

실내 공간 인지를 적용한 CA기반 보행모델 †

Cellular automata based pedestrian model applying indoor spatial cognition

남현우*, 곽수영, 이경민, 전철민**

Hyunwoo Nam, Suyeong Kwak, Kyungmin Lee, Chulmin Jun

서울시립대학교 공간정보공학과

{nhw612, ksykk0, dmzpooh, cmjun}@uos.ac.kr

요약

Floor field model(FFM)은 보행자의 움직임을 모델링하는 기법 중 하나이다. 출구와의 거리를 나타내는 static floor field와 보행자들 간의 끌림효과를 나타내는 dynamic floor field를 이용하여 보행자가 출구로 이동하는 형태를 나타낸다. 이 중, static floor field는 건물의 최종출구와의 거리에 의해 계산되며, 이를 이용하여 이동하는 보행자는 현재 위치에서 건물의 최종출구까지의 최단경로와 유사한 경로를 따라 움직인다. 하지만 보행자는 현재 위치한 방, 복도와 같은 공간을 기준으로 공간 내 출구를 따라 이동하기도 한다. 건물구조에 익숙하지 않은 보행자나 공황상태가 된 보행자들은 건물의 최종출구까지의 경로를 인식하기 어려워지기 때문에 최종출구가 아닌 현재 위치한 공간의 출구로 이동하게 된다. 본 연구는 FFM에 실내 공간을 인지하여 공간별 출구로 이동하게 하는 효과를 부여하였다. 제안된 모델을 통해 보행자들은 현재 위치한 공간을 인지하고, 해당 공간의 출구를 찾아 이동하게 된다. 실제 건물을 대상으로 제안된 모델과 기존 FFM과의 차이점을 분석하였다.

1. 서론

최근에 보행자의 행동을 모델링하기 위한 많은 기법들이 연구되고 있다[1]. 실내공간에서 보행자의 움직임을 나타내기 위한 미시적 보행모델 중, social force model(SFM)과 floor field model(FFM)이 주목받고 있다. SFM은 보행자와 주변 모든 객체들 사이의 관계를 힘으로 표현한 후, 힘들의 관계를 통해 보행자의 움직임을 결정한다. FFM은 cellular automata를 보행에 적용한 모델로, 대상 공간을 격자형태로 분할하고 분할된 공간에 보행자를 배치하고 보행자와 주변 셀간의 관계를 통해 움직임을 결정한다[2]. SFM과 FFM은 보행자의 움직임을 계산하는 방식이 다르지만, 결과를 살펴보면 유사한 보행형태를 나타내고 있다. FFM은 SFM과 달리 주변

이웃 셀들과의 관계만 고려하기 때문에 모든 객체들과의 관계를 파악하는 SFM보다 연산속도가 빠른 장점이 있다.

FFM은 static과 dynamic이라 정의되는 두 개의 floor field를 이용한다. Static floor field는 출구와 각각의 셀 간의 거리를 통해 정의된다. 출구에 가까울수록 작은 셀 값이 부여되고, 출구에서 멀어질수록 큰 셀 값이 부여된다. 보행자는 주변 셀 중에 static value가 작은 쪽으로 이동하려는 경향을 가지게 되고, 최종적으로 가장 셀 값이 작은 출구로 빠져나가게 된다. Dynamic floor field는 보행자가 이동할 때 생기는 가상의 경로를 나타내며, 보행자들 간에 서로 이끌리는 현상을 표현할 수 있다.

FFM을 이용하여 보행자의 움직임을 계산

† 본 연구는 공간정보 전문인력 양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임.

** 교신저자

할 때 가장 큰 영향을 미치는 것은 static floor field이다. 보행자를 출구로 이동하게 하는 역할을 하며, static value의 가중치가 클수록 최단거리에 가까운 경로로 이동하게 된다. 다만, static floor field는 건물 내 방, 복도와 같은 공간이라는 개념이 적용되어 있지는 않다. 건물 내 모든 공간을 보행자가 이동 가능한 공간인지, 벽과 같은 장애물이 있어 이동 불가능한 공간인지만 파악하고, 이동 가능한 공간이라면 건물의 출구와의 거리가 어떻게 되는가에 대한 계산만 수행한다. 따라서 보행자들은 현재 위치에서 건물의 최종출구까지의 경로를 알고 있다는 전제하에 움직이게 된다.

하지만 보행자들은 현재 위치한 방, 복도와 같은 공간을 기준으로 그 공간의 출구에 대한 경로를 판단하여 행동하기도 한다. 예를 들어, A라는 방에 있는 보행자는 그 방에서 건물의 최종출구까지의 전체 경로를 파악하여 이동하기도 하지만, 전체 경로를 모르는 상황이라면 우선 A라는 방의 출입문으로 이동하게 될 것이다. 출입문을 나온 후에는 B라는 복도의 출구를 따라 이동하게 될 것이고, 또 다른 공간인 C로 이동할 것이다. 이렇게 각 공간별로 출구를 인지하고, 그에 따른 이동을 수행하다보면 결국 건물의 최종출구에 이르게 된다.

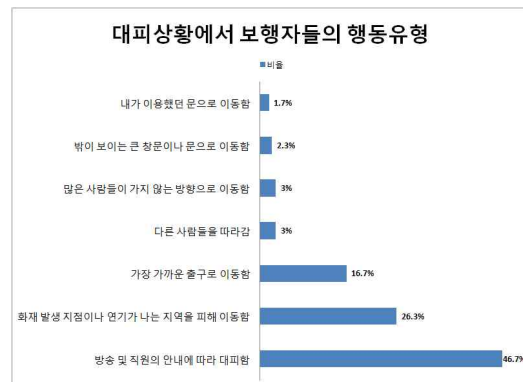
본 연구는 보행자를 대피시키는 상황에서, 보행자들이 자신이 위치한 실내 공간에 대해 인지하고, 그 공간에 대한 출입구로 이동하려는 경향을 FFM에 반영하고자 한다. 이를 위해서는 실내 공간별로 계산된 개별적인 static floor field가 필요하다. 방마다의 개별적인 static floor field를 산출하고, 보행자들은 현재 위치한 공간에 따라 어떤 static floor field를 이용할지 선택하게 된다. 이를 통해 보행자들이 현재 공간을 인지하고, 이를 바탕으로 현재 공간의 출입구로 이동하려는 형태를 표현할 수 있다.

본 연구를 통해 대피 상황에서 보행자들의 행동패턴을 다양하게 모델링할 수 있다. 기존 FFM은 건물 내 공간에 익숙한

상황이라는 전제 하에 움직이는 행동패턴을 나타낸다면, 본 연구에서 제안하는 다중 static floor field 기반 FFM은 건물의 구조에 익숙하지 않은 보행자들의 움직임에 대한 설정이 가능해진다. 이러한 기법을 통해 FFM을 더 정교하게 발전시킬 수 있을 것으로 사료된다.

2. 대피상황에서 보행자들의 행동유형

화재 등의 재난이 발생했을 때, 보행자들은 각각의 대피전략을 수립하여 이동하게 된다. K. Abe는 보행자들의 대피전략에 대한 정보를 얻기 위해 대형마켓에서 재난상황을 가정한 모의실험을 진행하였다 [3]. 300명 이상의 보행자들을 마켓에 배치하고, 불시에 화재 경보 알람을 울리게 하여 재난상황을 가정하였고, 실험 종료 후 각각 보행자들의 대피전략을 설문문을 통해 파악하였다. 실험에 대한 설문 결과는 (그림 1)과 같다.



(그림 1) 대피상황에서 보행자들의 행동유형 이 결과를 통해 확인할 수 있는 점은 대피 상황에서 방송이나 직원의 안내가 없고, 화재 발생지점을 모른다면 보행자들은 가장 가까운 출구로 이동할 가능성이 높다는 것이다. FFM은 출구와의 거리를 계산하여 가까운 출구로 이동하게 하는 static floor field를 이용하고 있기 때문에 이러한 현상을 반영할 수 있다. 다만, 보행자가 현재 위치한 공간을 인지하고, 이에 따라 건물 최종출구와의 최단거리가 아니라 현재 공간의 출입문으로 이동하는 현상을 반영할 수는 없다. 재난/재해 상황에서는 보행자들이 공황상태가 되는 경우가

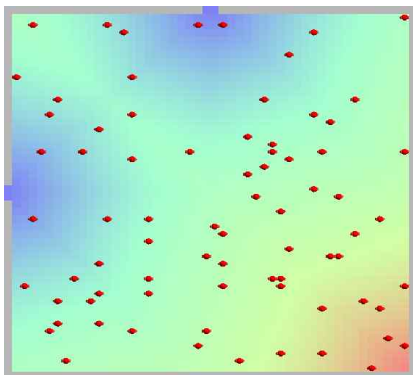
많고, 이러한 상황에서 건물의 출입문까지의 전체 경로를 기억하고 이동하기 어려울 수 있다. 그렇다면 보행자들은 현재 공간 내 출입문으로 이동할 가능성이 높아지고, 이러한 현상을 반영하는 보행모델이 필요하다.

3. 다중 Static Floor Field 기반 보행모델

3.1. Static Floor Field 계산

FFM은 보행자의 이동을 static과 dynamic 두 가지 floor field를 이용하여 나타낸다. Static floor field는 보행자가 이동할 수 있는 셀과 건물 내 가장 가까운 출구와의 거리를 나타낸다. Static floor field를 계산하기 위해서는 거리를 계산하는 방법을 정의해야 한다. 본 연구에서는 A. Varas 등이 사용한 맨하탄 거리계산법을 이용하여 static floor field를 계산하였다 [4]. 계산법은 다음과 같다.

- (1) 모든 셀을 보행자가 이동 가능한 셀과 벽과 장애물 등 이동 불가능한 셀, 그리고 외부지역 3가지로 구분한다. 이동 가능한 셀은 0, 이동 불가능한 셀은 1, 외부지역은 2의 값을 부여하였다.
- (2) 출구 셀과 이동 가능한 셀 간의 거리를 계산한다. 출구의 셀 값은 0으로 할당하고, 출구를 기준으로 상하좌우 셀은 기존 셀 값 N에서 1을 증가한 N+1을 할당한다. 대각선 셀은 기존 셀 값 N에서 λ 를 증가한 N+ λ 를 할당한다($\lambda > 1$). 본 연구에서는 $\lambda=1.4$ 를 이용하였다.



(그림 2) Static floor field의 예

- (3) 하나의 셀에 여러 개의 셀 값이 부여되는 경우에는 최소로 부여된 셀 값을 이용한다.

(그림 2)에는 위와 같은 방법으로 계산된 static floor field가 나타나 있다. 그라데이션을 이용하여 출구와의 거리를 표현하였다.

3.2. 다중 Static Floor Field 계산

본 연구에서는 각 개별 공간을 보행자가 인지할 수 있도록 하는 다중 static floor field를 이용한다. 각 공간별 static floor field를 계산하기 위해서는 공간별 출구를 파악해야 한다. 출구를 파악할 때, 앞서 계산된 static floor field를 이용한다. 방 안의 모든 출입구를 출구로 판단하지 않고 건물의 최종출구로 향하는 출입구만 출구로 판단한다. 방 안의 출입구 중, 출구를 판단하기 위해서 기존 static value의 변화량을 이용한다. 출구를 판단하는 과정은 다음과 같다.

- (1) 방의 출입구를 모두 파악한다.
- (2) 각각의 출입구와 외부 셀에서 static value의 변화량을 계산한다.

$$\Delta S = s_1 - s_2$$
(s_1 은 출입구, s_2 는 외부 셀의 static value)
- (3) if $\begin{cases} \Delta S > 0 : isExit = true \\ \Delta S < 0 : isExit = false \end{cases}$ 출입구에서 외부 셀로 이동하였을 때, static value가 작아진다면 출구로 판단, 커진다면 출구로 판단하지 않는다.
- (4) 방의 모든 출입구에 대해 위의 연산을 반복한다.

이와 같은 과정을 통해 방 안의 출구를 판단하게 된다. 출구를 판단한 후, 개별 static floor field를 계산하는 방법은 3장 1절에 소개한 static floor field를 계산하는 방법과 동일하다. 각각의 방, 복도 등에 대해 개별 static floor field를 모두 계산한다. 계산된 다중 static floor field는 실내 공간 인지를 반영한 보행자의 이동에 이용된다.

3.3. 보행자의 이동

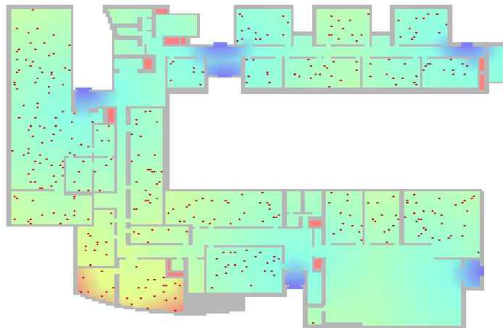
본 연구에서 제시하는 모델을 이용하여

보행자의 이동을 연산하는 과정은 다음과 같다.

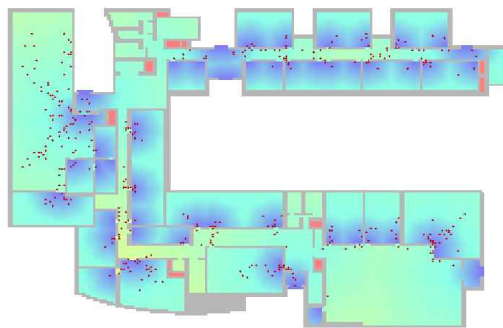
- (1) 보행자는 현재 위치한 좌표를 통해 어떤 공간(방, 복도 등)에 있는지 판단한다.
- (2) 판단된 공간에 대한 개별 static floor field와 dynamic floor field를 통해 transition probability를 계산하고 이동한다.
- (3) 현재 공간의 출구에 도착한 경우에는 출구에 인접한 다음 공간으로 이동하게 된다.
- (4) 다음 공간으로 이동한 후에는 위의 연산을 반복하여 최종출구로 나가게 된다.

4. 대피시뮬레이션을 통한 기존 모델과의 비교

본 모델과 기존 FFM의 차이를 비교하기 위해 실제 건물 정보를 이용하여 대피시뮬레이션을 수행하였다. 캠퍼스 내의 건물 1층에 대한 grid cell 데이터를 구현하였고, grid cell 데이터에는 각 공간을 구분



(그림 3) 기존 Static Floor Field의 예



(그림 4) 다중 Static Floor Field의 예

할 수 있도록 속성을 추가하였다. 대상공간은 (그림 3)에 나타나 있고, (그림 3)은 최종출구를 기반으로 산출된 static floor field이고, (그림 4)는 개별 공간의 출구를 기반으로 산출된 다중 static floor field이다.

(그림 5)는 각 공간별 출구로 판단된 출입구와 그렇지 않은 출입구의 차이를 나타내고 있다. 출구A는 방1의 출구로 판단되어 있고, 출구B는 출구로 판단되어 있지 않음을 볼 수 있다. 3장 2절에서 정의한 규칙에 따라 건물의 최종출구로 가는 경향이 있는 출구인지 아닌지를 판단하여 나타낸 것이다.



(그림 5) 공간별 출입구 판단의 예

기존 모델과 본 모델의 차이점을 파악하기 위해 대상 공간에 769명의 보행자를 임의로 배치하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션에 적용되는 민감도 파라미터는 $k_s = 2, k_d = 0.1$ 를 이용하였다. 이와 같은 설정으로 수행된 시뮬레이션 결과는

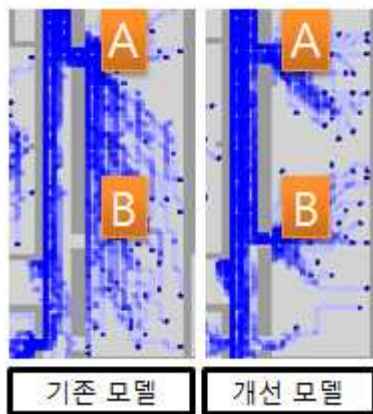


(그림 6) 기존 Static Floor Field를 이용한 대피경로의 예



(그림 7) 다중 Static Floor Field를 이용한 대피경로의 예

(그림 6), (그림 7)과 같다. 그림에 나타난 실선은 각각 보행자들의 대피경로를 나타낸다. (그림 6)은 가까운 출입문이 있음에도 불구하고 멀리 있는 출입문으로 이동하고 있다. 이동한 출입문이 최종 건물 출구에 가깝기 때문에 이러한 이동을 나타내고 있다. (그림 7)은 우선 방안의 가까운 출구로 이동한 후, 복도에서 출구를 판단하여 이동하고 있는 모습을 나타내고 있다.



(그림 8) 기존 모델과 개선된 모델의 차이점

(그림 8)에는 두 모델의 차이점을 자세히 표현하였다. 기존 모델에서는 출구 B에 가까운 보행자들도 모두 출구 A로만 이동하고 있다. 하지만 본 모델에서는 출구 A와 출구 B 양쪽으로 나뉘어서 보행자들이 이동하고 있는 것을 볼 수 있다.

5. 결론

본 연구는 재난/재해 등이 발생할 경우 보

행자들이 공황상태가 되어 건물을 탈출하는 최적의 경로를 판단하기 어려운 상태에서 우선적으로 가장 가까운 출입문으로 이동할 수 있도록 하는 보행모델을 제안하고 있다. 기존 FFM은 언제나 건물의 최종출구로 이동하는 경로를 인지하고 있다는 가정 하에 보행자의 움직임을 나타내지만, 본 모델은 전체 경로가 아닌 현재 공간에서 가장 가까운 출입문으로 이동하도록 하고 있다.

본 연구에서 이를 구현하기 위해 각 공간별로 출구를 판단하는 알고리즘을 구현하였고, 이에 따라 각 공간별 static floor field를 산출하였다. 보행자는 현재 위치한 공간에 대한 static floor field에 따라 다른 공간으로 이동하게 되고, 이를 반복하여 최종출구로 이동하게 된다.

본 연구에서 제시하고 있는 보행모델을 이용하면 대피상황에서 발생하는 혼란상황에 대한 적용이 가능하다. 건물의 최종출구로 이동하는 경로를 알고 있는 상황이면 기본 static floor field를 따라 이동하고, 건물에 익숙하지 않거나 혼란상황에 처한 보행자라면 다중 static floor field를 따라 이동하도록 할 수 있다. 따라서 보행자에 대한 여러 상황 설정이 가능해지므로 대피상황에 대한 분석을 더 정밀하게 수행할 수 있을 것으로 판단한다.

참고문헌

- [1] R. K. Ahuja, T. L. Magnate, and J. B. Orlin, 1993, Network Flows: Theory, Algorithms and Applications.
- [2] A. Kirchner, and A. Schadschneider, 2002, "Simulation of evacuation processes using a bionics-inspired cellular automaton model for pedestrian dynamics", Physica A, vol. 312, pp. 260-276.
- [3] K. Abe, Human Science of Panic (in Japanese), Brain Pub. Co., Tokyo, 1986.
- [4] A. Varas, M. D. Cornejo, D. Mainemer, B. Toledo, J. Rogan, V. Munoz, J. A. Valdivia, "Cellular automaton model for evacuation process with obstacles", Physica A 382, pp. 631-642, 2007.

발표형식 : 구두발표(Oral)