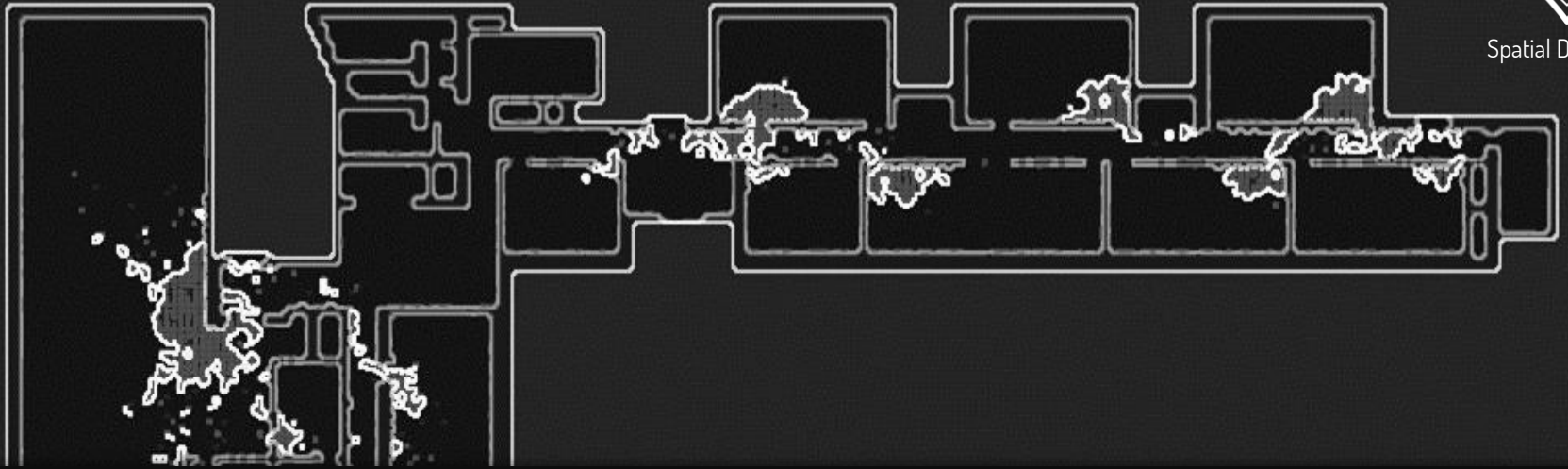




Spatial Database



실시간 최적 대피경로 산출을 위한 실내 보행자 우회 알고리즘

An algorithm of indoor pedestrian diversion
for computing real-time near optimal evacuation route

이민혁*, 남현우, 전철민 | 서울시립대학교 | 2015.05.15

2015 한국공간정보학회 춘계학술대회

목차

1 서론

- 1-1 연구의 필요성
- 1-2 기존 관련연구 분석

2 데이터 모델

- 2-1 보행모델
- 2-2 실내 공간 모델

3 실내 보행자 우회 알고리즘

- 3-1 전처리 과정
- 3-2 각 출구의 대기인원 추정
- 3-3 대립 해결 기법

4 실험 결과 및 결론

- 4-1 실험 결과 분석
- 4-2 결론

5 기타

- 5-1 참고문헌
- 5-2 질의응답

Chapter 1

서론

연구의 필요성



재난환경의 대형화, 복잡화, 다양화, 예측 불가능성 (김용수, 2014)

→ 재난현장 중심의 신속하고 효율적인 대응책 강조



기존 관련연구 분석 1. 선행연구

실내 공간(건축물, 선박 등의 내부) 상에서 인명피해 최소화를 위해 대피모형 분석

유동적인 인원분포 및 복잡한 공간구조, 재난상황에 발생할 수 있는 다양한 요소들을 고려해야 하는 어려움이 존재(곽수영 외, 2012)

한계점

유형	연구	내용
국지(local)적 최적해 산출	Chen P. H(2009) Sun J(2011) 일반적인 대피시뮬레이터 (STEPS, Simulex, EXITT 등)	대상 공간 전체의 인원분포를 고려하지 않고 개인이나 일부 집단만을 대상 으로 최적 대피경로 탐색
높은 연산복잡도	EVACNET+ : 흐름 제어 알고리즘 곽수영(2011) : 유전자 알고리즘	알고리즘의 연산복잡도가 높아 최적해를 산출하기까지 오랜 시간 소요 실시간 재난대응에 활용 불가



기존 관련연구 분석

- 대상 공간 전체의 인원분포를 고려한 전역(Global)적 최적해
- 최적에 가까운 대피경로를 실시간 산출할 수 있는 알고리즘 필요

-> 실내 보행자 우회 알고리즘 제시



Chapter 2

데이터 모델

보행모델

1. 보행모델

보행자들의 미세한 움직임을 묘사하기 위해 CA(Cellular Automata) 기반 보행모델 적용

실내 공간을 셀(cell) 단위로 분할

보행자를 셀 위에 배치하여 주변 셀에 배치된 보행자들과의 상호작용을 고려해 이동 판단

Static Floor Field와 Dynamic Floor Field로 구분되어 보행에 고려되는 요소 계산

Static Floor Field : 목적지로부터의 거리 값이 연속적으로 할당

Dynamic Floor Field : 보행자의 움직임에 영향을 주는 파라미터 값 할당

변수	내용
보행자의 크기, 보폭, 이동속도 및 셀 배치방법	
보행자들이 출구로 향하는 경향	남현우(2012)의 연구에 기반하여 값 선정
보행자들이 서로 이끌리는 경향	



실내 공간 모델

1. 실내 공간 모델

실내 공간에서의 객체의 위치 및 공간의 구조적 특징 등 묘사

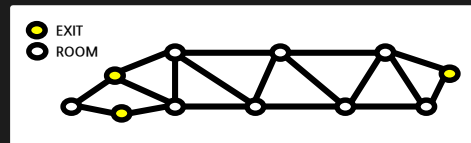
CA 기반 보행모델 적용 -> Cell-based model

알고리즘의 연산을 위해 네트워크 정의 -> Graph-based model

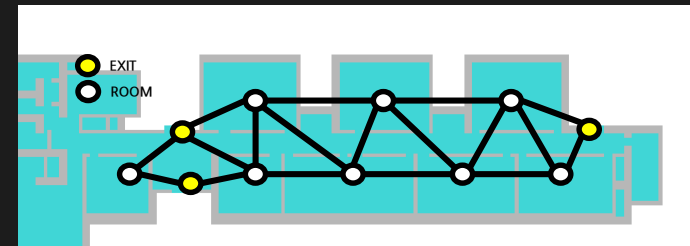
Cell-based model + Graph-based model (Sun J, 2011)



Cell-based model



Graph-based model



The overlap of cell units and graph



Chapter 3

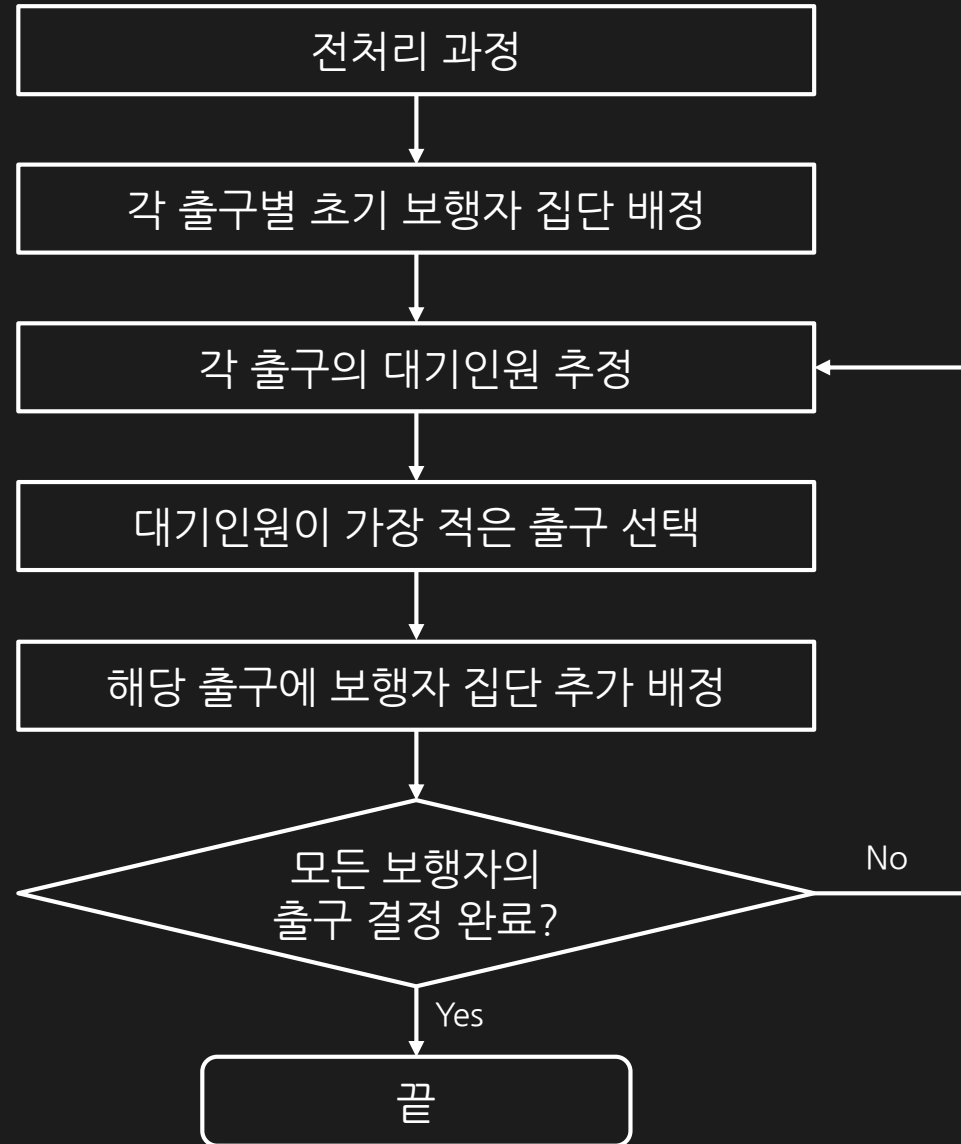
실내 보행자 우회 알고리즘

재난 발생 시, 실내 보행자들에게 적절한 우회경로를 안내하여 각 출구에서 발생하는 대기행렬을 균형적으로 유지하고 결과적으로 총 대피시간의 최소화를 도모하는 기법

효율적 대피를 위해 집단 통제 가정

실내 보행자들의 임의 분포 가정 → 센서 네트워크를 활용하여 실내 인원분포를 감지한 상황 전제

Algorithm
Flow chart



전처리 과정

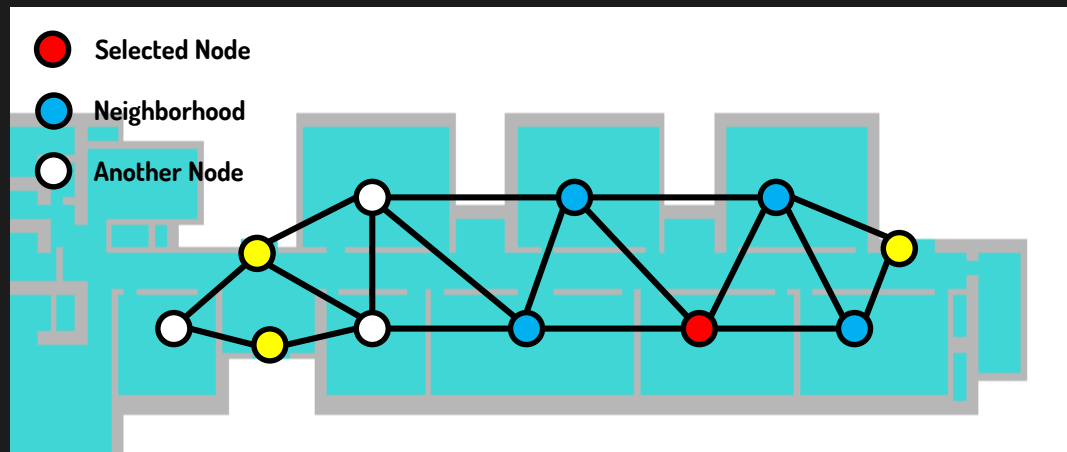
1. 노드 간 이웃(Neighborhood) 정의

1차적 연결성이 확인되는 노드인 경우, 이웃 노드로 판단

추가 배정할 보행자 집단을 결정하는 과정에서 후보군 이용

추가로 보행자를 배정할 출구가 결정되면, 해당 출구를 배정받은 노드 검색

검색된 노드들의 이웃 노드를 검색하여 후보군 생성

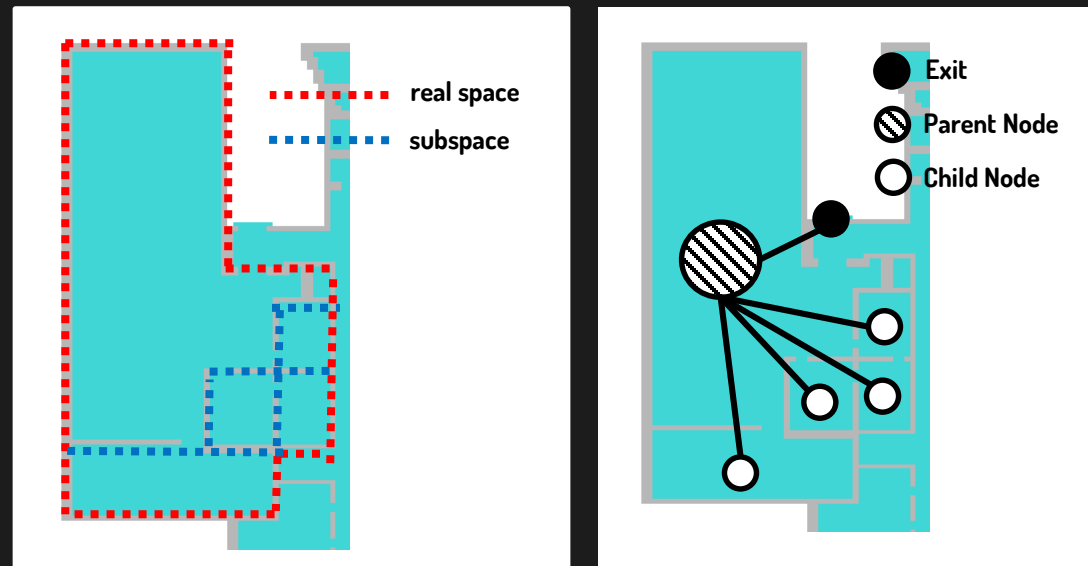


전처리 과정

1. 노드 간 포함관계(Inclusion) 정의

포함관계에 따른 최상위 노드를 대표 노드로 선정하여 연산 수행

Subspace 및 구조적 특징 등을 고려하여 노드 간 포함관계 정의



각 출구의 대기인원 추정

1. 초기 보행자 집단 배정

각 출구에 해당 출구로부터 가장 가까이 위치한 노드(보행자 집단)를 초기값으로 배정

2. 대기인원 추정1

노드(보행자 집단)를 특정 출구에 배정한 뒤, 각 출구의 대기인원 계산

대기인원(대기행렬) : 대피출구가 결정된 보행자들 중 대피를 완료하지 못한 인원

$$E_i = \sum_{j=1}^{m_i} x_{ij} - (C_i \times \Delta t_i) \quad (1)$$

E_i : i번째 출구의 대기인원 (Exit ID : i)

x_{ij} : i번째 출구에 j번째로 배정된 노드의 보행자 수

m_i : i번째 출구가 배정받은 노드의 개수

C_i : i번째 출구에서 단위 시간(timetick) 당 대피할 수 있는 보행자 수

Δt_i : i번째 출구에서 대피가 시작된 시점부터 현재시점까지 시간 변화량

timetick : 보행모델에서의 단위 시간



각 출구의 대기인원 추정

3. 대피인원 산출 ($C_i \times \Delta t_i$)

시간변화량 추정 (Δt_i)

Δt_i : i번째 출구에서 대피가 시작된 시점부터 현재시점까지 시간 변화량

· 대피 시작 시점 : 해당 출구를 배정받은 노드 중 최근접 노드의 출구 도달 시점

최근접 노드 → 각 출구의 초기값

· 현재 시점 : 출구 배정이 완료된 노드들이 각 출구에 모두 도달한 시점

→ 출구에 도달하는데 가장 오랜 시간이 소요되는 노드

i번째 출구에 j번째로 배정된 노드 n_{ij} 의 출구 도달 시간

$$t_{ij} = \frac{d_{ij}}{v}$$

d_{ij} : n_{ij} 에서 i번째 출구까지 거리

v : 보행자들의 이동속도, 평균 보행속도 적용(임완수 외, 2006)



각 출구의 대기인원 추정 3. 대피인원 산출 ($C_i \times \Delta t_i$)

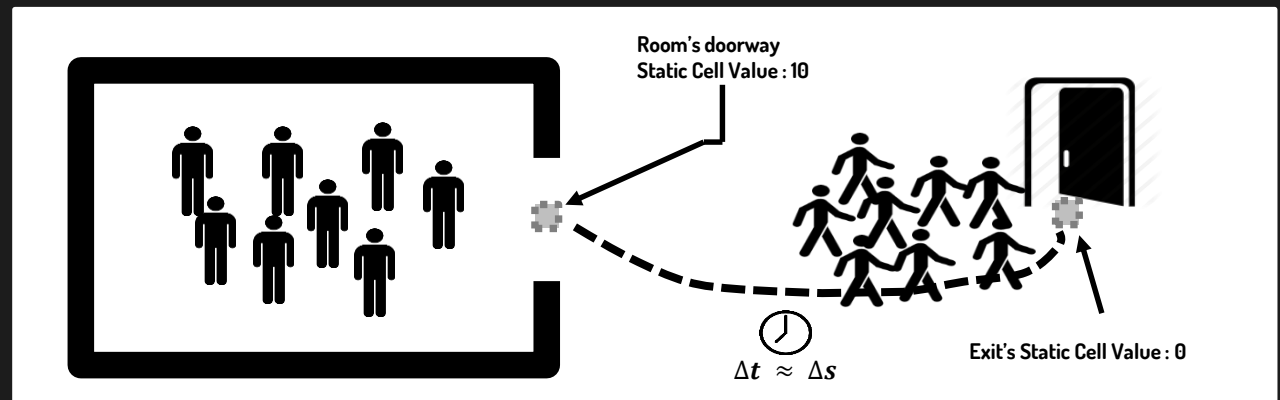
$$t_{ij} = \frac{d_{ij}}{v}$$

d_{ij} -> static cell value, v -> 모두 동일, n_{ij} 의 static cell value s_{ij}

$$t_{ij} = t(s) \approx s_{ij}$$

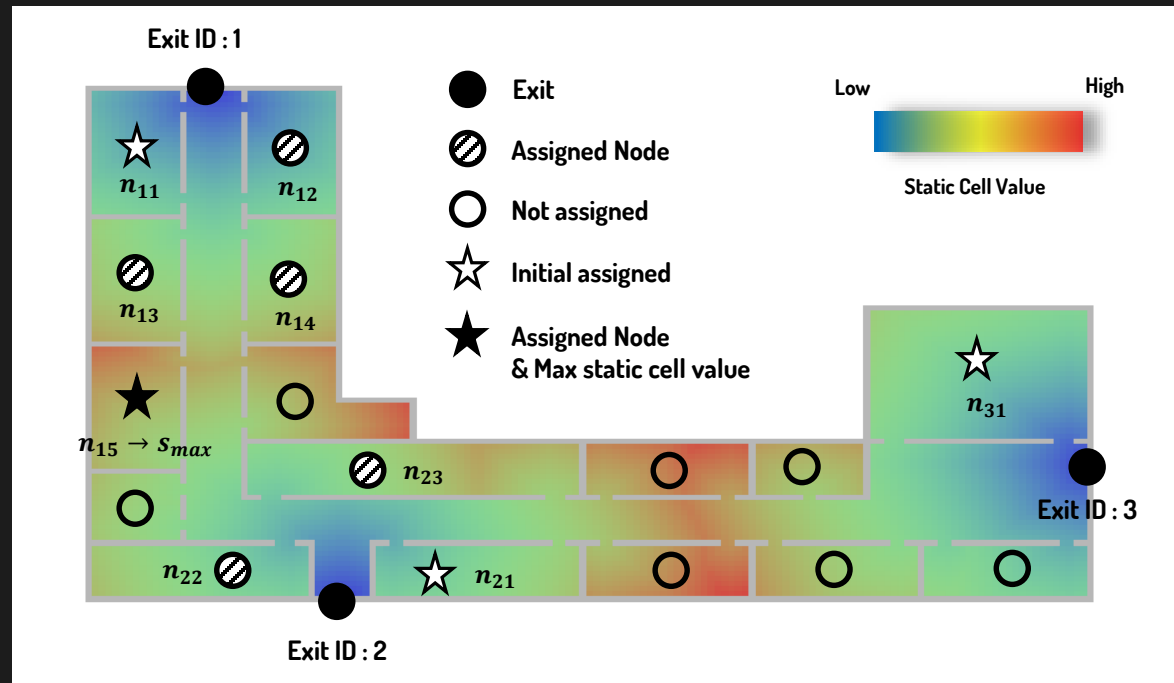
$$\Delta t_i = t_{max} - t_{i1} \approx s_{max} - s_{i1} \quad (2)$$

$$C_i \times \Delta t_i \approx C_i \times (s_{max} - s_{i1})$$



각 출구의 대기인원 3. 대피인원 산출 ($C_i \times \Delta t_i$) 추정

$$\Delta t_i = t_{max} - t_{i1} \approx s_{max} - s_{i1}$$



Static Floor Field



각 출구의 대기인원 추정

4. 대기인원 추정2

$$E_i = \sum_{j=1}^{m_i} x_{ij} - (C_i \times \Delta t_i) \quad (1)$$

$$\Delta t_i = t_{max} - t_{i1} \approx s_{max} - s_{i1} \quad (2)$$

$$E_i \approx \sum_{j=1}^{m_i} x_{ij} - \{C_i \times (s_{max} - s_{i1})\} \text{ for } i = 1, \dots, n.$$

n : # of exit

5. 대기인원이 가장 적은 출구 선택 후 보행자 집단 추가 배정

배정받은 노드들의 이웃 노드를 검색하여 후보군 생성

후보군 중 출구 미배정 노드 혹은 최근접 노드를 해당 출구에 배정

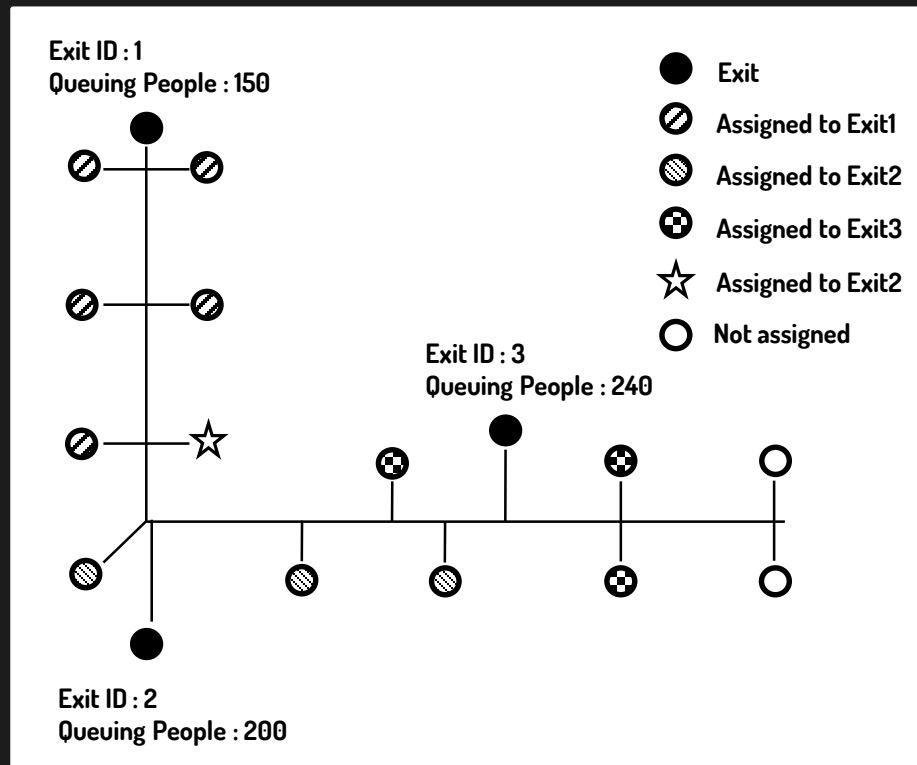
모든 노드들의 대피출구가 결정될 때까지 반복



대립 해결 기법

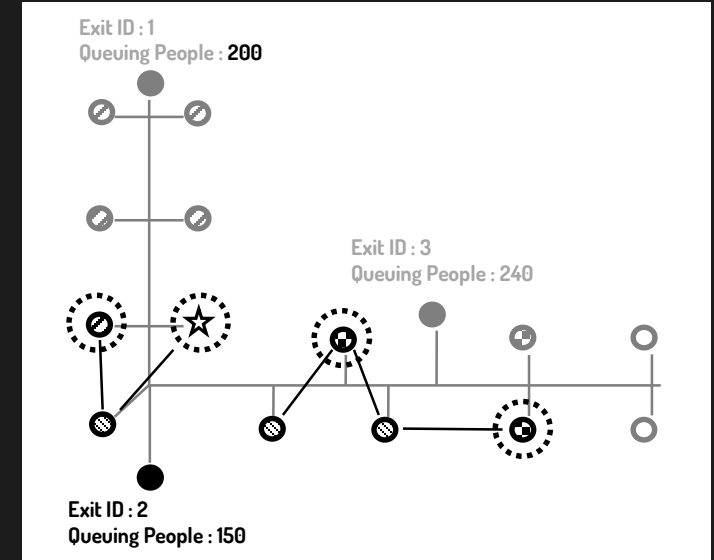
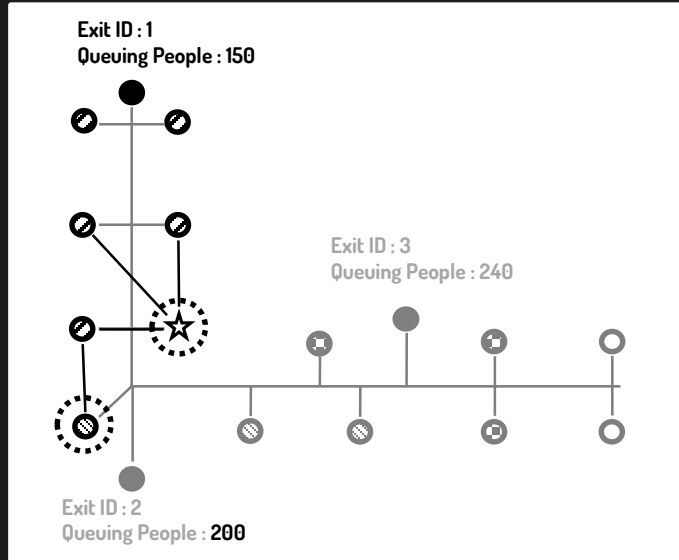
1. 교착상태 발생

특정 노드가 서로 다른 복수의 출구에 의하여 배정 및 재배정을 반복하면서 연산시간이 무한정으로 길어지는 상태



대립 해결 기법

1. 교착상태 발생



노드의 배정 횟수가 일정치를 넘어가면 교착상태가 발생한 것으로 판단

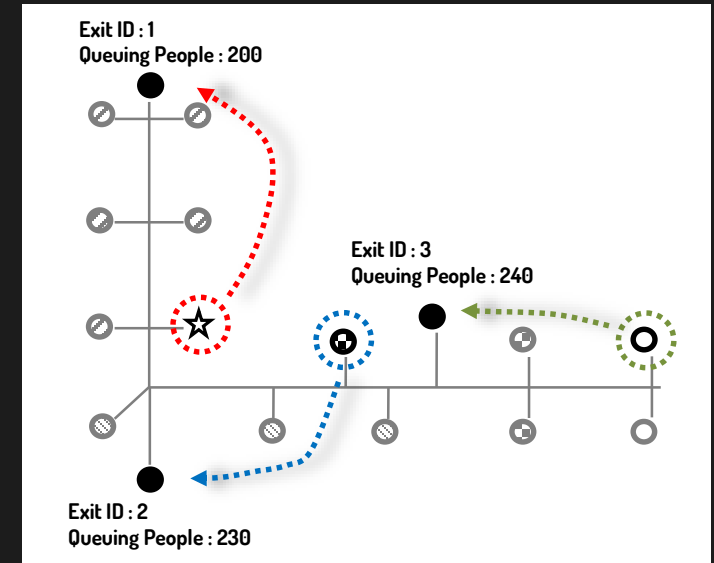
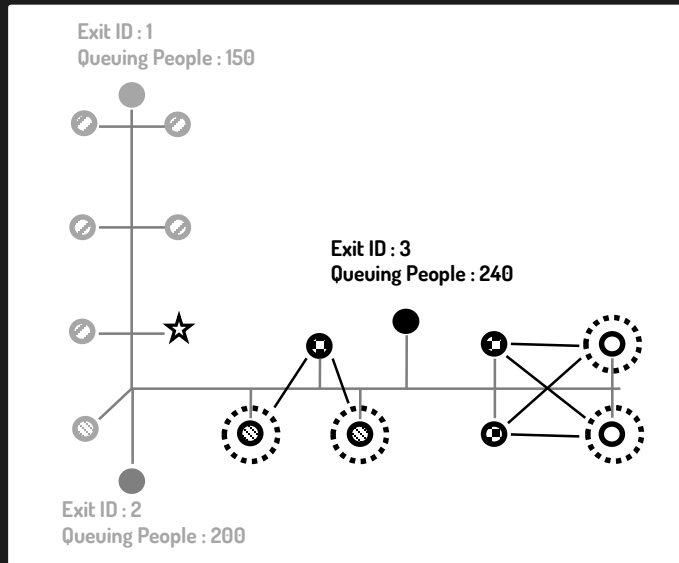
→ 대립 해결 기법(Conflict Resolution) 적용

- ① 교착 상태에 관여된 출구들의 후보군 조사
- ② 후보군 노드들의 대피 출구(상대 출구) 조사
- ③ 복수의 출구가 검색된 경우, 노드 조정을 통해 대립 해결



대립 해결 기법

2. 대립 해결 기법(Conflict Resolution)



교착 상태를 일으키는 노드를 단일 상대 출구가 조사되는 출구에 배정
 복수 상대 출구가 조사되는 출구의 경우, 노드 조정을 통해
 대기인원 균형 유지 및 교착 상태 해소



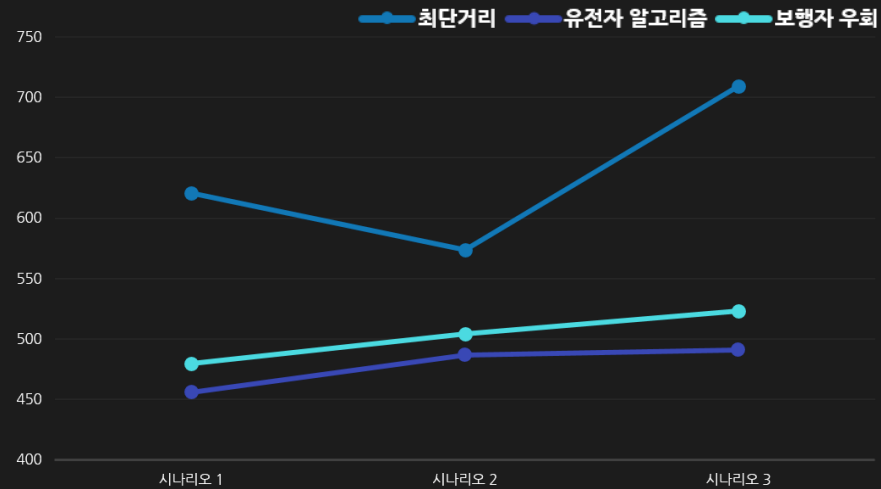
Chapter 4

실험 결과 및 결론

실험 결과 분석

1. 실험 1 (총 대피시간 비교)

단위 : timetick

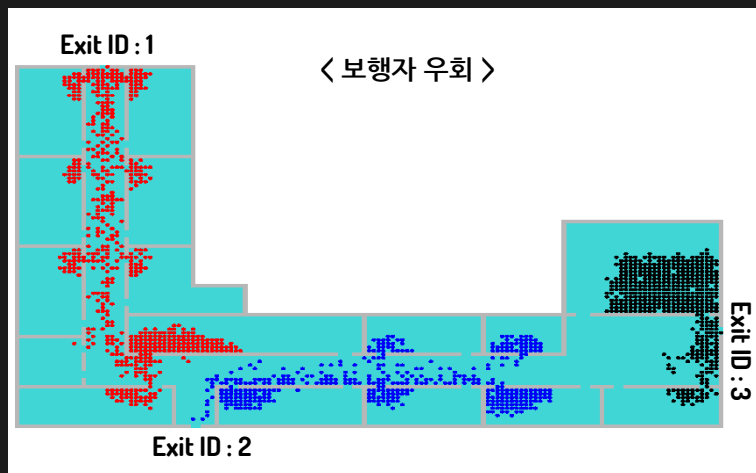
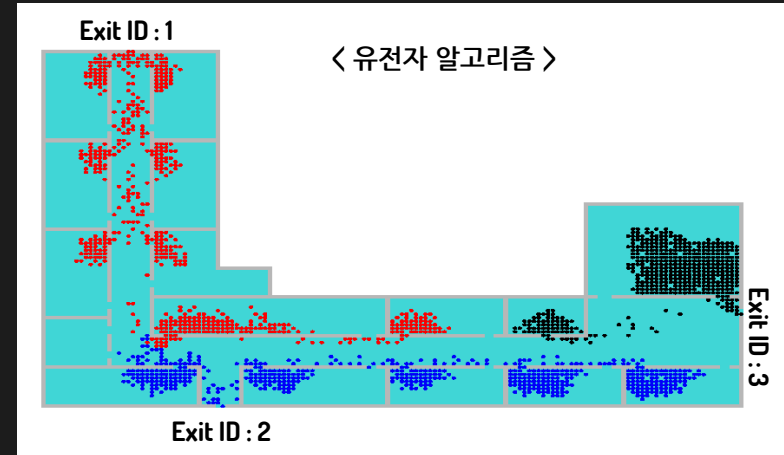
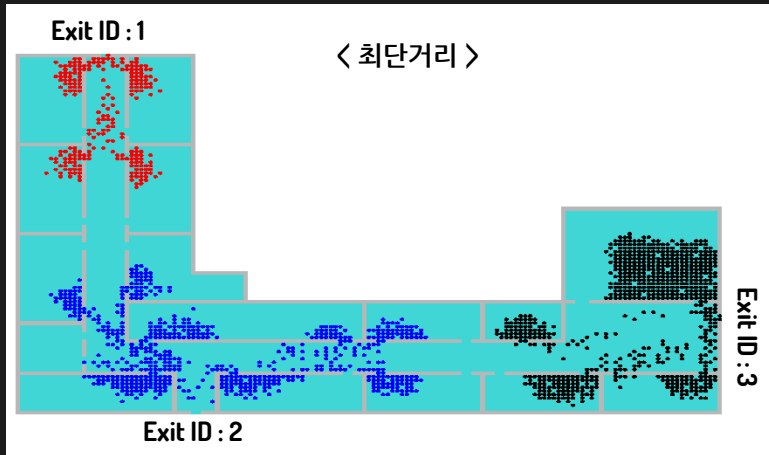


	최단거리	유전자 알고리즘	보행자 우회
시나리오 1 (1464명)	621	456	480
시나리오 2 (1619명)	574	487	504
시나리오 3 (1593명)	709	491	523
연산시간	실시간	15h	실시간



실험 결과 분석

1. 실험 1 (대피경로 비교)



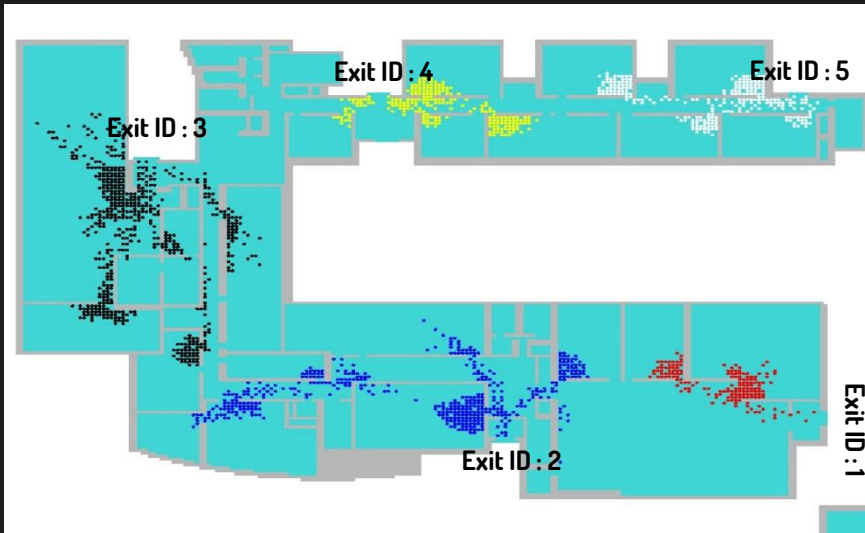
단위 : 명

	출구 1	출구 2	출구 3
최단거리	248	629	716
유전자 알고리즘	589	526	478
보행자 우회	646	429	518



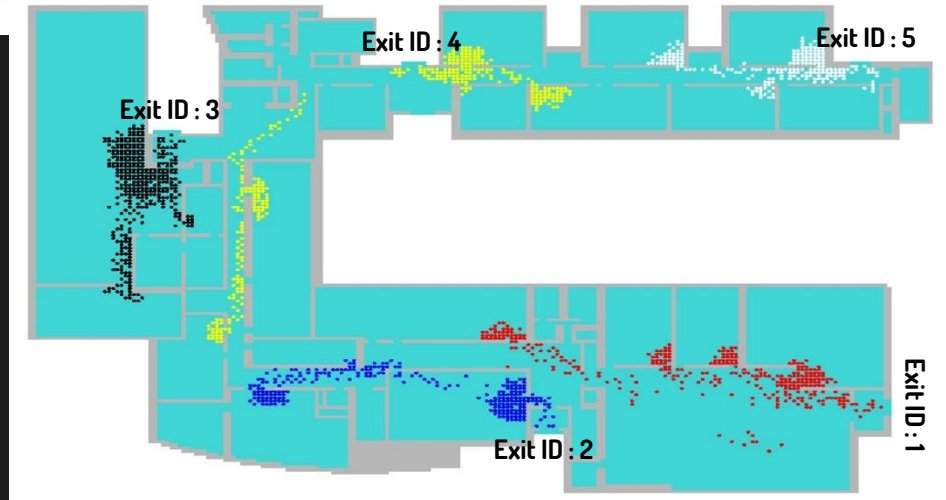
실험 결과 분석

1. 실험 2 (서울시립대학교 21세기관 1층)



최단거리	출구 1	출구 2	출구 3	출구 4	출구 5
대피인원(명)	171	493	790	261	293
대피완료시간 (timetick)	220	506	419	264	278

보행자 우회	출구 1	출구 2	출구 3	출구 4	출구 5
대피인원(명)	345	319	637	414	293
대피완료시간 (timetick)	298	395	360	314	280



결론

1. 결론

- 최적화 기법(유전자 알고리즘)을 이용해 산출한 최적 대피경로와 유사한 결과 획득
- 실내 보행자 우회 알고리즘을 이용한 실시간 대피경로 산출을 통해 현장중심의 효율적 재난 대응이 가능할 것으로 판단
- 연역적 접근 방식의 한계로 인해 현실적 반영이 어려운 결과 획득 가능성 존재
- 보행자들의 패닉상황, 갑작스러운 공간 구조 변화 등 재난과 관련된 다양한 요소들을 고려하여 알고리즘 개선 필요
- 모바일 디바이스와 연계한 대피시스템 구축 등 지속적인 향후 연구를 통한 발전



Chapter 5

기타

참고문헌

- Chen, P. H; Feng, F. 2009, A fast flow control algorithm for real-time emergency evacuation in large indoor areas, Fire Safety Journal 44(5):732-740
- Imad, A; Cyril, R; Christophe, C. 2012, Spatial models for context-aware indoor navigation systems: A survey, Journal of spatial Information Science, 1(4):85-123
- Kim, Y. S; Kim, D. Y. 2014, Study on the establishment of an efficient disaster emergency communication system focused on the site, Journal of the Korea Society of Disaster Information, 10(4):518-528.
- Kuligowski D. E; Peacock R. D, 2005, A Review of Building Evacuation Models, NIST TN 1471; NIST Technical Note 1471
- Kwak, S. Y. 2011, Modeling pedestrian behavior for optimal evacuation in indoor spaces using the genetic algorithm, Master thesis, University of Seoul
- Kwak, S. Y; Nam, H. W; Jun, C. M. 2012, An Optimal for Indoor Pedestrian Evacuation considering the Entire Distribution of Building Pedestrians, 한국지형공간정보학회지, 20(2):23-29
- Lim, W. S; Ryu, T. B; Choi, H. W; Choi, H. S; Chung, M. K, 2006, A Comparison of Gait Characteristics between Korean and Western Young People, Journal of the Ergonomics Society of Korea, 25(2):33-41



참고문헌

- Nam, H. W. 2012, Developing a cellular automata-based pedestrian model incorporating microscopic behavior, Master thesis, University of Seoul
- Nam, H. W; Kwak, S. Y; Jun, C. M. 2014, Developing a Cellular Automata-based Pedestrian Model Incorporating Physical Characteristics of Pedestrians, 22(2):53-62
- Sun, J; Li, X. 2011, Indoor evacuation routes planning with a grid graph-based model, 19th International Conference On Geoinfomatics, Shanghai, June 24-26



질의응답

Q & A



감사합니다.

