하는 꼭짓점 개수를 줄이는 단순화 방법이 제안되었으며, 이를 통해 지형적 경계를 구성하는 꼭짓점 수는 50% 이상 감소할 수 있었다(그림 1). 그러나 최종적으로 생성된 지형적 경계 내에 비효율적인 공간이 발생하였으며, 지형적 경계의 모양이 장애물 또는 비행경로의 원래 모양을 과도하게 왜곡하는 한계점을 가지고 있었다.

그림 2는 [6]에서 제안된 방법을 사용해 무인기 경로 주변에 설정된 지형적 경계를 보여주고 있다. 빨간 선은 RDP 및 부분적 확장을 이용한 단순화가 적용된 지형적 경계이며, 초록 선은 단순화 이전의 지형적 경계를 나타낸다. 단순화를 진행하는 과정에서 완충구역이 지켜지지 않는 부분에 대해서는 부분적 확장을 실시하였으며, 이로 인해 무인기 경로 모양과 비대칭성을 가진 지형적 경계가 생성됨을 알 수 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해, 본 연구에서는 장애물의 원래 모양에 과도한 변형이 발생하지 않음과 동시에, 지형적 경계를 구성하는 꼭짓점의 개수와 공간적 낭비를 최소화하는 방향으로 개선안을 제시하였다. 본 연구에서는 대표적인 경계 단순화 방법인 opheim, radial, perpendicular 알고리즘의 성능을 비교 분석하였으며, 이 중 perpendicular 알고리즘이 가진 한계점을 보완할 수 있는 연장(extension)의 개념을 적용한 지형적 경계 단순화 기법을 제안한다.

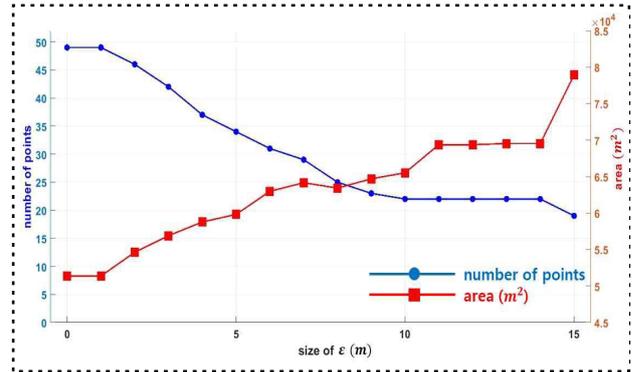


그림 1. 단순화 정도에 따른 꼭짓점 개수 및 면적 변화 (참고문헌[6])

Fig. 1. Changes in the number of geofence vertices and the area of geofence as a level of simplification increases (Ref. [6]).

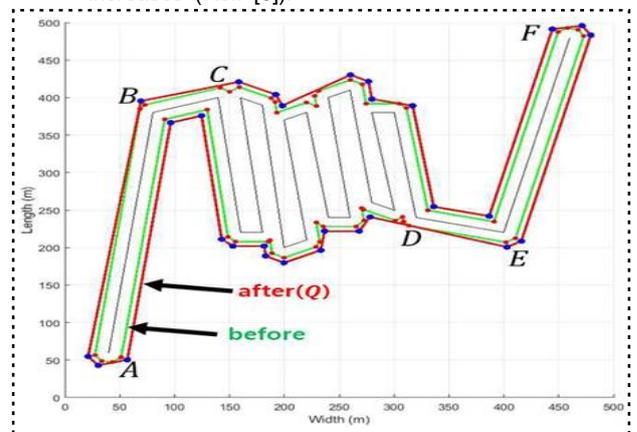


그림 2. RDP로 단순화된 지형적 경계 (참고문헌 [6])

Fig. 2. Simplified geofence using RDP (Ref. [6]).

II. 단순화 알고리즘 성능 비교

2-1 단순화 알고리즘 비교 기준

공역관리규정 제 8조(공역지정의 일반기준)에서는 공역을 지정함에 있어 참고해야 하는 일반적인 기준들을 11가지로 구분한다. 이 중 5번째 호에서는 ‘공역은 가능한 최소의 범위로 지정되어야 하며, 종사자가 쉽게 파악할 수 있도록 단순한 외곽 범위로 설정할 것’ 이라는 조건이 있다[7]. 이를 준수하기 위해 본 연구에서는 첫째, 지형적 경계를 이루는 꼭짓점의 개수를 효과적으로 제거할 수 있는 능력과 둘째, 꼭짓점을 줄임으로써 발생하는 공간적 낭비를 최소화 할 수 있는 능력, 그리고 셋째, 계산시간을 적도로 하여 다양한 지형적 경계 단순화 알고리즘에 대한 성능 평가를 진행하였다.

본 연구에서는 실제 건물을 측정하여 얻은 데이터 중 형태가 복잡한 건물 하나를 선정하여 단순화 알고리즘들을 비교 분석하였다. 그림 3은 본 연구에 사용된 실제 건물의 외곽의 사진이다[8].

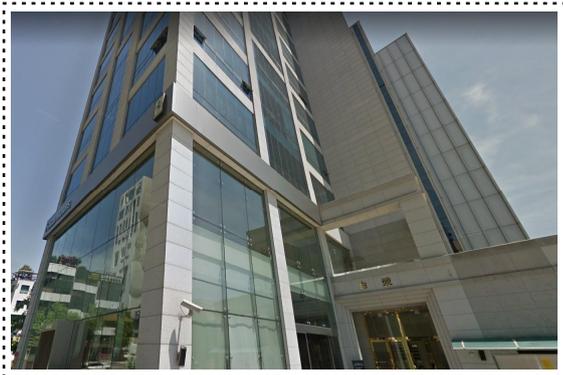


그림 3. 경계 단순화 알고리즘 비교분석에 사용된 실제 건물 외곽
 Fig. 3. The building used for testing the geofence simplification algorithms.

2-2 단순화 알고리즘의 적용 결과

[9]에 따르면 단순화 알고리즘 중 RDP 알고리즘과 opheim 알고리즘이 원래의 도형 형태를 보존하는 측면에 있어서 우수한 성능을 가진다. 하지만 RDP를 지형적 경계에 적용할 때에는, 주어진 완충거리를 만족시키기 위한 부분적 확장으로 인해 지형적 경계 모양에 왜곡이 발생하게 된다[6]. 이와 같은 기존 연구 결과를 참고하여 본 연구에서는 opheim 알고리즘, perpendicular 알고리즘, 그리고 radial 알고리즘을 지형적 경계에 적용하여 단순화 성능을 비교분석 하였다. 본 절에서는 해당 알고리즘들에 대한 개념과 실제 건물데이터에 적용한 결과를 설명한다.

1) Perpendicular algorithm

Perpendicular 알고리즘에서는 특정 점을 제거하기 위해 해당 점의 직전 및 직후에 있는 점을 일직선으로 이은 후, 해당 점과 선분 사이의 직선거리를 계산한다. 직선거리가 허용거리(ϵ) 이하가 되는 경우 해당 점을 제거하고 직전 및 직후의 점을 잇는 새로운 선분을 생성하는 방식으로 단순화가 진행된다. 그림 4는 perpendicular 알고리즘의 과정을 나타낸 그림이다. 알고리즘 원리에 따라 P2와 P4를 이은 선분과 P3의 직선거리가 ‘ ϵ ’ 이하가 되어 P3이 제거되고 P2와 P4를 연결하는 선분이 새롭게 생성됨을 알 수 있다.

본 연구에서는 perpendicular 알고리즘을 적용할 때, 새롭게 생성되는 선분이 단순화 이전의 지형적 경계를 침범하는 경우 단순화를 제한하도록 설정하였다. 실제 건물데이터에 적용한 결과는 그림 5와 같다. 초록색 경계는 단순화가 적용되기 이전의 지형적 경계를 나타내고, 파란색 경계는 perpendicular 알고리즘을 이용하여 단순화한 지형적 경계를 나타낸다. 왼쪽 그림은 ϵ 이 1인 경우이고 오른쪽 그림은 ϵ 을 2로 늘렸을 경우이다. 그림에서 알 수 있듯이 ϵ 을 늘리면 단순화가 더 많이, 즉 꼭짓점의 개수가 더 많이 감소되는 데 반해, 지형적 경계가 차지하는 공간은 더 커지게 된다.

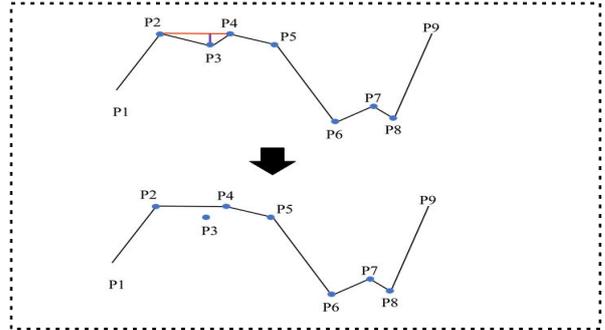


그림 4. Perpendicular 알고리즘의 단순화 과정
 Fig. 4. Simplification process of perpendicular algorithm.

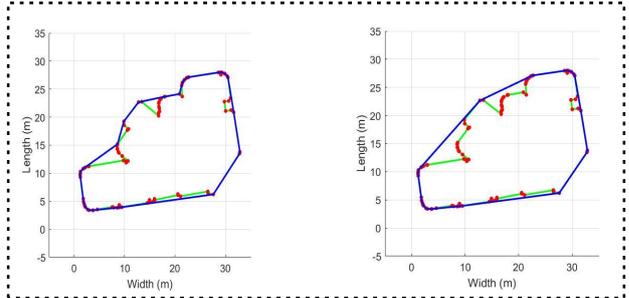


그림 5. 허용거리를 1으로 했을 때 단순화된 지형적 경계(왼쪽 파란선), 허용거리를 2으로 했을 때 단순화된 지형적 경계(오른쪽 파란선)
 Fig. 5. Simplified geofence using perpendicular algorithm with $\epsilon=1$ (left blue line) and $\epsilon=2$ (right blue line).

2) Radial algorithm

Radial 알고리즘은 하나의 점으로부터 특정 제거반경(r) 안에 있는 모든 점들을 제거한 후, 순서상 가장 가까운 점을 연결하는 방식으로 도형의 경계를 단순화 한다.

본 연구에서는 radial 알고리즘을 적용할 때 새롭게 생성되는 선분이 지형적 경계를 침범하는 경우 단순화를 제한하도록 설정하였으며, 실제 건물데이터에 적용한 결과는 그림 6과 같다. 초록색 경계는 단순화가 적용되기 이전의 지형적 경계를 나타내고, 파란색 경계는 radial 알고리즘을 통해 단순화된 지형적 경계를 나타낸다.

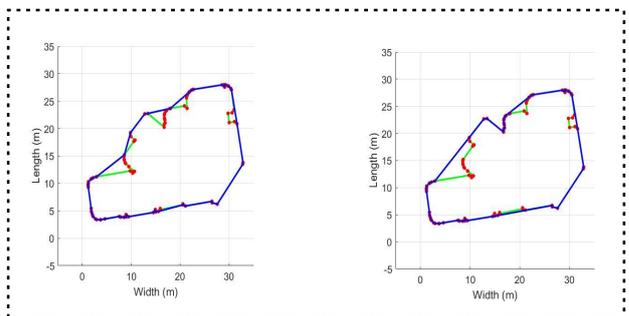


그림 6. 제거반경을 3으로 했을 때 단순화된 지형적 경계(왼쪽 파란선), 제거반경을 6으로 했을 때 단순화된 지형적 경계(오른쪽 파란선)
 Fig. 6. Simplified geofence using radial algorithm with $r=3$ (left blue line) and $r=6$ (right blue line).

3) Opheim algorithm

Opheim 알고리즘은 하나의 점으로부터 제거반경(r) 안에 있는 모든 점들을 제거한 후 선택반경(\tilde{r}) 안에 있는 점들 중 가장 멀리 있는 점을 잇는 새로운 선분을 생성한다.

본 연구에서는 opheim 알고리즘을 적용할 때 새롭게 생성되는 선분이 지형적 경계를 침범하는 경우 단순화를 제한하도록 설정하였고, 실제 건물데이터에 적용한 결과는 그림 7과 같다. 초록색 경계는 단순화가 적용되기 이전의 지형적 경계를 나타내고, 파란색 경계는 opheim 알고리즘을 통해 단순화된 지형적 경계를 나타낸다.

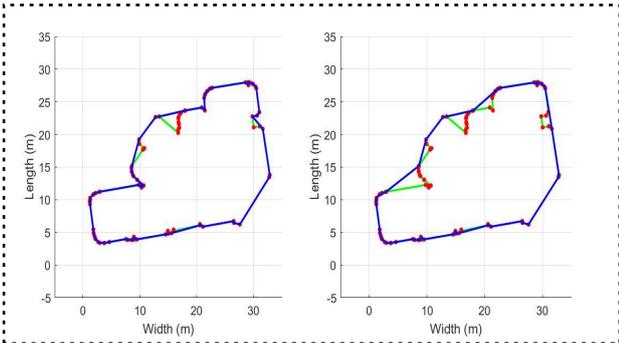


그림 7. 제거반경을 1로하고 선택반경을 1로 했을 때 단순화된 지형적 경계(왼쪽 파란선), 제거반경을 1로 하고 선택반경을 3으로 했을 때 단순화된 지형적 경계(오른쪽 파란선)

Fig. 7. Simplified geofence using opheim algorithm with $r=1/\tilde{r}=1$ (left blue line) and $r=1/\tilde{r}=3$ (right blue line).

2-3 단순화 알고리즘의 비교 평가

1) 정성적 평가

3가지 알고리즘을 건물데이터에 적용한 결과, perpendicular 알고리즘은 굴곡을 이루는 모든 외곽선에 대해 단순화를 효과적으로 하지만 단순화 진행 이전의 지형적 경계 꼭짓점만을 이용하여 단순화하기 때문에 허용거리가 증가함에 따라 과도한 공간의 낭비가 발생함을 그림 5를 통해 알 수 있다. Radial과 opheim 알고리즘은 굴곡을 이루는 꼭짓점의 거리가 큰 외곽선에 대한 단순화에는 효과적이지만, 그 거리가 작은 외곽선에 대해서는 단순화가 효과적이지 못함을 그림 6과 그림 7을 통해 알 수 있다.

이는 radial과 opheim 알고리즘 적용 시, 단순화를 진행하는 현재 점의 위치와 제거반경 r 바깥에 위치한 점을 잇는 선분이 지형적 경계를 침범하는지 판단하기 때문이다. 즉 두 알고리즘은 새로운 선분을 정의할 때, 연결하는 꼭짓점보다 순서상 가까운 꼭짓점들로 이루어진 외곽의 침범 여부를 모두 고려하기 때문에 단순화에 제한이 많게 된다. 두 알고리즘과는 다르게 perpendicular 알고리즘은 단순화의 여부를 결정하기 위해 직전과 직후의 점을 잇는 선분의 지형적 경계 침범 여부를 판단하기 때문에 단순화에 대한 제한이 비교적 적다.

그림 8은 radial 및 opheim 알고리즘과 perpendicular 알고리즘 간의 차이에 대해 설명한 그림이다. Radial과 opheim의 과정을 나타내는 왼쪽 그림에서는 제거반경(초록색 원) 밖의 가장 가까운 점(P6)을 잇는 과정에서 P2~P5가 이루는 지형적 경계의 침범이 발생하여 단순화가 진행되지 않게 되지만, perpendicular 과정을 나타내는 오른쪽 그림에서는 직전과 직후를 잇는 선분에 대해서만 지형적 경계 침범을 판단하기 때문에 단순화가 보다 효과적으로 진행됨을 알 수 있다.

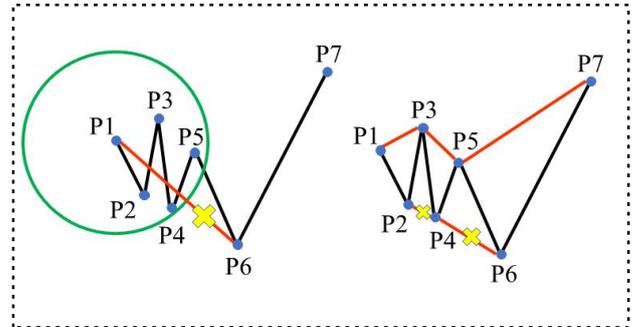


그림 8. radial/opheim 알고리즘 과정(왼쪽)과 perpendicular 알고리즘(오른쪽)의 차이

Fig. 8. Difference between radial/opheim algorithm and perpendicular algorithm.

2) 정량적 평가

정량적 평가는 단순화를 실시할 때 ‘제거되는 꼭짓점의 개수’와 ‘계산 시간’을 기준으로 진행했다. 그림 9는 단순화 정도를 결정하는 기준이 되는 tolerance (perpendicular: ϵ , radial: r , opheim: \tilde{r}) 증가에 따른 지형적 경계의 꼭짓점의 변화를 각 알고리즘 간에 비교한 그래프이다. 특정 구간부터 꼭짓점의 개수가 더 이상 줄어들지 않는 radial 알고리즘과 opheim 알고리즘과는 달리, perpendicular 알고리즘은 tolerance 증가에 따라 꼭짓점의 개수가 지속적으로 감소함을 알 수 있다.

Radial 알고리즘의 경우 앞서 언급한 바와 같이 제거 반경(r)이 증가할수록 단순화를 위해 고려되는 꼭짓점의 개수가 증가하고, 결과적으로 단순화의 제한이 많이 발생하기 때문에 특정 구간 이후로 꼭짓점의 개수가 오히려 증가함을 알 수 있다. Opheim 알고리즘의 경우 제거반경(r)을 고정하고 선택반경(\tilde{r})만을 증가시켜가며 비교를 진행했기 때문에 radial 알고리즘과 다르게 tolerance가 증가하면서 꼭짓점의 개수는 증가하지 않지만, 제거되는 꼭짓점의 개수가 많지 않음을 알 수 있다.

그림 10은 tolerance 증가에 따른 단순화 과정에 소요되는 계산시간의 변화를 3가지 알고리즘에 대해 비교한 그래프이다. 계산은 Intel i5-8250U, RAM 8GB에서 진행하였고 소프트웨어는 MATLAB을 사용하였다[10]. 그림을 통해 알 수 있듯이, perpendicular 알고리즘이 다른 두 알고리즘에 비해 적은 계산 시간을 갖음을 알 수 있다. 이는 꼭짓점의 삭제 여부를 판단하고 새롭게 이을 선분이 단순화가 진행되기 전의 지형적 경계를 침범하는지 여부를 판단하는 과정의 차이에서 기인한다.

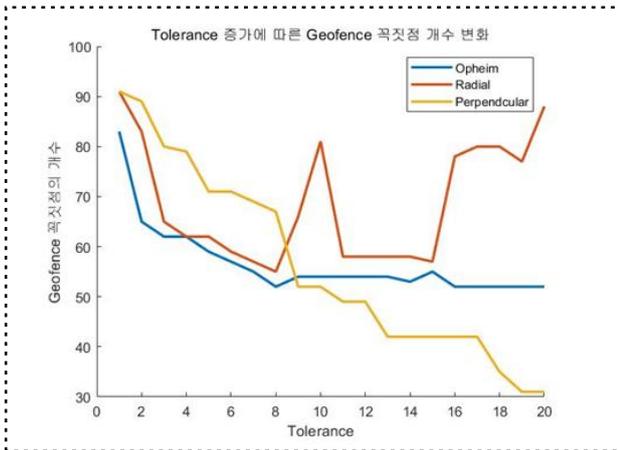


그림 9. Tolerance 증가에 따른 지향 꼭짓점 개수의 변화
 Fig. 9. Changes in the number of geofence vertices with increased tolerance.

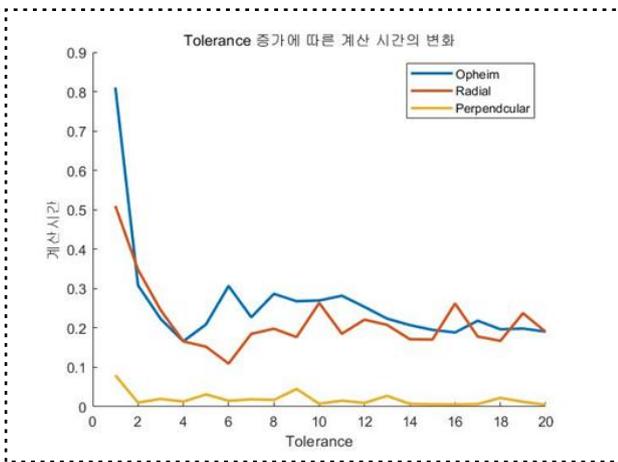


그림 10. Tolerance 증가에 따른 계산시간의 변화
 Fig. 10. Changes in calculation time with increased tolerance.

3) Perpendicular 알고리즘의 장점 및 한계점 분석

정량적, 정성적 평가를 통해 다른 두 알고리즘에 비해 perpendicular 알고리즘이 단순화 정도를 보다 직관적으로 조정할 수 있고, 계산시간이 적은 장점을 가진 것을 알 수 있었다. 하지만 해당 알고리즘은 새로운 점을 생성하지 못하고 단순화 이전의 지형적 경계의 꼭짓점만을 이용하여 단순화를 진행하기 때문에 허용거리를 증가할 시에 과도한 공간의 낭비가 발생할 수 있다는 한계점을 가지고 있다. 본 연구에서는 연장의 개념을 적용한 개선된 perpendicular 단순화 알고리즘을 제안한다.

III. 개선된 perpendicular 단순화 알고리즘

3-1 연장을 이용한 개선된 단순화 알고리즘

1) 연장의 개념

연장의 과정은 다음과 같다. 지형적 경계를 구성하는 꼭짓점 중 i 번째 점과 $i+1$ 번째 점을 잇는 선분을 연장길이(δ)만큼 연장한다. 연장하여 새롭게 생긴 선분이 지형적 경계와 만나는 교점(P)을 $i+1$ 번째 점으로 새롭게 정의한다. 만약 새롭게 정의된 꼭짓점과 i 번째 점을 잇는 선분이 지형적 경계를 침투하면 연장을 제한한다. 위의 과정을 지형적 경계를 이루는 모든 꼭짓점에 대해 진행한다. 그림 11은 연장의 과정을 나타낸 것이다.

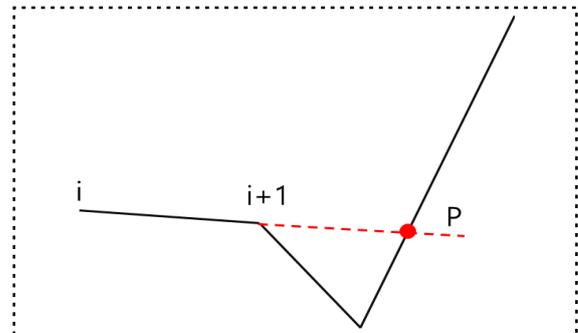


그림 11. 연장의 개념
 Fig. 11. Concept of extension.

2) 연장과 perpendicular 알고리즘의 동시 적용

연장을 사용함으로써 지형적 경계를 구성하는 새로운 점이 정의되게 된다. 따라서 단순화 이후에 연장을 진행하는 것 보다 단순화 이전에 연장을 진행 하는 것이 보다 효과적이다. 그림 12의 초록색 경계는 단순화가 진행되기 전의 지형적 경계이며 파란색 경계는 단순화 이전의 지형적 경계를 $\delta = 3$ 으로 설정하고 연장한 지형적 경계이다. 빨간색 경계는 연장이 완료된 지형적 경계를 perpendicular 알고리즘으로 단순화한 지형적 경계이다. 해당 그림을 통해 알 수 있듯이, 연장과정을 적용함으로써 perpendicular 알고리즘만으로는 단순화 되지 않는 굴곡이 큰 경계선이 보다 효과적으로 단순화됨을 알 수 있다.

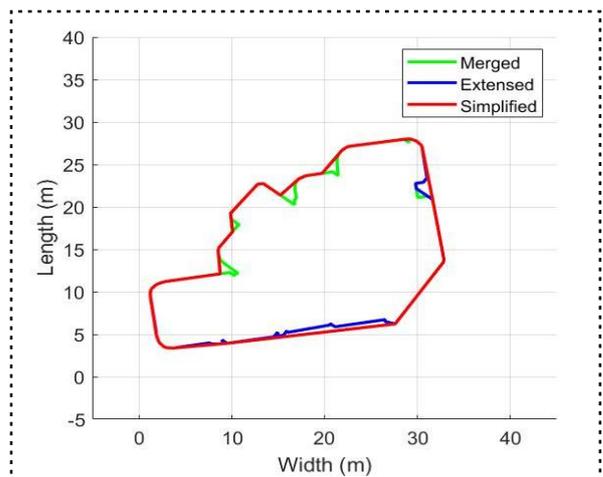


그림 12. 연장(delta=3)과 단순화를 진행한 지형적 경계
 Fig. 12. Extended($\delta = 3$) and simplified geofence.

3-2 개선된 단순화 알고리즘의 평가

1) 정성적 평가

그림 13은 연장과 단순화를 모두 진행한 지형적 경계와 단순화만을 진행한 지형적 경계를 동시에 나타낸 그림이다. 초록색 경계는 $\epsilon = 3$ 으로 하여 단순화만을 진행한 지형적 경계이며, 파란색 경계는 $\epsilon = 0.6$ 으로 하여 단순화만을 진행한 지형적 경계이다. 빨간색 경계는 $\delta = 3$ 으로 하여 연장을 진행한 후 $\epsilon = 0.6$ 으로 하여 단순화를 진행한 지형적 경계이다. 그림을 통해 알 수 있듯이, 연장과정이 건물 윤곽을 과도하게 왜곡하지 않으면서 효과적으로 단순화된(꼭짓점의 개수가 적은) 지형적 경계를 생성하는데 도움이 됨을 알 수 있다. 반대로 perpendicular 알고리즘만 사용할 경우에는 단순화와 과도한 공간의 낭비를 최소화할 수 없는 것을 알 수 있다.

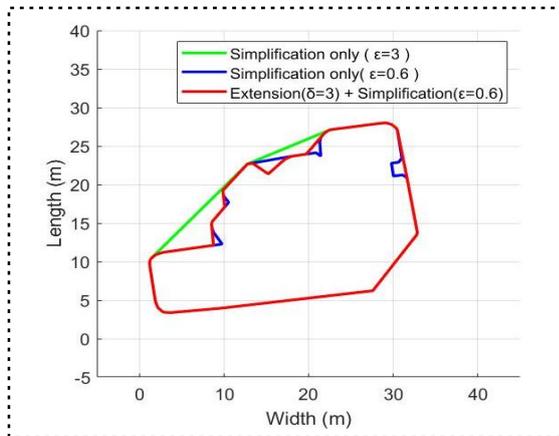


그림 13. 연장과 단순화를 동시에 진행한 지형적 경계와 단순화만을 진행한 지형적 경계의 비교

Fig. 13. Comparison of geofences which use both extension and simplification and simplification only.

2) 정량적 평가

연장에 대한 정량적 평가는 perpendicular 단순화만을 진행한 지형적 경계와 연장을 추가적으로 실시한 지형적 경계 간의 ‘점의 개수 대비 면적’과 ‘계산시간’을 기준으로 진행하였다. 연장과 단순화를 모두 진행한 지형적 경계는 δ 를 1부터 20까지 1씩 증가시키고 ϵ 을 0.6으로 고정하였고, 단순화만을 진행한 지형적 경계는 ϵ 을 0.1부터 2까지 0.1씩 증가시키며 비교를 진행하였다.

그림 14는 연장과 단순화를 모두 진행했을 때와 단순화만을 진행했을 때 점의 개수 대비 면적을 그래프로 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이, 연장과 단순화를 모두 진행한 경우가 단순화만을 진행한 경우보다 점의 개수 대비 더 적은 지형적 경계 면적을 차지함을 알 수 있다. 이는 연장과 단순화를 모두 진행하는 과정이 공간적 효율성이 뛰어나다고 해석할 수 있다. 하지만 점의 개수가 적어질 때, 즉 δ 의 값이 과도하게 커질 때는

오히려 공간적 효율성이 낮아지는 결과를 보였다.

그림 14를 통해 알 수 있는 또 다른 사실은 ϵ 의 증가 없이 δ 의 변화만을 통해 단순화를 효과적으로 진행할 수 있다는 것이다. 이는 perpendicular 알고리즘의 단점인 ϵ 증가에 따른 공간적 낭비를 최소화 하면서 단순화를 효과적으로 진행할 수 있다고 해석할 수 있다.

그림 15는 두 과정의 계산시간을 비교한 그래프이다. 연장을 추가적으로 실시한 경우가 단순화만을 실시한 경우보다 더 많은 계산시간이 요구됨을 알 수 있다. 이는 연장이라는 새로운 단계에 필요한 추가 계산량에 의한 결과이다.

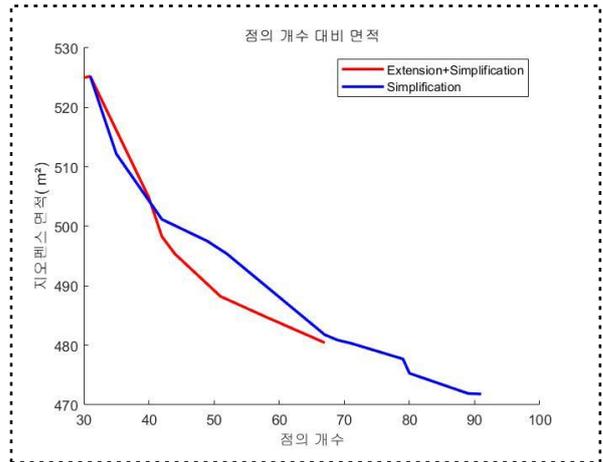


그림 14. 점의 개수 대비 지형적 경계 면적 비교
Fig. 14. Geofence area size v.s. the number of vertices.

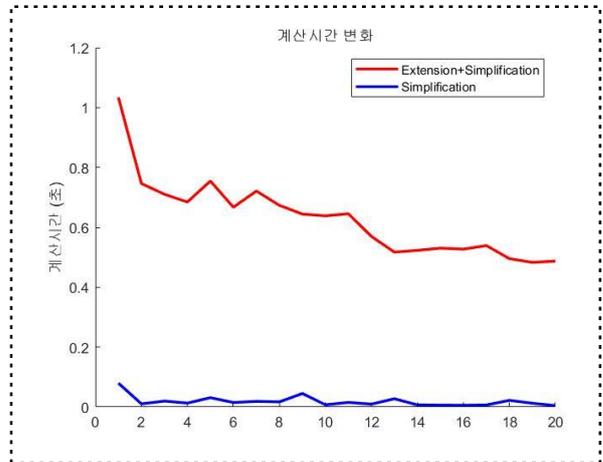


그림 15. 계산시간의 비교
Fig. 15. Calculation time comparison.

IV. 결론

본 연구에서는 지형적 경계에 적용될 수 있는 다양한 단순화 알고리즘에 대한 비교분석을 진행했으며, perpendicular 알고리즘에 연장(extension)의 개념을 적용한 새로운 지형적 경계 단

순화 방법을 제안하였다.

본 논문에서 비교한 3가지 단순화 알고리즘들 중 perpendicular 알고리즘이 지형적 경계의 꼭짓점 제거능력 및 계산시간에 있어 다른 알고리즘 보다 좋은 결과를 보였지만, 단순화 정도(허용거리)가 증가함에 따라 낭비되는 공간이 급격히 증가하는 한계점을 보였다. 해당 문제를 해결하기 위해 연장(extension)을 적용한 개선된 perpendicular 단순화 방법을 제안하였고, 이를 통해 공간적 낭비를 최소화 하면서도 꼭짓점의 개수를 효과적으로 줄일 수 있었다.

추후 연구에서는 보다 다양한 형태의 건물 데이터를 기반으로 제안된 기법의 성능에 대한 추가적인 분석이 필요하다. 특히 제안된 알고리즘이 계산 복잡성 측면에서 보다 많은 수의 건물 데이터가 주어진 경우에 적용가능한 지에 대한 연구가 필요할 것이다. 또한 제안된 알고리즘에 사용되는 주요 파라미터 값들을 최적화하는 방법에 대한 연구도 필요하다.

Acknowledgement

본 연구는 “무인비행장치의 안전운항을 위한 저고도 교통관리체계 개발 및 실증시험”과제의 일환으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

References

[1] ICAO(International Civil Aviation Organism), Unmanned aircraft systems traffic management(UTM) - a common framework with core principles for global harmonization, edition 3,2020

[2] M. N. Stevens .and E. M. Atkins, “Layered geofences in complex airspace environments,” AIAA Aviation Forum, Atlanta: GA, 2018.

[3] Zhu, G, and Wei, P. “Low-altitude UAS traffic coordination with dynamic geofencing,” AIAA Aviation Forum, Dallas: TX, 2016.

[4] J. Hu, H. Erzberger, K. Goebel, and Y. Liu, “Probabilistic risk-based operational safety bound for rotary-wing unmanned aircraft systems traffic management,” *Journal of Aerospace Information Systems*, Vol. 17, No. 3, pp. 171-181, Mar. 2020.

[5] A. J. Moore, M. Schubert, T. Fang, J. Smith, and N. Rymer, “Lidar-derived navigational geofences for low altitude flight operations,” AIAA Aviation Forum, Online , 2020.

[6] K. S. Jung, “Geo-fencing automatic generation method for low altitude unmanned aircraft system traffic management,” M.S. thesis, Korea Aerospace University, Gyeonggi-do, Korea, 2019.

[7] 공역관리규정(국토교통부고시 제2019호-177호, 2019. 4. 12) 제 8조

[8] Google map [Internet], Available: <https://www.google.co.kr/maps/@37.5236438,127.0463732,3a,90y,46.75h,132.48t/data=!3m6!1e1!3m4!1seH211LE2vSBysG8Zc7kGgg!2e0!7i13312!8i6656?hl=ko>

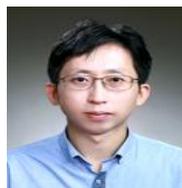
[9] W. J. Park, S. Y. Park, and K. Y. Yu , “Comparative study on the building outline simplification algorithms for the conversion of construction drawings to GIS,” *Journal of Korea Spatial Information Society*, Vol. 16, No. 3, pp. 35-41, Sep 2008.

[10] MathWorks, <https://kr.mathworks.com>



신 수 영 (Su-Young Shin)

2020년 8월 : 한국항공대학교 항공교통물류학부 (이학사)
2020년 9월 ~ 현재 : 한국항공대학교 스마트드론융합학부 (공학석사)
※ 관심분야 : 무인기 교통관리시스템, 도심형 공중이동체



이 금 진 (Keumjin Lee)

2008년 5월 : 조지아공과대학 항공우주공학 (공학박사)
2008년 ~ 2009년: 프랑스 국립항공대학교(ENAC)박사후 과정
2009년 ~ 2010년: 한국교통연구원 부연구원
2010년 ~ 2012년: 일본 전자방법연구소(ENRI) 연구원
2012년 ~ 현재: 한국항공대학교 항공교통물류학부 부교수
※ 관심분야 : 항공교통관리, 무인기 교통관리시스템