

시각장애인을 위한 이미지 기반 복합쇼핑몰 길 안내 시스템

한국외국어대학교 산업경영공학과

W-inter

이규민 조민정 허강 김민지





| 프로젝트 배경

쇼핑몰에서 시각장애인 관련 기사

‘금단의 영역’ 코엑스에서 미아가 되다 “코엑스요? 절대 안 가요. 무슨 일이 있어도 절대 혼자 안 가요.”

박씨는 길을 찾을 때 종종 스마트폰의 지도 애플리케이션(앱)을 사용한다. 하지만 아쉽게도 코엑스 내부 지형은 지도 앱에 뜨지 않는다. 지금 서 있는 곳이 음식점 근처인지, 옷가게 앞인지, 그는 알 수가 없다.

쇼핑몰 내부 시각장애인 안내 부재 및 인터뷰

- 복합쇼핑몰은 장애인전용주차구역, 승강기 등 의무 설치
- 장애인이 느끼며 걸을 수 있는 점자블록 설치의 의무가 아님
- 쇼핑몰은 초행길로 어려움을 겪음, 순간 길을 잃었을 경우에도 사람을 찾아 도움을 받아야 함.

시각장애인 실내보행용 앱 개발을 위한 선호 연구에서

‘본 연구에 참여한 시각장애인들은 백화점이나 쇼핑몰에서의 독립보행 과정에서 상당한 정도의 어려움을 겪는다’

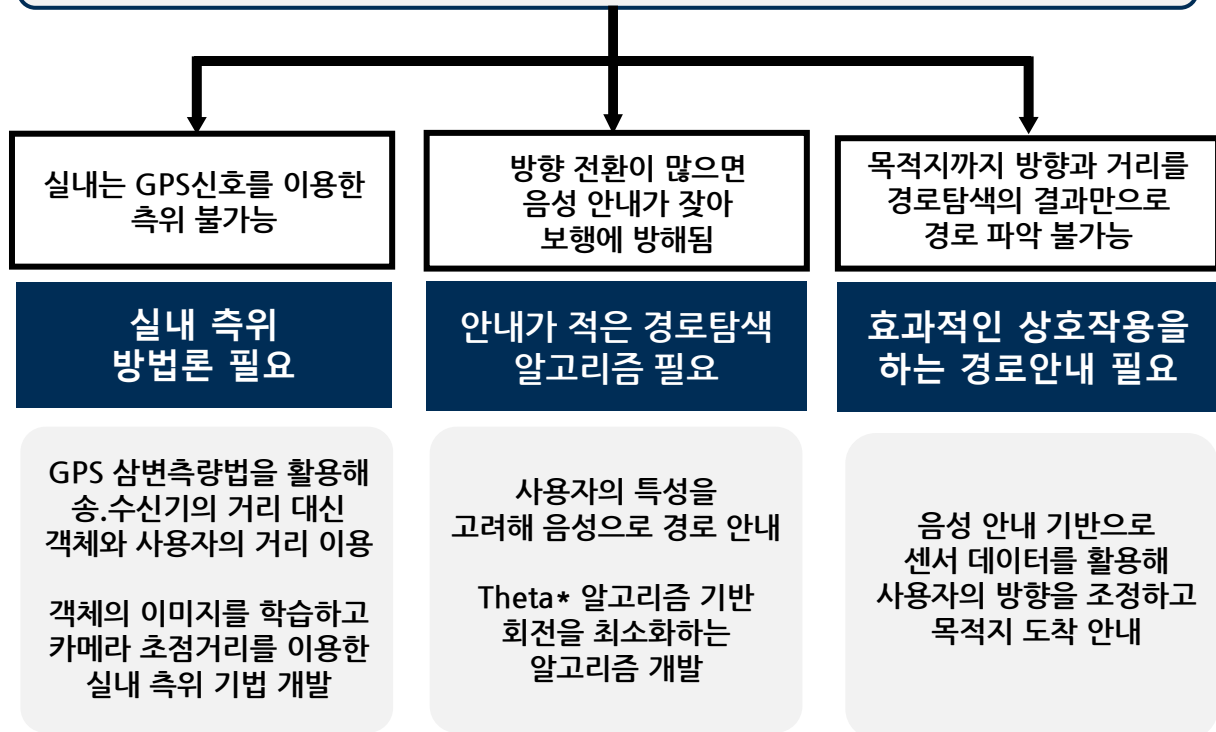
유형	응답범주 [n(%)]				M	SD
	매우 쉽다	쉬운 편이다	어려운 편이다	매우 어렵다		
백화점이나 쇼핑몰	1 (0.4)	37 (14.7)	41 (16.3)	173 (68.7)	3.53	.75

출처: 조성재, 김호연, 김민 (2020). 시각장애인 실내보행용 앱 개발을 위한 욕구 및 선호 연구, The Korean Journal of Visual Impairment, pp. 1~21

| 프로젝트 목적

“ 시각 장애인 실내 길 안내 시스템 ”

안전한 보행권을 “보조”하여 제공함으로써, 시각장애인의 독립적인 이동성을 증진시키고, 외부활동에 대한 두려움을 줄여줄 것.
복잡한 쇼핑몰 환경에서 시각 장애인이 독립적으로 목적지에 도달 할 수 있게 지원.





I 시스템 요구 사항

사용자 특성을 고려하여 API를 통한 음성안내

음성 API

1. 실내측위

- 이미지 기반 실내 측위 기법 개발
 - 비콘 등 물리적 설치 비용 및 유지보수 비용을 줄일 수 있음
 - 물리적 설치물 대신 이미지 속 물체(간판)를 파악하고 사용자와 거리를 추정 및 삼변측량 이용하여 사용자 위치 파악
- 해결책: Mask R-CNN 사용
 - 올바른 경로 탐색 및 안내를 위해 객체 탐지 및 위치 추정



2. 경로탐색

- 경로 탐색 알고리즘
 - 경로 탐색의 결과를 회전 지점을 기준으로 나누어 직선으로 안내
- 문제점:
 - 음성 안내가 잦은 경우 청각에 의존하여 보행을 하는 시각장애인에게 방해가 될 수 있음
 - 불필요한 안내 음성을 최소화
- 해결책:
 - Theta Fewer Turns* 알고리즘 개발
 - Theta* 프레임워크 기반으로 방향 전환을 최소화하는 경로 탐색 알고리즘



3. 경로안내

- 경로 탐색의 결과 즉, 보행 방향 및 거리를 음성으로 안내
- 경로 탐색의 결과만으로 시각장애인이 초행길을 파악하기에 어려움이 있음
 - 센서 데이터를 실시간 수집하여 보행 시작 방향 및 회전 방향 조정
 - 사용자의 보행 시간을 실시간으로 기록하여 회전 및 도착을 안내
- 경로 이탈 감지 및 재조정 필요

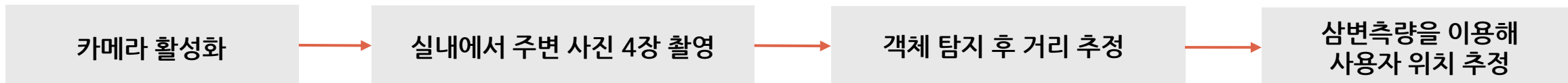
| 시스템 흐름



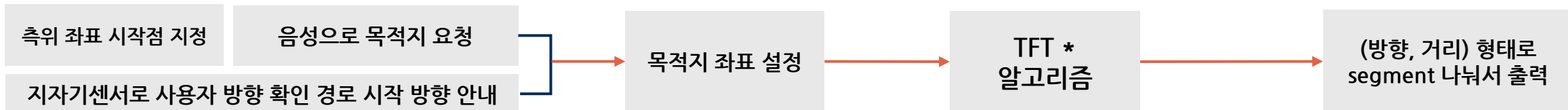
애플리케이션의 UI 모바일 애플리케이션 접근성 지침준수

Speech To Text / Text To Speech : 요청 및 안내는 모두 음성으로 진행

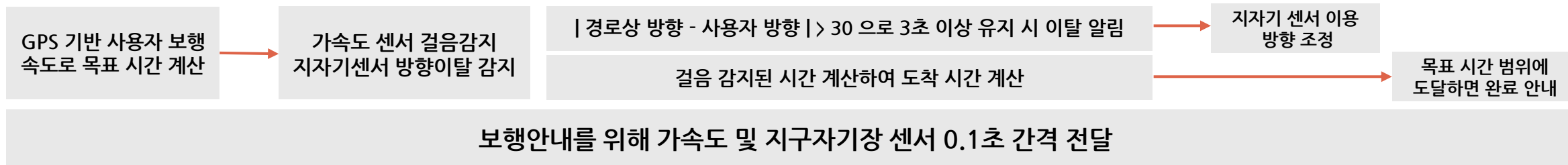
1. 실내 측위



2. 목적지 설정 및 경로 탐색



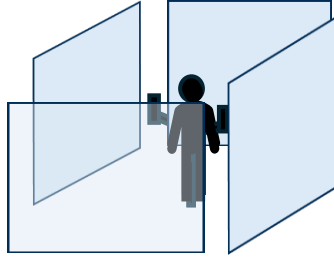
3. 센서 데이터를 이용한 경로 안내: 방향이탈 및 걸음감지를 통한 음성 안내



“시작점 지정”을 위한 실내 측위 방법론

1. 사진 촬영

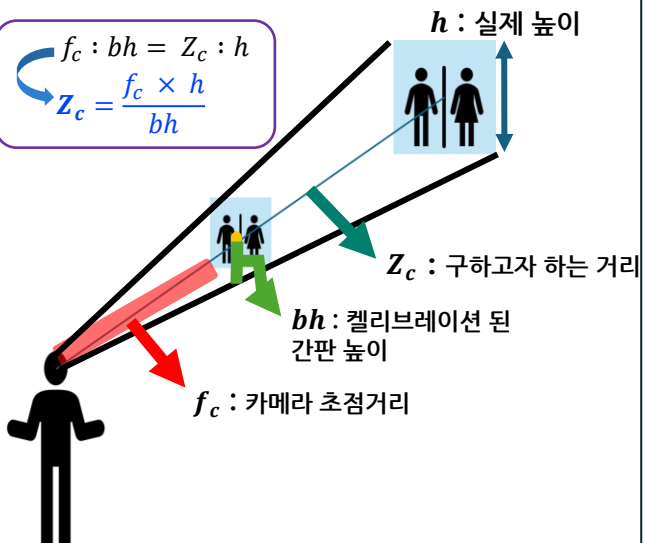
시작점을 파악하기 위해 현재 위치에서 [왼쪽, 정면, 오른쪽, 후면] 90도 기준으로 4장의 사진을 촬영하여 최소 3개 이상의 객체를 파악할 수 있도록 한다.



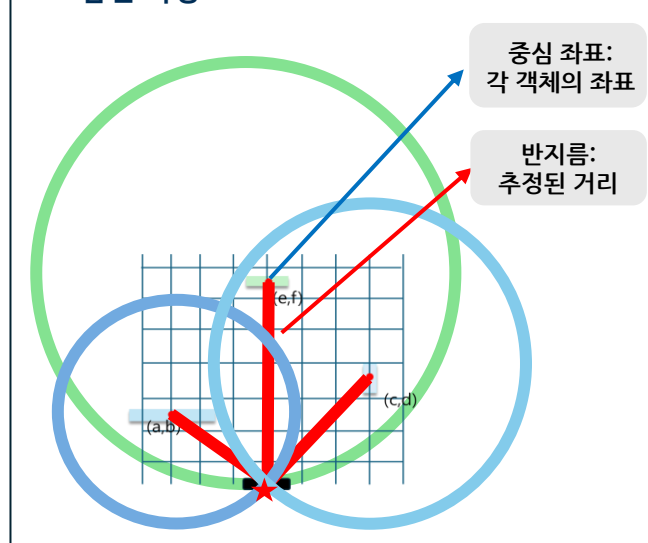
2. 거리 추정 및 삼변측량

객체 실제 높이를 알고 있다는 가정으로 삼각법 계산을 통해 Z_c (구하고자 하는 거리)를 구한다.
구해진 Z_c 을 반지름으로 하고 인식된 간판을 중심좌표로 하는 원을 생성하여 삼변측량법을 사용하여 사용자의 위치를 추정한다.

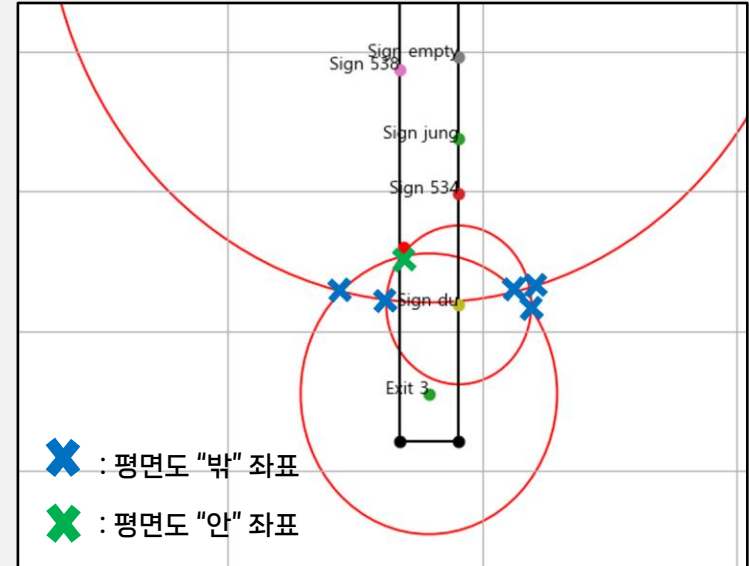
거리 추정



삼변 측량



3. 1개 예시로 추정 좌표 찾기



거리 추정이 정확하지 않기 때문에 구해진 3개의 원이 정확히 겹치지 않게 된다.
그러한 경우에는 그림과 같이 여러 점들이 나타나게 되는데

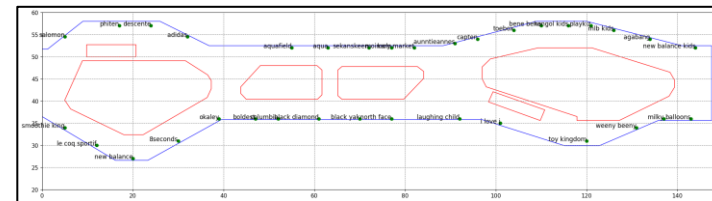
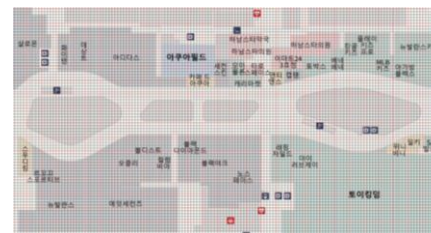
1. 평면도 밖에 좌표는 사용자가 있을 수가 없으므로 해당 좌표는 고려하지 않는다.
2. 평면도 안에서 여러 좌표가 존재 할 경우 탐지된 객체 중 추정 거리가 제일 짧은 객체와 제일 가까운 점을 선택한다.

I 실내 측위 (쇼핑몰) - 데이터 수집 및 라벨링

1. 쇼핑몰 그리드 생성 및 간판 사진 수집

- 하남 스타필드 3층을 선정 후 1m 그리드를 생성
- 1m 그리드 좌표평면을 기준으로 각 브랜드 좌표 저장
- 하남 스타필드 3층의 간판 20~30개씩 20종류 총 합 500개 수집

쇼핑몰 좌표평면



2. Mask R-CNN을 위한 이미지 라벨링 및 훈련

- VIA(VGG Image Annotator)를 이용하여 옆에서, 앞에서 본 간판을 폴리곤 형태로 라벨링 후 만들어진 json 파일로 훈련
- 제한된 쇼핑몰 환경에서 새로운 간판이 아닌 기존 훈련된 3층에 있는 간판만 인식하면 된다.

Why Mask R-CNN?

“물체를 정면에서 찍기 어려운 시각장애인을 위하여”

Bounding Box vs Instance Segmentation



Bounding Box의 경우에는 옆에서 봤을 때 실제 간판 높이에 맞춰 라벨링을 할 수가 없다.

즉, 왜곡이 발생되어 거리추정에 큰 오차가 발생하게 된다.



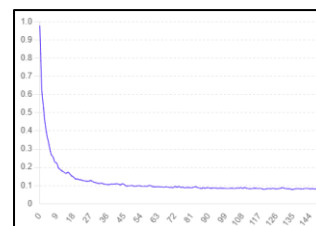
Instance Segmentation의 경우에는 옆에서 보았을 때도 간판 크기에 맞춰서 라벨링이 가능하다.

즉, Bounding Box에 비해 왜곡이 줄어들며 거리추정도 좀 더 정확해진다.

Mask R-CNN 모델 훈련 및 테스트

Train

Batch size: 4
Learning rate: 0.005
Optimizer: SGD
epochs: 150



[Train loss]

Test

500개중 20%인 약 100개
간판을 테스트

Accuracy: 95%
Average Precision: 94.2%
Average Recall: 95.6%
Average F1-score: 94%

실내 측위 결과

오차 측정

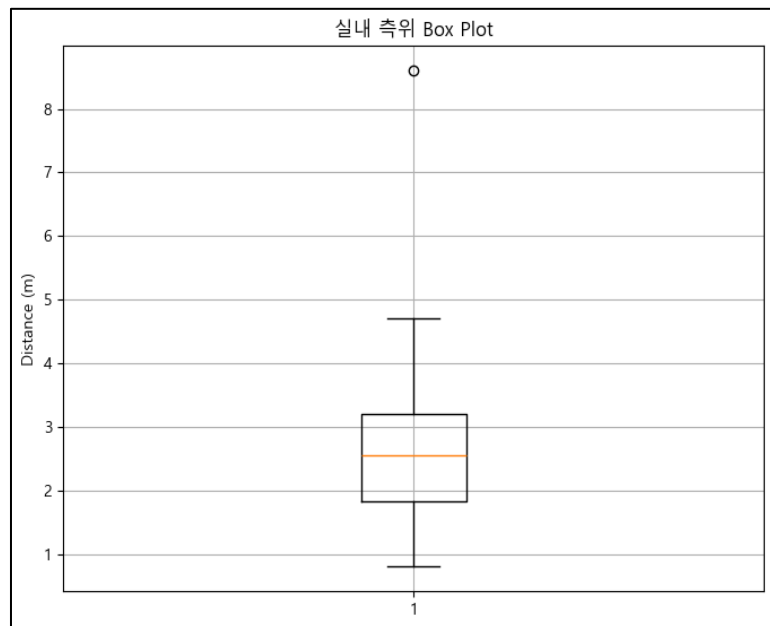
30군데 오차를 측정
쇼핑몰에서 정확한 측정이 어려워 “어떤 매장” 앞을 기준
혹은 난간을 기준으로 Ground Truth를 지정하였다.
그로 인해 정확한 Ground Truth를 지정할 순 없었다.

1.56	1.46
1.80	4.70
2.70	2.46
2.55	3.10
2.56	0.80
8.60	3.11
2.14	4.01
3.23	2.28
3.45	3.26
3.00	0.92
3.75	1.36
2.60	2.11
4.08	2.42
2.92	1.51
1.10	1.94

[실내측위 오차 데이터]



평균: 2.7m
표준편차: 1.45m



[종류별 실내 측위 정보]

	GPS	RFID	ZigBee	Wi-Fi	Bluetooth	UWB
Positioning accuracy	5 m	Regional judgment	5 m ~ 10 m	3 m ~ 10 m	1 m ~ 3 m	10 cm ~ 1 m
Distance	Outdoor	5 m	100 m	200 m	< 50 m	> 100 m
Application	Outdoor	Regional judgment	low precision	low precision	Short range, low precision	high precision, high density
Price	Low	Low	Mid	Mid	Low	High

출처: ko.rfstariot.com/the-black-technology-of-the-iphone-demystifying-ubw-technology_n109

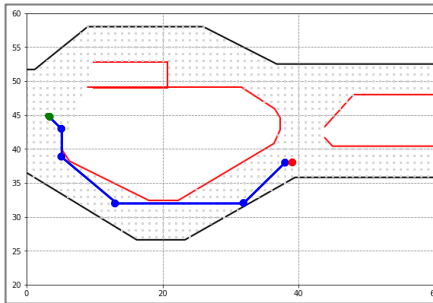
30개의 실내 측위 데이터 분포를 기반으로 만들어진 Box Plot을 봤을 때
최소값 0.92, 이상치를 포함한 최대값인 8.6으로 봤을 때,
Bluetooth와 WIFI와 비슷한 양상을 보이며 성능이 더 좋은 UWB는
설치 비용이 많이 든다.

따라서, 다른 실내 측위 기술과 비슷한 양상을 보이며 설치 비용 측면에선
UWB보다 낮은 비용을 들여 이용할 수 있다.

기존 경로 탐색 알고리즘

시각장애인들을 위한 경로는 음성 안내의 간결함을 위해 '**최단 경로**'보다는 '**방향 전환**'이 적은 경로를 우선해야 한다.

A* with Penalty

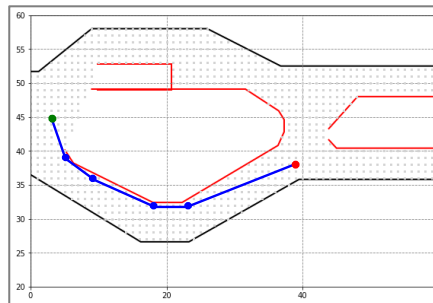


회전 수	경로 길이
5	44.80

A* 알고리즘에서 방향 전환 시 일정한 페널티를 부여하여, 방향 전환을 최소화한 알고리즘

방향 전환을 최소화하려고 해도 45도 단위의 경로 제한으로 인해 불필요한 굴곡이 발생함

Theta* 경로

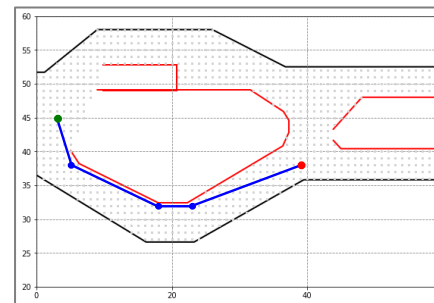


회전 수	경로 길이
4	43.26

A* 변형 알고리즘으로 방향에 제한 없이 어느 각도로든 나아갈 수 있게 하는 Any-Angle 알고리즘

모든 각도로 이동이 가능하지만, 회전 횟수를 최소화하는 데 중점을 두지 않음

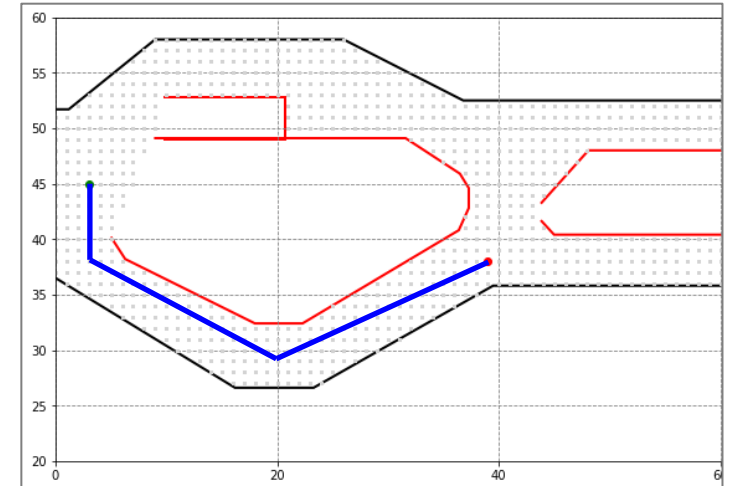
Basic Link* 경로



회전 수	경로 길이
3	43.69

Minimum-link 문제를 확장하여, 회전을 최소화하는 Any-angle 알고리즘

회전 각도를 최소화하는 것이 목적이기 때문에 경로가 부드럽게 이어질 수 있지만, 회전 수 자체를 직접 최적화하지는 않음



기대경로

개선사항

기존 알고리즘의 회전 수 최소화 한계로 인해, **회전 수를 최소화**하는 새로운 알고리즘 필요

| 개발 알고리즘 : Theta Fewer Turns (TFT) *

Theta Fewer Turns*(개발 알고리즘) 은 Theta*(기존 알고리즘) 프레임워크를 기반으로 각 경로의 방향 벡터 일치 여부를 파악하여 회전이 발생할 경우 페널티를 부여하는 방식이다. 이는 적용 대상의 평면도 특성에 맞게 회전 횟수를 최소화 한 알고리즘

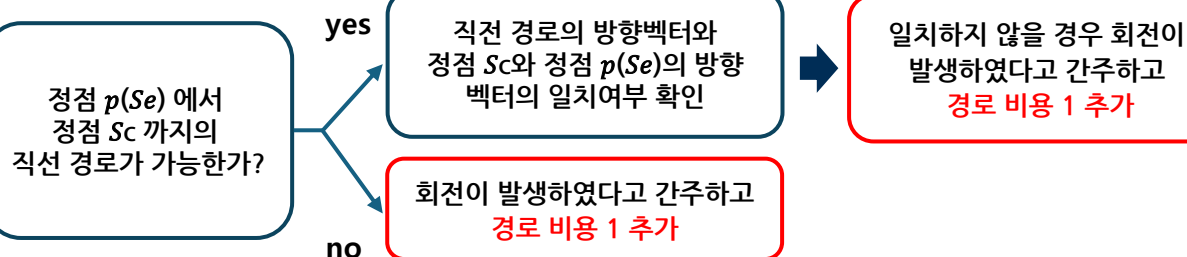
Theta*(기존) 프레임워크

현재 노드에서 부모 노드와 이웃 노드 사이의 직선 경로를 탐색

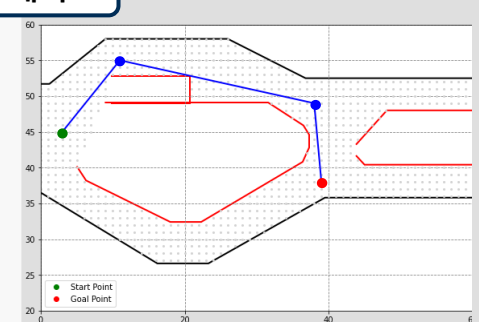


해당 직선 경로에 장애물이 없다면 부모 노드와 이웃 노드 사이의 직선 경로도 고려하여 경로 탐색

Theta Fewer Turns* (개발 알고리즘) 세부설명



예시 1



회전 수	경로 길이
2	51.51

예시 2



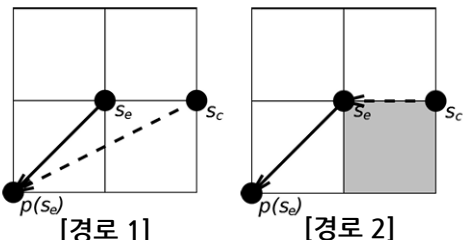
회전 수	경로 길이
2	51.87

Algorithm 2 Update Vertex Function for TFT*

```

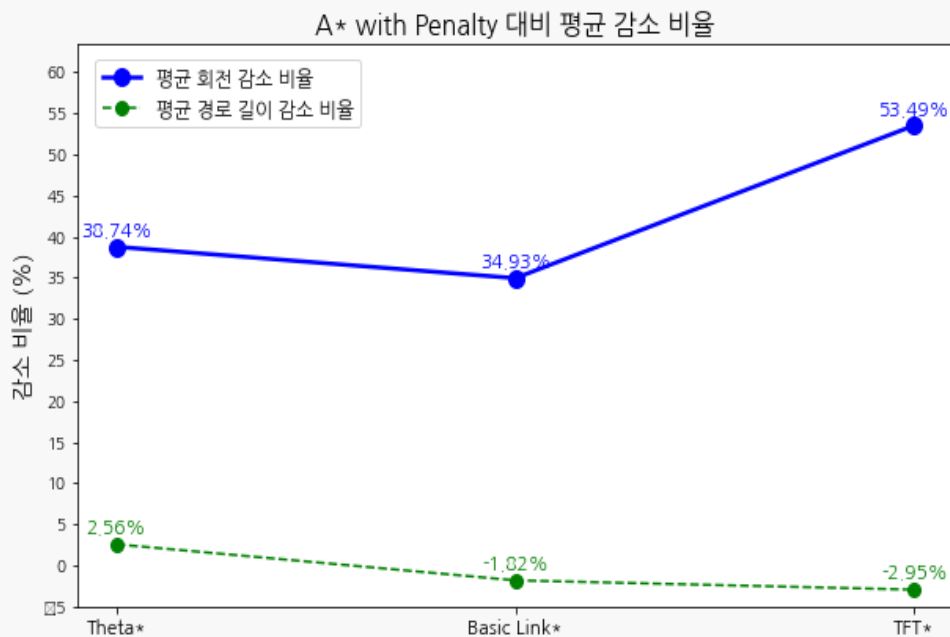
1: UpdateVertex( $s_e, s_c$ )
2: if LineOfSight( $parent(s_e), s_c$ ) then
3:   if direction_vector( $parent(parent(s_e)), parent(s_e)$ )  $\neq$ 
      direction_vector( $parent(s_e), s_c$ ) then
4:     if  $G(parent(s_e)) + 1 < G(s_c)$  then
5:        $G(s_c) \leftarrow G(parent(s_e)) + 1$ 
6:        $parent(s_c) \leftarrow parent(parent(s_e))$ 
7:       if  $s_c \in open$  then
8:         open.remove( $s_c$ )
9:       end if
10:      open.insert( $s_c, G(s_c) + H(s_c)$ )
11:    end if
12:  else
13:    if  $G(parent(s_e)) < G(s_c)$  then
14:       $G(s_c) \leftarrow G(parent(s_e))$ 
15:       $parent(s_c) \leftarrow parent(parent(s_e))$ 
16:      if  $s_c \in open$  then
17:        open.remove( $s_c$ )
18:      end if
19:      open.insert( $s_c, G(s_c) + H(s_c)$ )
20:    end if
21:  end if
22: else
23:   if  $G(s_e) + 1 < G(s_c)$  then
24:      $G(s_c) \leftarrow G(s_e) + 1$ 
25:      $parent(s_c) \leftarrow parent(s_e)$ 
26:     if  $s_c \in open$  then
27:       open.remove( $s_c$ )
28:     end if
29:     open.insert( $s_c, G(s_c) + H(s_c)$ )
30:   end if
31: end if
    
```

직선 경로가 가능한 경우 [경로 1] 과 같은 경로가 불가능할 경우 [경로 2]와 같은 경로가 만들어짐



$p(Se)$: 부모 노드 / Se : 현재 노드 / Sc : 이웃 노드

알고리즘 비교



[그림 1]

	평균 회전 수 감소율	평균 경로 길이 감소율
Theta*	38.74	97.44
Basic Link*	34.93	101.82
Theta Fewer Turns* (개발 알고리즘)	53.49	102.95

실험 배경

하남스타필드 매장안내도를 격자 지도화한 맵에서 수행
무작위로 1000쌍의 시작지점과 목표 지점을 선택

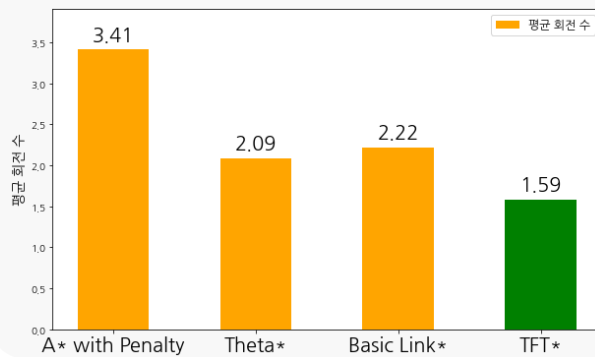
결과

A* with penalty, Theta*, Basic Link* 그리고 Theta Fewer Turns* 알고리즘(개발 알고리즘)을 구현함
[그림 1]은 A* with Penalty의 평균 회전 수와 경로길이에 대해 Theta*, Basic Link*, TFT* (개발 알고리즘)의 평균 회전 감소율과 평균 경로 길이 감소율을 비교한 결과를 보여줌.

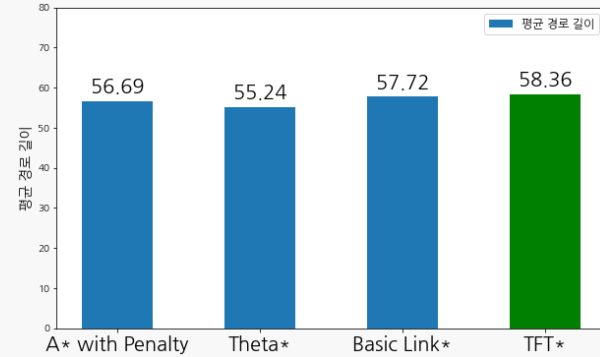
개발 알고리즘은 A* with penalty에 비해 회전수를 약 53.49% 줄이면서도 경로 길이는 102.95%를 넘지 않는 경로 길이를 생성함. 또한 Theta*와 비교했을 때, 경로 길이는 작은 차이로 늘어나지만 회전 수는 현저히 적음. 전반적으로 경로 길이 감소율에 비해 회전 수 감소율이 더 높다는 것을 확인할 수 있음.

이러한 결과는 곡선형의 복합쇼핑몰 구조를 고려할 때, 불필요한 회전을 최소화하여 시각장애인에게 더 적합한 경로를 제공하고 이를 통해 시각장애인의 편의성을 향상시키는 데 기여할 것을 기대함.

[평균 회전 수]



[평균 경로 길이]



| 경로 안내 프로세스

회전 지점, 도착 지점까지의 직선거리 ÷ 사용자 평균 보행 속도 = 예측 보행 시간
 방향 조정 후 예측 보행 시간까지 보행 안내

프로세스

GPS 수집 요청으로 사용자 평균 보행 속도 계산

알고리즘으로 구한 경로를 방향 전환 지점을
기준으로 나누어 직선거리로 보행 안내

경로 방향대로 사용자 방향 조정 (지자기 센서)

방향 전환 안내

1. 가속도 센서를 이용 한 걸음 감지
→ 정지 상태의 시간은 누적하지 않도록 함
2. 지자기 센서를 이용한 방향 이탈 감지
→ 이탈 시 다시 방향 조정을 실시하여 올바른
방향으로 보행하도록 함

누적 시간 = 예측 보행 시간
→ 보행 안내 종료

예시

Time: 171046822635642 Latitude: 37.33643737437 Longitude: 27.252550946
 Time: 171046822635642 Latitude: 37.33643737437 Longitude: 27.252550946

평균 보행 속도 = 1.03m/s

[[180°, 22m], [90°, 10m]]

→ [[180°, 21.36s], [90°, 9.4s]]

목표 방향 = 180°

목표 방향 = 90°

목표 보행 시간(21.36초) 완료 후 전환 안내

1. 유효한 걸음만을 21.36초 계산
→ 다음 경로에서 9.4초로 목표 보행 시간 변경
2. 센서 방위각이 180°를 이탈하면 방향 조정 실행
→ 다음 경로에서 90°로 목표 방향 변경

누적 시간 = 예측 보행 시간
→ 보행 안내 종료

지자기
'가속도
센서

예상
보행시간
만큼
보행 안내

| 실시간 센서 데이터

1

센서 종류 : GPS센서 데이터

Frequency: 10s

용도 : GPS DB에 저장되면서 평균 속도를 계산하여 설정할 수 있도록 함

- 실내 보행 전 외부에서 우선 보행 요청
- 수집된 GPS 데이터로 보행자의 평균 보행 속도 파악
- 여러 번 외부 보행 시 평균 속도 계산에 착오를 없게 하도록 하기 위해 Avg_speed DB에 속도 저장 후 GPS DB 초기화

2

센서 종류: 지자기 센서

Frequency: 0.1s

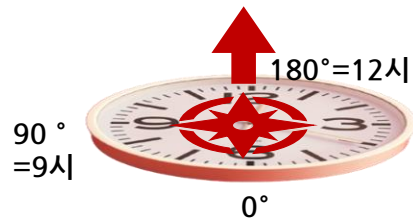
용도: 보행 전, 보행 중 방향이탈, 전환 시 **방향 조정**

- 현재 사용자 포지션 파악을 위해 지자기 센서 수집

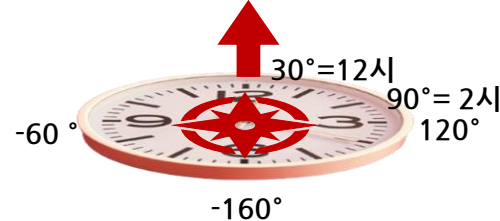
First angle: 34.72911492075971

- 현재 사용자가 바라보는 방향(12시)을 기준으로 회전 방향 파악 및 안내 "00시 방향으로 회전하세요"

Ex1. 현재 방향: 180°, 다음 경로 방향: 90°



Ex2. 현재 방향: 30°, 다음 경로 방향: 90°



- 센서 데이터가 목표 방향 범위로 들어오면 조정 완료 및 보행 시작안내

```
received start_set_position:
Send finish_set_position: 176.58404623450275
```

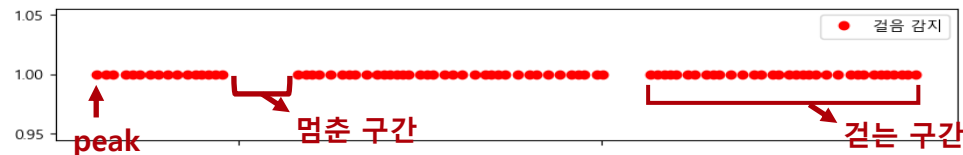
3

센서 종류 : 지자기 센서 + 가속도 센서

Frequency: 0.1s

용도 : **보행 중** 방향과 걸음을 감지하여 보행 안내에 쓰임

- scipy.find_peaks이용
→ 가속도 센서의 z값의 순간 변화량으로 걸음 감지



- ★ 예외처리1 ★ 유효한 걸음으로 시간 누적

유효한 걸음 → 걸음 감지가 1이면서 올바른 방향인 걸음

걸음이 멈춘 상태에서는 시간 누적을 정지하여 도착 시간 계산에 포함하지 않음

- ★ 예외처리2 ★ | 목표 방향 - 센서 방향 | > 30 인 경우 이탈 안내

→ 이탈 시 다시 방향 조정 실행

```
방향이탈
누적 시간: 10.050126, 방위 각: -105.71320773911101, 이탈 여부: 1
Continue walking...
```

지팡이 이용으로 흔들리거나 발을 헛딛는 등 잠깐의 이탈로 보행 방향에 영향을 주지 않는 경우엔 이탈을 띄우지 않기 위해 3초 이상 이탈이 감지 되었을 때 이탈을 안내하도록 함

| 어플리케이션 적용 결과물

1. 실내 측위

- 카메라 실행 후 촬영 안내

“눈높이의 위치에서 사진 네 장을 찍어주세요”

Sent message: activate_camera

- 측위 완료 시 출발점 좌표 출력

“실내 측위가 완료되었습니다.”

start_point': (5.821248267079522, 44.01110033559067),
Path finding message sent successfully.

2. 목적지 설정

- 목적지 설정

“화면 하단을 꼭 누른 채 목적지를 말해주세요”

음성 입력: '노스페이스'
Found brand: 노스페이스
Sent message: set_destination with coordinates (77.0, 36.0)
TFT Path : [(62, 46), (68, 37), (77, 36)]
Path found in py: [(176, 10.8167), (126, 9.0554)]
[(176, 10.8167), (126, 9.0554)]

- 목적지 설정 후 경로 탐색 결과 출력

“목적지 설정이 완료되었습니다”

3. 방향 조정

- 보행 안내를 위해 목표 방향으로 사용자 방향 조정

“00방향으로 천천히 회전해주세요”

received start_set_position:
방향 조정 중... 현재 방위각: 161.60356346690935

- 방향 조정 완료 후 보행 시작 안내

“올바른 방향입니다. 직진으로 보행을 시작해주세요”

4. 보행

- 목표 시간에 도달할 때 까지 보행 시간 누적

누적 시간: 2.769824, 방위각:-154.06626026155755, 이탈 여부: 0
Continue walking...
Current segment: 0, Path length: 2, 시간: 6.362764705882354
누적 시간: 3.344292, 방위각:-149.20730263772862, 이탈 여부: 0
Continue walking...
Current segment: 0, Path length: 2, 시간: 6.362764705882354

5. 회전 안내

- 회전 지점 도달 시 회전 안내

“00시 방향으로 전환하세요”

Before_angle: 176, Current_angle: 126
10 시 방향으로 전환하세요
Sent message: start_set_position, 반시계방향
Sent path destination for next segment: direction: 10, length: 0.0554

3. 방향 조정 의 방향 조정 실시 완료 후 보행 시작 안내

“올바른 방향입니다. 직진으로 보행을 시작해주세요”

6. 도착 안내

- 경로의 목표 시간에 도달했을 때, 보행 완료 안내

“목적지에 도착했습니다. 보행 안내를 종료합니다”

누적 시간: 5.272438, 방위각:146.7547402228126,
목적지 도착

13

결론

연구 내용

- 이미지 기반 비전을 이용한 실내 측위
 - Mask R-CNN 모델을 이용하여 물리적 설치와 유지보수 없는 실내 측위 기법
- 회전 수 최소화 경로탐색 알고리즘
 - Theta* framework 기반 회전 수 최소화하는 Theta Fewer Turns* 알고리즘 개발로 시각장애인에게 잦은 음성 안내 감소
- 센서 기반 사용자 보행 안내
 - 사용자 포지셔닝, 방향 조정 및 보행 안내 등등 실내 초행길에서 독립적인 보행 지원

기대효과

- 시각장애인 외부 활동과 독립적 이동성 증진
- 다른 기술과 접목
청년기업 솔룩(SOLLOOK)의 시각 장애인을 위한 의류 정보 음성 출력 서비스와 같은 기술이 상용화되어 같이 이용되면 패션의 접근성을 높여줄 수 있을 것



출처: 시각 장애인에게 소리로 의류 정보 알려주는 '들리는 옷장', 17일 성황리 종료 - 뉴스와이어 (newswire.co.kr)

한계점

- 이미지 기반 실내 측위
 - 미리 객체(간판 등)에 대한 정보가 학습된 장소에서만 가능
- 센서 기반 사용자 보행 안내
 - 자기장의 영향을 강하게 받는 위치(엘리베이터, 전광판 앞 등)에서 자기장 센서의 정확도가 낮음

기사 & 사이트

[BLE를 활용한 실내 위치 측위 \(4\) - 삼변측량 기법을 사용하기 위한 예비지식 \(tistory.com\)](#)

Object Detection & Instance Segmentation 그림 - <https://ganghee-lee.tistory.com/44>

Indoor positioning comparison - https://ko.rfstariot.com/the-black-technology-of-the-iphone-demystifying-uw-technology_n109

논문

1. 최준혁, 최성록 (2022). 카메라 캘리브레이션의 원리와 기술 동향. 제어로봇시스템학회지, 28(2), 29-35. [https://www.dbpia-co-kr.sproxy.hufs.ac.kr/pdf/pdfView.do?nodeId=NODE11077417](https://www.dbpia.co.kr.sproxy.hufs.ac.kr/pdf/pdfView.do?nodeId=NODE11077417)
2. Permana, S.H.; Bintoro, K.Y.; Arifitama, B.; Syahputra, A. Comparative analysis of pathfinding Algorithms a*, dijkstra, and bfs on maze runner game. IJISTECH Int. J. Inf. Syst. Technol. 2018, 1, 1. <https://doi.org/10.30645/ijistech.v1i2.7>
3. Bineeth Kuriakose; Raju Shrestha; Frode Eika Sandnes, DeepNAVI: A deep learning based smartphone navigation assistant for people with visual impairments [Volume 212](#), February 2023, 118720, <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.118720>
4. C. S. Silva and P. Wimalaratne, "State-of-art-in-indoor navigation and positioning of visually impaired and blind," 2017 Seventeenth International Conference on Advances in ICT for Emerging Regions (ICTer), Colombo, Sri Lanka, 2017, pp. 1-6, [doi: 10.1109/ICTER.2017.8257826](https://doi.org/10.1109/ICTER.2017.8257826)
5. 정필환, 이선우, 송창근, 김대림(2013), "스마트폰 관성 센서를 이용한 걸음 수 및 장치 방향/위치 감지" 정보과학회논문지: 컴퓨팅의 실제 및 레터 제 19권, pp.46-50
6. Daniel, K., Nash, A., Koenig, S., & Felner, A. (2010). Theta*: Any-Angle Path Planning on Grids.
7. Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection.
8. Li, S., & Yoon, H.-S. (2023). Vehicle Localization in 3D World Coordinates Using Single Camera at Traffic Intersection.
9. He, K., Gkioxari, G., Dollár, P., & Girshick, R. (2018). Mask R-CNN. Facebook AI Research (FAIR).
10. 조성재, 김호연, 김민(2020), 시각장애인 실내보행용 앱 개발을 위한 욕구 및 선호 연구 Vol.36(4) pp.1~21, <http://dx.doi.org/10.35154/kivi.2020.36.4.1>
11. Xu, Hu & Shu, Lei & Huang, May. (2013). Planning Paths with Fewer Turns on Grid Maps. 10.1609/socs.v4i1.18298