

# 생활도로에서의 충돌사고 예방을 위한 객체 충돌 감지 알고리즘 개발 Development of an Object Collision Detection Algorithm for Prevention of Collision Accidents on Living Roads

서명국<sup>1\*</sup> · 신희영<sup>1</sup> · 정황훈<sup>1</sup> · 채준성<sup>2</sup>

Myoung Kook Seo, Hee Young Shin, Hwang Hun Jeong and Jun Seong Chae

Received: 21 Jul. 2022, Revised: 29 Jul. 2022, Accepted: 9 Aug. 2022

**Key Words** : Living Roads(생활도로), Traffic Safety(교통안전), Collision Detection(충돌감지), Object Movement Model(객체이동모델)

**Abstract:** Traffic safety issues have recently been seriously magnified, due to child deaths in apartment complexes and parking lots. Accordingly, traffic safety technologies are being developed to recognize dangerous situations on living roads and to provide warning services. In this study, a collision detection algorithm was developed to prevent collision accidents between moving objects, by using object type and location information provided from CCTV monitoring devices. To determine the exact collision between moving objects, an object movement model was developed to predict the range of movement by considering the moving characteristics of the object, and a collision detection algorithm was developed to efficiently analyze the presence and location of the collision. The developed object movement model as well as the collision detection algorithm were simulated, in a virtual space of an actual living road to verify performance and derive supplementary matters.

## 1. 서 론

생활도로는 폭이 9m~12m 미만의 좁은 도로로 대부분 차도와 인도가 분리되어 있지 않으며, 도로교통법의 사각지대로 안전사고가 종종 발생한다. 서울 연구소가 조사한 자료<sup>1)</sup>에 의하면 2018년부터 2020년까지 서울에서 발생한 교통사고는 연평균 218,909건이며, 이 중 생활도로와 관련한 사고는 103,425건으로 전체의 47.2%를 차지할 정도로 높은 비중을 차지한다.

최근 아파트단지, 주차장 등에서 발생한 어린이 사망사고로 인하여 교통안전 문제가 심각하게 제기되

면서, 생활도로 내 위험상황(비보호 좌회전, 불법주정차, 일방통행도로 역주행)에서 위험 상태를 신속히 제공해주는 교통안전기술(Fig. 1)이 개발되고 있다. 개발하는 교통안전기술은 CCTV와 레이더(radar)로 구성된 모니터링 장치를 이용하여, 이동 중인 객체의 종류와 위치 등 정보를 획득한다. 그리고 획득 정보를 바탕으로 객체 간 충돌 등 위험 상황을 분석하여, 위험 상황 판단 시 다양한 형태의 표시물에 정보를 제공한다.

본 연구에서는 생활도로에 설치된 AI 기술기반의 영상분석 솔루션으로부터 제공된 객체 종류와 위치

\* Corresponding author: seomk@koceti.re.kr  
1 Smart Engineering Lab. Korea Construction Equipment Technology Institute, Gunsan, Jeollabuk-do, 54004, Korea  
2 Pintel, Seocho-gu, Seoul, 06729, Korea  
Copyright © 2022, KSFC  
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.



Fig. 1 Traffic safety Technology

정보를 이용하여, 이동체(보행자, 차량 등) 간의 충돌 사고를 예방하기 위한 충돌 판단 알고리즘을 개발하였다. 정확한 이동체의 충돌 여부를 판단하기 위해서 객체의 이동 특성을 고려하여 이동 가능 범위를 예측할 수 있는 모델을 개발하였고, 효율적으로 충돌 여부와 위치를 분석하는 충돌 판단 알고리즘을 개발하였다. 개발한 객체 이동 모델과 충돌 판단 알고리즘은 실제 생활도로를 모사한 가상공간에서 모의실험(simulation)하여 성능을 검증하고 보완사항을 도출하였다.

## 2. 관련 연구

### 2.1 차량 충돌 위험도 판별 기술

차량 간 충돌 위험도를 판별하기 위해 두 차량 간 교차 여부는 Fig. 2와 같이 차량의 현재 좌표와 이동한 좌표가 이루는 선분의 교점 유무로 판단할 수 있다. 선행 연구<sup>2-5)</sup>에서는 개별 차량의 속도를 바탕으로 충돌 지점과 충돌 시간도 산출하고, 안전도평가지표인 최소정지거리(SDI: Stop Distance Index)와 충돌 시간(TTC: Time to Collision)을 반영하여 충돌의 심각도를 4단계로 분류하였다. Fig. 2에서  $P$ 는 차량의 위치,  $t_r$ 은 인지반응시간,  $d_L$ 는 선행차량의 정지거리,  $d_r$ 는 후행차량의 정지거리,  $k$ 는 임계치를 나타낸다.

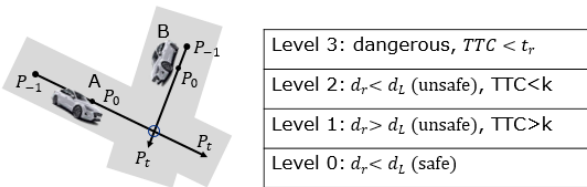


Fig. 2 Collision analysis and risk level

### 2.2 객체 이동 모델링

차량의 이동 경로는 식 1처럼 두 곳의 위치 데이터를 이용하여 속도와 방향, 이동 거리가 추정 가능<sup>2)</sup>하고, 급정지 등 이벤트 발생 시 종방향 마찰계수와 차량 속도를 기반을 두어 차량의 제동 거리와 이동 좌표를 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} x_{t+1}^a &= x_t^a + Ds^a \times \sin\alpha, \\ y_{t+1}^a &= y_t^a + Ds^a \times \cos\alpha, \\ \alpha &= \tan^{-1}\left(\frac{x_t^a - x_{t-1}^a}{y_t^a - y_{t-1}^a}\right), \\ Ds^a &= \frac{v^a}{254f} \end{aligned} \quad (1)$$

여기서  $(x_{t+1}^a, y_{t+1}^a)$ 는  $t+1$  프레임(frame)에서 차량( $a$ )의 위치 좌표,  $D_s$ 는 정지거리,  $f$ 는 종방향 마찰계수,  $\alpha$ 는 차량의 주행 방향을 나타낸다.

차량의 주행 방향은 이전 위치와 현재 위치를 기반으로 계산할 수 있지만, Oh의 연구<sup>6)</sup>처럼 이전 이동방향 편향(실제 이동한 방향과 예측한 방향의 차이)에 가중치를 반영하여 주행 방향의 편향성을 고려할 수 있다(식 2와 Fig. 3).

$$\theta_{tendency} = \sum_{i=1}^k \theta_i \times \omega_{\theta_i} \quad (2)$$

여기서  $\theta_i$ 는 이전 주행 방향 편향,  $\omega$ 는 가중치를 나타낸다.

보행자는 차로를 따라 이동하는 차량과 다르게 목적지 방향, 거리 폭, 장애물 등 다수 요소로 인하여 상대적으로 자유로운 이동 경로를 가진다. 최근 선행 연구<sup>5,6)</sup>에서는 보행자의 이동 특성을 고려하여 이동 경로를 확률적으로 모델링하는 기법을 제시하였다. 확률기반 모델링 기법은 일정 시간 후의 보행자의 이동 가능 범위를 Fig. 3처럼 타원으로 근사화한다. Oh의 연구<sup>6)</sup>에서는 타원의 범위를 보행자의 가속도 분포의 종/횡방향 표준편차를 이용하여 계산하였다.

보행자의 연속적인 위치 데이터 분석방법 외에도 최근 발표된 연구<sup>7-9)</sup>에서는 보행자와 주변의 고정사물 및 움직이는 다른 보행자의 상호작용을 반영한 경로를 지속적으로 학습(deep learning)하여 보다 향상된 경로 예측이 가능한 모델이 제시되었다. 그리고 기존 학습 기반 보행자 이동 경로 모델이 과도한 연산을 요구하는 한계를 극복하기 위해서 지식증류(knowledge distillation)를 이용하여 임베딩 환경에서도 실시간으로 운용 가능한 모델<sup>10)</sup>도 제시되었다.

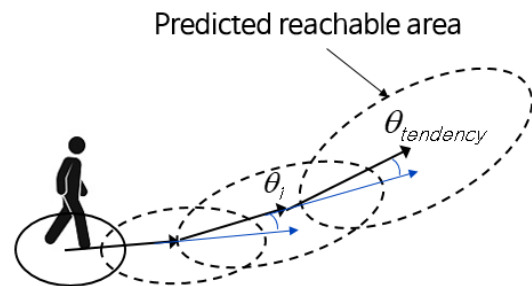


Fig. 3 Pedestrian movement model using an ellipse

### 3. 측정데이터 기반 객체 이동 모델링

#### 3.1 객체 데이터

본 연구에서는 생활도로에서 보행자와 차량의 이동 특성을 분석하기 위해서 AI 기술기반의 영상분석 솔루션에서 측정된 객체 데이터(Fig. 4)를 활용하였다.

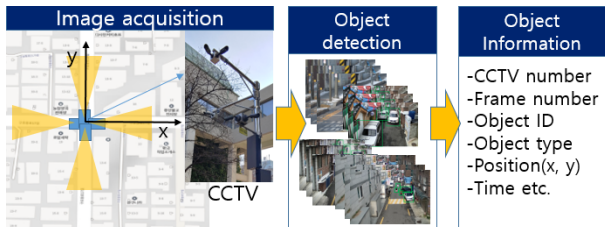


Fig. 4 Acquisition of object data at living roads

모니터링 시스템은 생활도로 교차로의 각 방향으로 설치된 CCTV로부터 실시간으로 영상을 촬영하고, 영상에 딥러닝(deep learning) 객체 인식 알고리즘을 적용하여 영상 내 객체의 정보(위치, 객체 종류 등)를 추출한다. 추출한 객체 정보는 프레임 번호, 객체 ID, 객체 타입, x좌표, y좌표 등으로 구성된다. 객체의 위치 좌표는 설정한 기준 CCTV 좌표로 변환되어 제공된다(Fig. 4).

#### 3.2 객체 위치 필터링과 보정

CCTV 모니터링 시스템에서 제공하는 객체의 위치 데이터는 통신 지연, 영상 내 객체 인식 위치 오차 등으로 인하여 오차를 포함하고 있다. 본 연구에서는 객체 위치 데이터를 안정적으로 처리하기 위해서 지수가중이동평균(exponential moving average)필터를 사용하였다. 가중치( $\alpha$ )는 데이터의 편차를 고려하여 0.9를 사용하였다.

$$\bar{x}_k = \alpha \bar{x}_{k-1} + (1 - \alpha)x_k \quad (3)$$

한편, 영상에서 딥러닝 객체인식 알고리즘은 인식한 객체를 박스 형태로 표시하고, 박스 하단의 중심을 객체 위치로 설정한다. 이러한 영상에서 위치 정보는 보행자처럼 소형 객체는 객체 방향에 따라 오차가 0.5m 이내로 크지 않지만, 전장이 2m 이상인 차량은 영상 내 시점에 따라 1m 이상 오차가 발생할 수 있다. 교차로의 경우 각 도로를 향해 설치된 CCTV 영상에서는 차량은 위아래로 이동하게 된다.

본 연구에서는 차량의 위치가 차량 중심에 위치하도록 차량 종류와 차량 이동 방향에 따라 차량 길이(2m~3m)를 고려하여 보정하였다.

#### 3.3 보행자 이동 모델

보행자의 이동 특성을 모델링하기 위해서 상대적으로 긴 거리를 이동하는 7명의 보행자를 선정하고, 각 보행자에 대해서 현재 위치와 진행 방향을 기준으로 t시간 후의 보행자 위치데이터를 좌표변환하고 이를 누적하였다.

Fig. 5(a~e)는 1초부터 5초 까지 보행자의 실제 이동 위치를 함께 표시한 결과이다. Fig. 5(f)는 각 이동 시간대의 위치 데이터를 하나로 정합한 결과이다.

보행자의 위치 데이터 분포를 보면 진행 방향(그림의 가로축)으로 긴 타원 형태로 넓게 분포되어 있고, 타원에 밀집해 있는 데이터의 장축의 범위는 시간에 따라 점점 증가하는 것을 확인할 수 있다. 긴 타원 형태를 보이는 주요인은 보행자는 보행주기에 속도 변위가 있고, 이동 중 장애물을 회피 과정에서 속도 변화 일어나기 때문이다.

한편 Fig. 5(f)를 보면 진행방향의 측면 방향(그림의 세로축)에 대해서 보행자의 이동 범위가 약 3m까지는 증가하다가 이후부터는 폭이 약 2m로 유지되는 것을 볼 수 있다. 이는 보행자가 좁은 생활도로에서는 도로를 따라 이동하는 것을 보여준다.

이러한 보행자의 이동특성을 바탕으로 본 연구에서는 보행자의 이동 특성을 다음과 같이 모델링하였다.

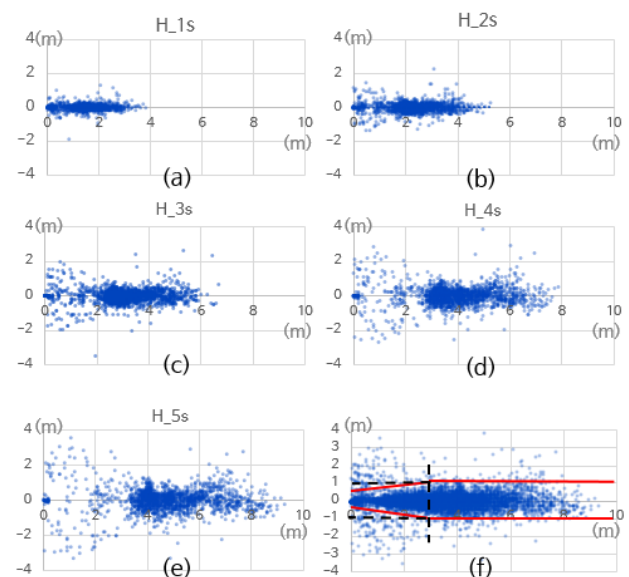


Fig. 5 Distribution of pedestrian position

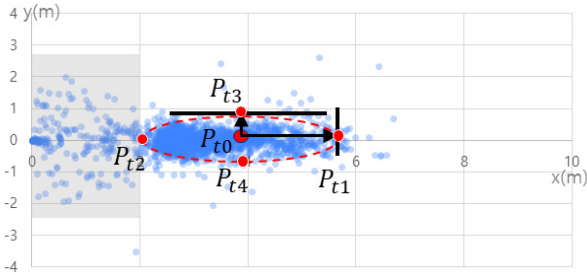


Fig. 6 A model of pedestrian movement using an ellipse

먼저 보행자가 정지해 있을 경우, 보행자의 이동 직경을 1m의 원으로 근사화하였다. 비록 측정 데이터에는 현재 위치 주변에도 위치 데이터가 존재하지만 광범위하게 산발적으로 분포되어 있어 보행 특성이라고 볼 수 없어 제외하였다.

이동을 하는 경우는 주행 방향의 편향성(식 2,  $k=1$ )을 고려하여 현재시점과 이전시점의 위치 데이터로부터 예측한 이동 시점( $t_0$ )의  $x, y$  위치 좌표( $P_{t_0}$ )를 기준으로 보행자의 이동 가능한 범위를 타원형으로 근사화하였다(Fig. 6).

- 먼저, 이동한 시점에서의 위치( $P_{t_0}$ )를 기준으로 진행방향( $x$ 축: 가로방향)으로 가까운 순으로 90%에 해당하는  $x, y$  위치 지점( $P_{t_1}$ )을 도출 후, 같은 거리에 있는 반대방향의 지점( $P_{t_2}$ )을 지정한다. 90% 기준은 측정데이터의 특성 상 90%에 해당하는 데이터가 밀집하여 분포하고 있고, 노이즈를 포함한 데이터까지 과도하게 이동 가능 범위를 확대하는 것을 피하기 위해 설정되었다. 두 지점( $P_{t_1}, P_{t_2}$ )거리는 타원의 장축길이에 해당한다.

- 현재 지점과 반대 방향 지점( $P_{t_2}$ ) 사이의 데이터 (회색 영역)는 제외하고 진행방향의 수직 방향( $y$ 축)으로 가까운 순으로 90%에 해당하는 두 지점( $P_{t_3}, P_{t_4}$ )을 지정하고 사이 거리를 계산한다. 수직 방향의 거리는 타원의 단축길이에 해당한다.

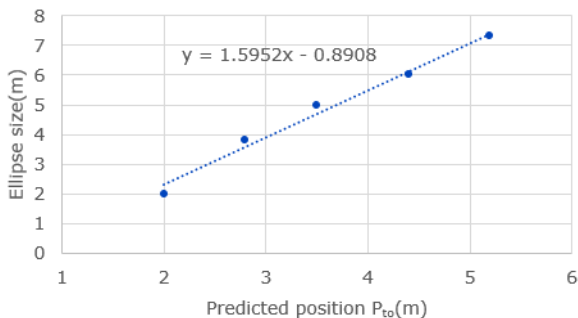


Fig. 7 A model of pedestrian movement

- 1초부터 5초 까지 5개의 각 이동 시점( $P_{t_0}$ )에 대해서 타원의 장축 값을 표시하면 Fig. 7처럼 선형으로 모델링 가능한 것을 확인할 수 있다.

이러한 보행자의 측정 데이터의 분석을 토대로 타원을 이용한 보행자의 이동 특성은 식 4와 같이 모델링하였다.

$$l_{major.h} = \begin{cases} 1.60d - 0.89 & (l_{major.h} \geq 1) \\ 1 & (l_{major.h} < 1) \end{cases}, \quad (4)$$

$$l_{minor.h} = \begin{cases} 2 & (d \geq 3) \\ \frac{1}{3}d + 1 & (d < 3) \end{cases},$$

$$d = \overline{P_0 P_{t_0}}$$

여기서  $l_{major.h}, l_{minor.h}$  은 타원의 장축과 단축 길이를 나타내며,  $d$ 는 현재와 예측시점까지의 거리를 나타낸다.

### 3.3 차량 이동 모델

생활도로에서 차량은 상대적으로 일정한 속도로 이동하기 때문에 Fig. 8(a-e)을 보는 것처럼 위치데이터가 보행자(Fig. 5)와 비교할 때 상대적으로 좁은 영역에 밀집해있다. 그리고 차량의 이동 시간이 1초부터 5초까지 증가하면 진행방향(가로축)의 위치 범위와 측면방향의 범위가 서서히 증가하는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 9는 5대의 차량에 대해서 이동 가능 범위를 타원 모델에 적용한 결과이다. 보행자와 마찬가지로 차량에 대해서도 주행 방향의 이동 가능 범위(Fig.

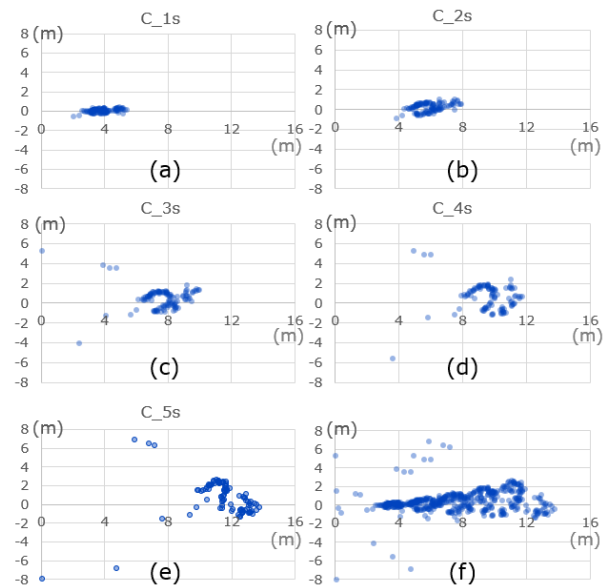


Fig. 8 Distribution of vehicle position



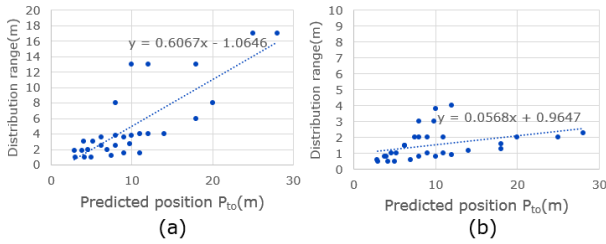


Fig. 9 The movement range of the vehicle

9(a)가 측면 방향(Fig. 9(b))보다 넓게 나타나며, 측면 방향의 경우 이동 범위가 평균 2m 이내로 상대적으로 좁다는 것을 확인할 수 있다.

본 연구에서는 차량의 이동 가능 범위는 주로 주행방향의 영향이 크며, 생활도로에서 이동 가능한 차량(소형 트럭, 승용차 등)의 크기를 고려하여 직사각형으로 차량의 이동 특성을 모델링하였다.(식5)

$$l_{major.c} = \begin{cases} 0.61d - 1.06 & (l_{major.c} \geq 5) \\ 5 & (l_{major.c} < 5) \end{cases}, \quad (5)$$

$$l_{minor.c} = \begin{cases} 0.57d + 0.96 & (l_{minor.c} \geq 2.5) \\ 2.5 & (l_{minor.c} < 2.5) \end{cases},$$

$$d = \overline{P_0 P_{t0}}$$

여기서  $l_{major.c}$ ,  $l_{minor.c}$ 은 직사각형의 장축과 단축 길이를 나타내며,  $d$ 는 현재와 예측시점까지의 거리를 나타낸다.

#### 4. 충돌 판별 알고리즘 모델링

##### 4.1 충돌 판별 알고리즘

본 연구에서는 보행자간의 충돌은 제외하고 보행자와 차량, 차량과 차량 사이의 충돌만 고려하였다.

관심영역 안에서 이동하는 객체들의 충돌 여부를 판단하기 위해서는 각 객체의 이동 가능 영역을 나타내는 모델(타원 및 직사각형)의 겹침 여부 검사가 필요하다(Fig. 10). 순차적으로 이동 시간을 0초부터

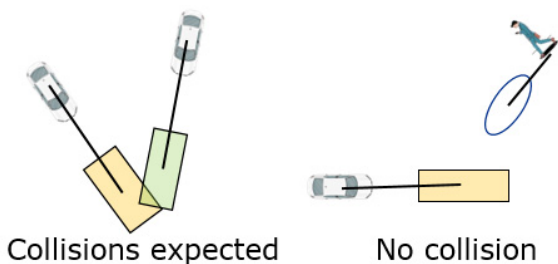


Fig. 10 Object overlap and collision

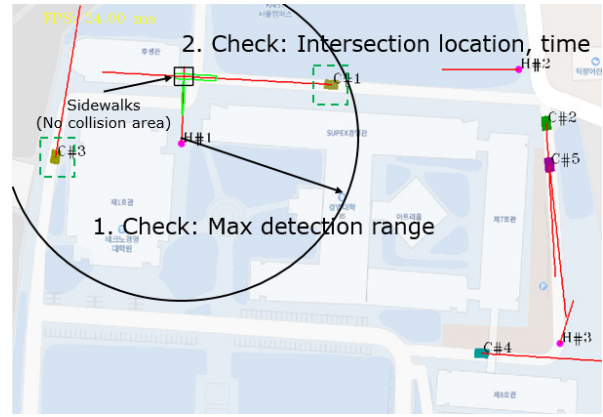


Fig. 11 Analyze for object collisions

늘려가면서 충돌 검사를 진행할 수 있지만, 관심영역 안에 객체의 수가 많아지면 상당한 연산 시간이 필요하다. 본 연구에서는 효율적으로 객체 간 충돌 여부를 분석하기 위해서 3단계로 충돌 검사를 진행하였다.

- 첫 번째 단계에서는 Fig. 11처럼 최대 감지 거리(예: 30m)를 설정하여 객체간 거리가 설정 거리 이하에 있는 대상만 충돌 여부 판단을 하였다.
- 두 번째 단계에서는 두 객체에 대해서 현재의 위치와 최대 이동 시점(예: 5초 후)에서의 이동 위치로 구성된 두 개의 선분(빨간색 선)을 이용하여 예상 충돌 위치와 시간을 도출하였다. 객체의 이동경로를 의미하는 선분의 교차는 충돌을 의미하며, 선분의 교차(충돌)가 존재할 경우 두 객체는 충돌 가능 후보로 지정하였다.

두 선분이 충돌할 경우 하나의 충돌 위치와 두 개의 교차 시간이 도출된다. 두 개의 충돌 시간은 충돌 지점까지의 객체의 이동거리가 차이가 있기 때문에, 계산된 충돌 위치와 시간은 다음 단계인 충돌 검사 진행 여부를 결정하는데 활용하였다.

충돌 위치가 도로가 아닌 영역으로 판별되면, 객체가 그 충돌 위치로 이동할 수 없기 때문에 최종 충돌 후보에서 제외하였다. 그리고 두 객체의 충돌 시간이 일정 시간(예: 2초) 이상일 경우 일부 객체가 충돌 지점을 지나간 후 상대 객체가 지나친 것으로 볼 수 있기 때문에 실제 충돌이 발생하기 어렵다. 따라서 최종 충돌 가능 후보에서 제외하였다.

• 세 번째 단계에서는 최종 충돌 가능 후보로 지정되면 객체에 대해서 본 연구에서 제시한 객체의 이동 모델과 위치 분포 모델을 이용하여 충돌 검사를 진행하였다. 충돌 검사 시간은 두 번째 단계에서 도출된 두 개의 충돌 시간에서 작은 값부터 시작한

다. 단, 객체의 모델(이동 가능 범위)은 실제 객체의 크기보다 크기 때문에 전 단계에서 예측한 시간보다 빠르게 도출된다. 본 연구에서는 작은 충돌 예측 시간보다 1초 빠른 시간부터 0.25초 간격으로 충돌 검사를 진행하였다.

충돌 검사로 충돌 예상 위치와 시간이 판별되며, 프레임마다 충돌 검사 결과를 갱신하였다. Oh 연구<sup>6)</sup>처럼 예측되는 충돌 시간과 거리 등으로 충돌 위험도를 분류 할 수 있지만, 본 연구에서는 개발하는 알고리즘을 검증하는 단계이기 때문에 위험도 분류까지 진행하지 않았다.

### 3.2 충돌 결과 필터링

생활도로는 폭이 좁으며 양 옆으로 건물과 벽으로 인하여 차량이 이동이 불가능한 영역이 존재한다. 이러한 이동 불가 영역으로 충돌 예상 위치가 예측되면 충돌이 발생하지 않는 것으로 판정할 수 있다. 본 연구에서는 차량이 이동 불가능한 영역을 나타내기 위해서 Fig. 12 오른쪽 그림처럼 색상으로 표시된 이미지를 활용하여 도로와 이외 지역으로 분류하였다. 이미지 이외에도 선분 또는 다각형 등으로 장애물 영역을 설정하여 이동 불가 영역을 나타낼 수 있다.

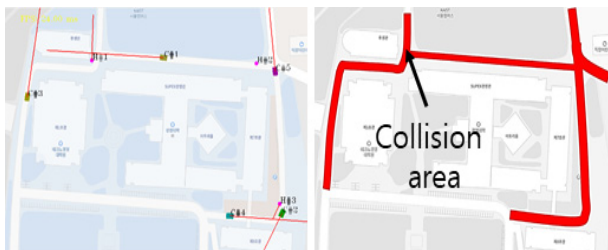


Fig. 12 Set the collision area using an image.

객체가 곡선으로 회전할 경우 일시적으로 두 객체가 교차하거나 충돌로 판별되는 경우가 발생하기도 한다. 일시적인 충돌 판별은 과도한 경보로 이어지기 때문에 경보 신뢰도 확보를 위해서는 일시적인 충돌을 제거할 필요가 있다. 본 연구에서는 충돌 분석 주기를 고려하여 같은 대상이 연속적으로 3차례 이상 충돌이 일어날 경우 최종 충돌로 판정하였다.

## 5. 모의실험

보행자와 차량에 대한 이동 모델과 충돌 판별 알고리즘의 성능을 검증하기 위해서 가상의 두 장소에서 모의실험을 수행하였다. 설계된 두 장소는 모두

실제 지도 이미지를 기반으로 생성되었으며, 보행자와 차량은 사전에 설정된 지점에 따라 일정한 속도로 인도 또는 도로를 반복적으로 이동하도록 하였다.

실제 객체의 경우, 충돌 같은 이벤트 상황 예측 시 정치나 엇갈림에 의한 회피행동<sup>11-14)</sup>을 하지만 본 모의실험에서는 회피행동은 고려하지 않았다. 시뮬레이션 프로그램은 Windows 10 기반으로 C++, Visual studio 17 MFC 기반으로 개발되었으며 영상 디스플레이를 위해 OpenCV를 활용하였다.

첫 번째 모의실험 장소는 좁은 교차로, 직선 및 곡선 도로가 포함된 대학교 내부이다(Fig. 13). 교내에서 보행자는 건물과 건물 사이를 이동할 때 도로를 자주 건너는 것을 고려하여 모의실험에서도 보행자가 반복적으로 도로를 지나가는 상황을 연출하였다.

Fig. 13에서 빨간색 원은 보행자이며, 사각형은 차량을 나타낸다. 빨간색 직선은 진행방향의 이동 경로이고, 검은색 사각형은 두 객체의 교차지점이다.

보행자 3명과 차량 5대로 모의실험을 수행한 결과(Fig. 14), 제시한 보행자의 이동 모델의 범위가 넓게

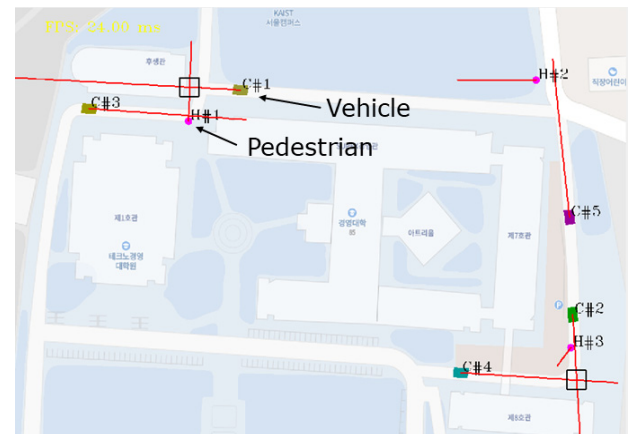


Fig. 13 Simulation at a university

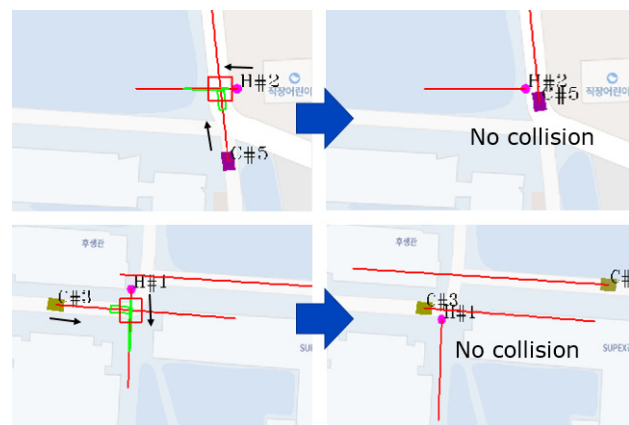


Fig. 14 Simulation result before calibration

설정된 것으로 확인되었다. 차량의 모델(녹색 사각형)이 보행자 모델(녹색 타원)의 중심에 가까운 부분에 겹치는 경우는 실제 두 객체는 충돌로 이어졌지만, 보행자 모델의 끝 부분과 겹칠 때에는 대체로 두 객체는 충돌로 이어지지 않고 약 2m~4m 인접한 거리에서 지나치는 경향을 보였다.

이러한 점을 고려하여 본 연구에서는 식 6처럼 보행자의 장축 이동 가능 범위를 절반( $c = 0.5$ )으로 줄여 다시 모의실험을 수행하였는데, 이때는 정확하게 충돌 판정이 이루어졌다(Fig. 15).

$$l_{major.h}' = c l_{major.h} \quad (6)$$

모의상황과 실제상황의 큰 차이점은 보행자의 위치 데이터이다. 앞서 설명한 것처럼 실제 보행자의 위치 데이터는 속도 변위에 의해 변동이 심한 반면, 모의상황에 위치데이터는 거의 일정하다. 실시간으로 측정되는 보행자의 위치가 적용된다면 보행자의 이동 가능 범위는 변동이 클 것으로 예상되기 때문에 식 6처럼 보정 파라미터( $c$ )를 통해 도로의 특성에 맞게 보행자의 이동 가능 범위를 조정해 주는 것이 필요하다.

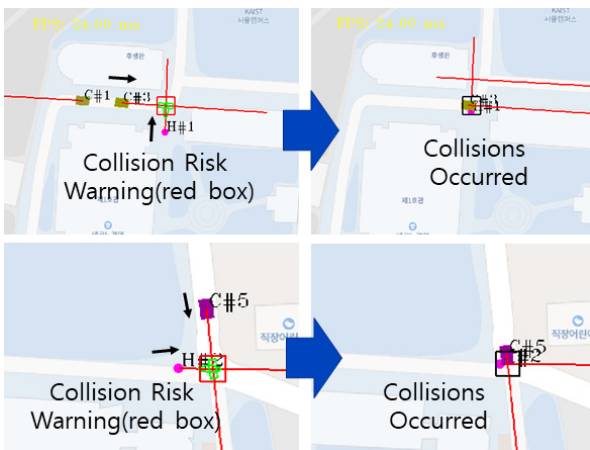


Fig. 15 Simulation result after calibration

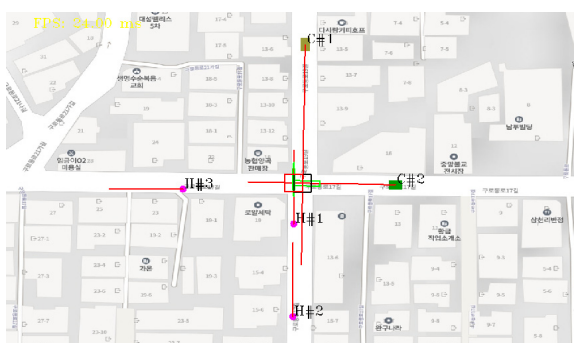


Fig. 16 Simulation at living roads

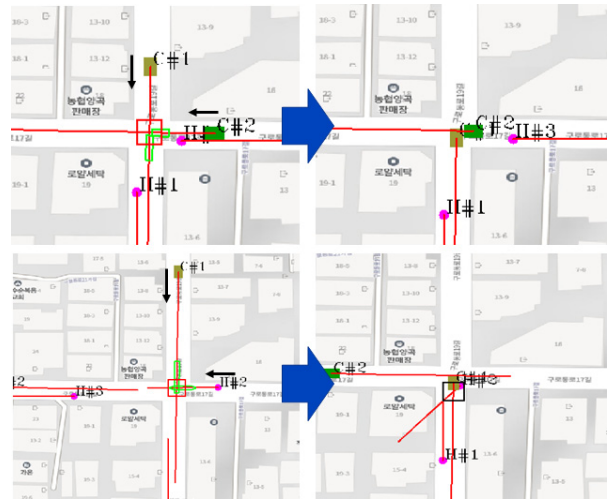


Fig. 17 Simulation result at living roads

두 번째 장소는 CCTV 객체 데이터를 획득한 실제 생활도로 교차로이다(Fig. 16). 대상 장소는 도로의 폭이 5m 이내로 차도와 인도의 구분이 없고 차량과 보행자가 혼재하여 이동한다. 교차로 주변에는 건물이 있어 교차로 진입 시 상대 차량 및 보행자가 운전자 사각지대에 있어서 충돌 위험이 높은 지역이다.

교차로에서의 충돌 판단 성능을 검증하기 위해서 차량 2대와 보행자 3명이 도로를 따라 이동하도록 이동 경로를 설정하였다.

대학교에서 진행했던 모의실험과 마찬가지로 보행자의 장축 이동 가능 범위를 보정하였을 때, Fig. 17 처럼 충돌 상황을 정확하게 예측하였다.

## 7. 결론

본 논문에서는 생활도로에서 객체 간 충돌을 예측하고 사전에 충돌사고를 예방하기 위해 사용가능한 보행자 및 차량의 이동 모델과 충돌 판별 알고리즘을 제시하였다.

제시한 객체의 이동 모델은 실제 생활도로 상에서 측정한 위치 데이터를 기반으로 도출되었으며, 객체의 이동 분포 특성에 따라 타원과 직사각형 형태의 이동 모델을 제시하였다. 그리고 효율적으로 객체 간 충돌 여부 판단하기 위해서 교차지점과 시간을 기반으로 충돌 검사 대상을 필터링 하는 방법을 제시하였다.

제시한 모델과 알고리즘의 성능을 검증하기 위해서 실제 생활도로의 지도를 기반으로 가상공간과 객체 이동 경로를 생성하였다. 모의실험 결과 측정 데이터로 도출한 초기 모델의 경우 일부 과도하게 충돌 상황으로 판단하였으며, 보행자 모델의 장축 범위

를 보정할 경우, 정확하게 충돌을 판별하는 것으로 나타났다.

향후 진행되는 연구에서는 생활도로에서 객체 정보를 충분히 확보하여 기존 객체 이동 모델을 향상할 예정이다. 그리고 개발한 모델과 알고리즘을 실증 지역에 설치된 감지 시스템에 적용하여 성능을 검증하고자 한다.

## 후 기

이 논문은 행정안전부의 2021년도 국민수요 맞춤형 생활안전 연구개발사업의 지원을 받아 제작되었습니다.(20015357)

## 이해관계(CONFLICT OF INTEREST)

이 논문에는 이해관계 충돌의 여지가 없음

## References

- 1) S. Y. Shin, "A Study on the Management and Improvement of Living Roads in Seoul," The Seoul Institute, 2020.
- 2) M. S. Kim, J. k. Oh, E. C. Kim and D. U. Keong, "Application of Traffic Conflict Decision Criteria for Signalized Intersections Using an Individual Vehicle Tracking Technique," Korean Society of Transportation, Vol.26, No.4, pp.173-184, 2008.
- 3) C. Oh, J. T. Oh, T. J. Kim and T. J. Song, "Advanced Freeway Traffic Safety Warning Information System based on Surrogate Safety Measures (SSM): Information Processing Methods," Korean Society of Transportation, Vol.27, No.3, pp.59-70, 2009.
- 4) C. Hyden, "The Development of a Method for Traffic Safety Evaluation: The Swedish Traffic Conflict Technique," Lund Institute of Technology, Dept. of Traffic Planning & Engineering, 1987.
- 5) M. Saffarzadeh, S. Naserlavi, N. Nadimi and A. R. Mamdoohi, "A general formulation for time-to-collision safety indicator," Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Vol.166, pp.294-304, 2012.
- 6) K. S. Oh, S. Y. Park, J. H. Seo, G. H. Lee and K. S. Yi, "Laser-Scanner-based Stochastic and Predictive Working-Risk-Assessment Algorithm for Excavators," Journal of Drive and Control, Vol.13 No.4 pp.14-22, 2016.
- 7) A. Alahi, K. Goel, V. Ramanathan, A. Robicquet, L. Fei-Fei, and S. Savarese, "Social LSTM: Human Trajectory Prediction in Crowded Spaces," In The IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2016.
- 8) A. Vemula, K. Muelling and J. Oh, "Social Attention: Modeling Attention in Human Crowds," In 2018 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.1-7, 2018.
- 9) I. H. Bae and H. G. Jeon, "Disentangled Multi-Relational Graph Convolutional Network for Pedestrian Trajectory Prediction," The Thirty-Fifth AAAI Conference on Artificial Intelligence, Vol.35 No.2, 2021.
- 10) I. K. Choi, Y. H. Lee, H. Song, "Determining Whether to Enter a Hazardous Area Using Pedestrian Trajectory Prediction Techniques and Improving the Training of Small Models with Knowledge Distillation," Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering, Vol.25, No.9, pp.1244-1253, 2021.
- 11) S. R. Perkins and J. I. Harris, "Traffic Conflict Characteristics-Accident Potential at Intersections," Highway Research Record, pp.35-43, 1968.
- 12) Y. J. Kim, J. S. Moon, Y. H. Jeong and K. S. Yi, "Longitudinal Motion Planning of Autonomous Vehicle for Pedestrian Collision Avoidance," Journal of Auto-Vehicle Safety Association, Vol.11, No.3, pp.37-42, 2019.
- 13) I. Hassani, I. Maalej and C. Rekik, "Advanced Mathematical Methods for Collaborative Robotics," Mathematical Problems in Engineering, Vol.2018, 2018.
- 14) J. Yu, Y. Su and Y. Liao, "The Path Planning of Mobile Robot by Neural Networks and Hierarchical Reinforcement Learning," Frontiers in Neurorobotics, Vol.14, No.63, pp.1-12, 2020.



- 15) M. K. Seo, B. J. Yoon, H. Y. Shin and K. J. Lee, "Development of Human Detection Technology with Heterogeneous Sensors for use at Disaster Sites," Journal of Drive and Control, Vol.17, No.3 pp.1-8, 2020.
- 16) J. I. Lee, G. S. Gwak, K. S. Kim, W. Y. Kang, D. Y. Shin and S. H. Hwang, "Development of Virtual Simulator and Database for Deep Learning-based Object Detection," Journal of Drive and Control, Vol.18 No.4 pp.9-18, 2021.