

屋内火災における煙のリスクを考慮した避難誘導方法の開発

Development of the Evacuation Method for a Fire in a Building

Taking Account of the Risk of Smoke

○ 加藤 利哉 (東大) 田村 雄介 (東大)
正 山下 淳 (東大) 正 浅間 一 (東大)

Toshiya KATO, The University of Tokyo, tkato@robot.t.u-tokyo.ac.jp
Yusuke TAMURA, The University of Tokyo, tamura@robot.t.u-tokyo.ac.jp
Atsushi YAMASHITA, The University of Tokyo, yamashita@robot.t.u-tokyo.ac.jp
Hajime ASAMA, The University of Tokyo, asama@robot.t.u-tokyo.ac.jp

In the situation of a fire, an evacuation system, which guided pedestrians in a building to exist safely, is supposed in this research. Moreover, we proposed the evacuation method that minimized the risk of pedestrians, and the method was evaluated by cellular automata. The experiments showed that our proposed method enabled pedestrians to be suffered by less risk of smoke than the method, which only made pedestrians avoid places that fire would exist.

Key Words: Evacuation, Risk, Smoke

1. 緒言

人が多く集まる建築物で火災が発生した場合、いかに建物内の人々を安全に避難させるかという問題は非常に重要である。現在では館内一斉放送などの、避難者全員に同じ指示を出す方法が採られている。しかし、火災では普段使える通路が使用不可能になる可能性あり、個々人がどこにいるかによって適切な避難経路は変わる可能性がある。そこで、建物内から人を迅速かつ安全に避難させる方法として、個々の避難者を適切な方向に誘導して避難させる方法が挙げられる。そのような誘導を行うには、避難者のいるそれぞれの場所に適した避難指示をする必要がある。そのような避難誘導ができる装置としては、瀧本ら[1]が開発したものが挙げられる。また、屋外を想定したものはあるが、原科らは避難時における避難時間を短縮することに対して、経路指示の有効性を示した[2]。

しかし、これらの研究は避難時間の短縮に対する言及のみで、避難中に受ける避難者の危険に対する評価がない。つまり、その装置が本当に安全かつ最短で出口に到達できる経路選択しているとはいえない。そこで、本稿では火災で火以外に避難者の大きな危険となりうる煙を一酸化炭素中毒リスクとして考慮する。そして、前述のそれぞれの場所に適した避難指示をする装置のある屋内で火災が発生した場合に、避難者の安全性を避難時間と避難者が受けたリスクの観点からコンピュータシミュレーションで評価する。

2. 誘導手法

2.1 問題設定

屋内での火災を想定し、問題を単純にするために火災が発生した階のみを考察の対象とする。火災が発生したとき、各避難者は自分のいる場所から非常階段口などの出口に向かうものとする。また、避難者がその階の出口に到着した時点で、その避難者は生存したとみなす。

次に、本稿で仮定する避難誘導装置について説明する。Fig.1のように、Start から Goal まで避難者が向かう場合を考える。避難誘導装置は十字路など行き先が複数ある場所に設置される。避難者が火や煙を避けて最短距離で出口まで行くことができる方向を、避難誘導装置が音声や矢印で指示してくれるというものである。本稿では、避難者は必ずこの避難指示に

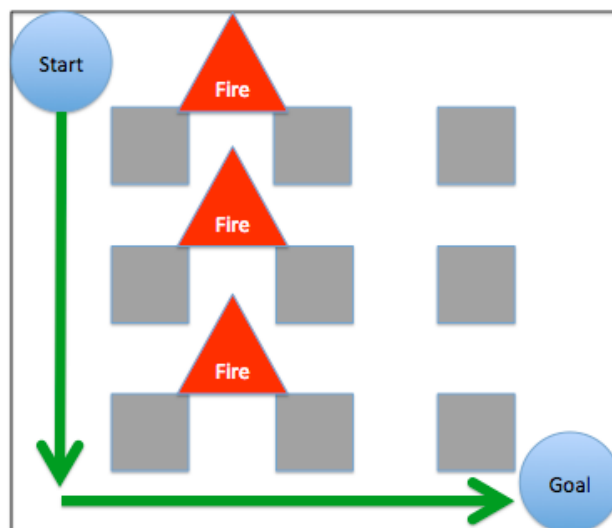


Fig. 1 Evacuation Guidance System
従うものとする

2.2 定式化

本稿では、セルオートマトンモデルにより、シミュレーションを行う。セルオートマトンモデルとは格子から構成されたオートマトンで表現するモデルである。その格子をセルと呼ぶ。移動できる方向は、隣接する上下左右方向のセルのみとする。本稿のシミュレーションの対象となるのは避難者、煙、火である。

本研究では、避難者の誘導を安全で簡便に行う工夫として、いくつかいくつかのセルの集合体をノードと定義する。ノードと他のノードが接している場合に、そのノード間にエッジが存在するものとし、避難者や、火、煙などはエッジが存在するときのみ、ノード間の移動が可能になるものとする。また、火災が発生するのは、いずれかの1つのセルのみであるが、本稿では避難者の安全を考慮し、その火災が発生したセルを含むノードを避けるように避難者を安全に出口まで誘導するものとする。避難経路の探索はダイクストラ法を用いることにする。シミュレーションにおいて以下のようなルールを設定する。

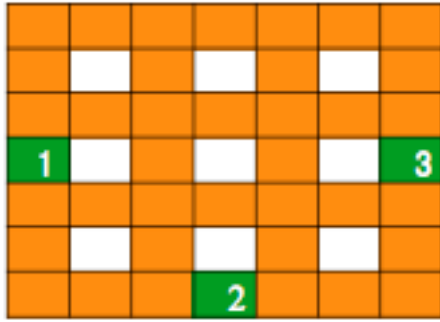


Fig. 2 Map with Nodes
Orange cells: nodes, green cells: nodes with exits

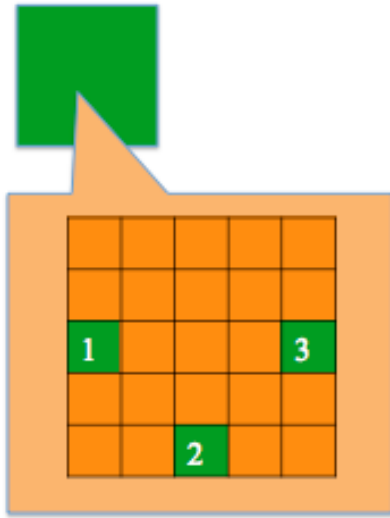


Fig. 3 Detail Exits Position on the Nodes
Numbers in Green Cells is the Position of Exits,
corresponding to Exit Nodes with the Same Numbers

セルについて：

- 1セルに歩行者は1人のみ存在可能とし、火と煙はそのセルに歩行者が存在しても存在可能。
- 誘導する装置は、1つのノードに設置し、避難者はノードに入った時から避難指示を知覚可能。
- 歩行者、煙、火はセルの上下左右方向のみを移動し、壁は通過不可能。

歩行者について：

1. 歩行者は避難口まで誘導する装置の指示に従い、避難。
2. 歩行者は一酸化炭素中毒リスクというパラメータを持ち、一定値を超えると生存不可。
3. 煙が歩行者のセルに存在するときに、歩行者の一酸化炭素中毒リスクが上昇。
4. 火が歩行者のセルに存在するとき、歩行者は生存不可。

火、煙について：

1. 火は10ステップに1回上下左右方向のいずれかに延焼
 2. 煙は火から発生し、毎ステップ煙は拡散し、煙の拡散方向は上下左右のいずれかのセル。
 3. 火と煙は消えず、煙（一酸化炭素）の濃度は一定
- また、避難者のリスクは以下の式で算出する。

$$r_p = \sum_{t=0}^{T_p} c_p(t) \quad (1)$$

ここで、 r_p は避難者 p の避難完了までの総リスク、 T_p は避難者 p の避難にかかった時間[秒]で、 $c_p(t)$ は避難者 p が時刻 t のときに存在するセルのリスク。

また、本研究ではあらかじめ火や煙の広がり方を予測可能なものとして、それに基づき火に遭遇しない安全な経路を決定するものとする。そして、あらかじめランダムに決められた順番で、事前の予測に基づき避難者が火に遭遇しないような経路で、かつ最短時間で出口に到達可能な経路をダイクストラ法で探索する。そのような経路が複数存在する場合は、より煙を含まないノードを通過し、 r_p が最小となる経路を選択するものとする。

加えて、避難者が耐えられる一酸化炭素中毒リスクの限界を R として、避難者が無事に出口までたどり着いた場合、すべての生存した避難者 p について、以下の式を満たすとする。

$$r_p < R \quad (2)$$

2.2 手法のまとめ

1. 火災の発生日点から、火と煙の広がり方を予測。
2. あらかじめ決められた順番で、火を含むノードを避けるように避難者を最短距離で誘導。
3. 複数そのような経路が存在する場合、より煙の影響、つまり受ける一酸化炭素中毒リスクが少ない経路を選択。
4. その後、避難者は先ほどの最短経路に従ってノード間を移動するために、定めたルールに従ってセル間を移動する。
5. これを避難者が生存している限り実行する。

3. シミュレーション実験

本稿では、Fig.2にあるような現実の空間を想定し、シミュレーションを行った。合計40のノードが存在し、1ノードは縦横それぞれ5セルずつの正方形で構成されている。また、1セルは50cm×50cmの正方形として、出口の数は3つとした。

出口の具体的な場所は Fig.3にある通りである。例えば、Fig.2にある緑色のノード1に出口が存在し、その具体的な位置は Fig.3の緑色の1と書かれているセルだということを表現している。これは、他の Fig.2にある緑色のノード2や3であっても同様である。

また、1ステップは0.5秒とし、避難者と煙の移動速度は1m/sつまり、1ステップに1セルだけ進むように設定した。避難者の数は50人で、各セルに避難者が同じセルに存在しないように、一様に分布させた。火災はランダムに1セルのみから発生するものとした。

そして、一酸化炭素中毒リスクの限界値を決定する。本研究の火で発生する一酸化炭素の濃度を12,800ppmと仮定し、 $c_p(t)=1$ と定めた。そうすると、竹内[3]によると、一酸化炭素の濃度が12,800ppmの場合、人は1分から3分しか生存できない。そこで、一酸化炭素がその濃度の時に人は1分しか生存できないと見積もることで、

$$R = 60 \div 0.5 = 120$$

と算出した。

加えて、300ステップ後には想定した環境のすべてが火に覆われて、避難者の生存が期待できないことから、広がり方を予測するのは300ステップまでとし、300ステップまでに避難できなかった避難者は生存不可とみなした。これらの条件を設定した環境でシミュレーションを1,000回行い、それぞれの避難者が受けた一酸化炭素中毒のリスクを、そのリスクをできるだけ受けないように誘導する方法と、ただ火を避ける誘導方法の2つで比較した。

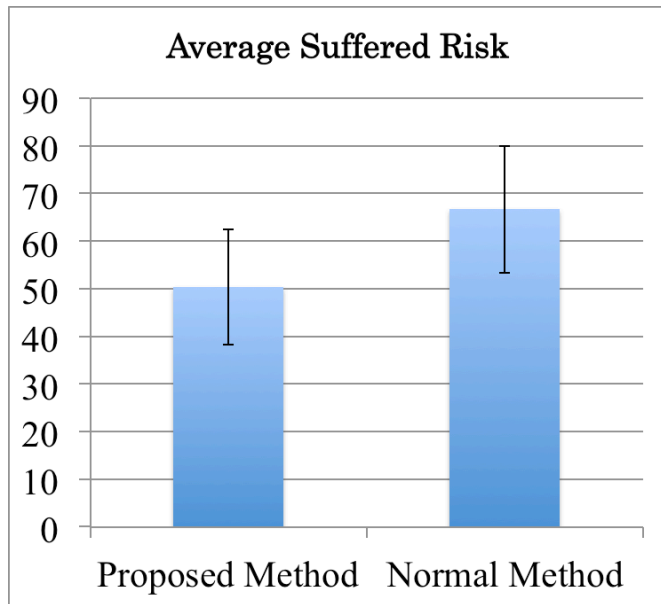


Fig. 4 Simulation Results for Suffered Risk

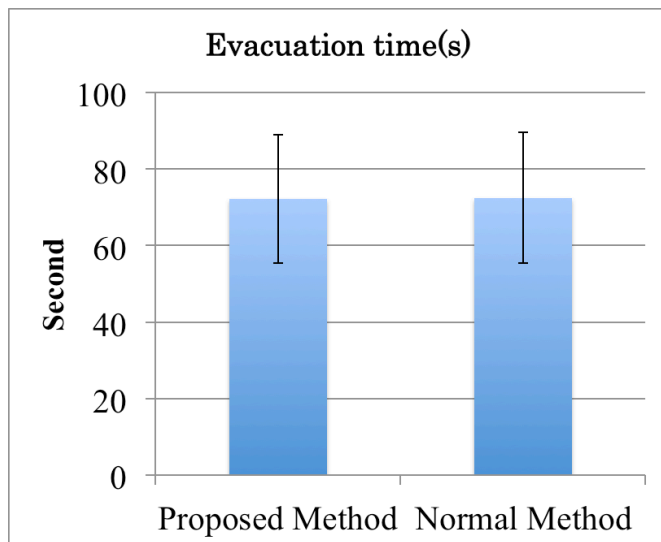


Fig. 5 Simulation Results for Evacuation Time

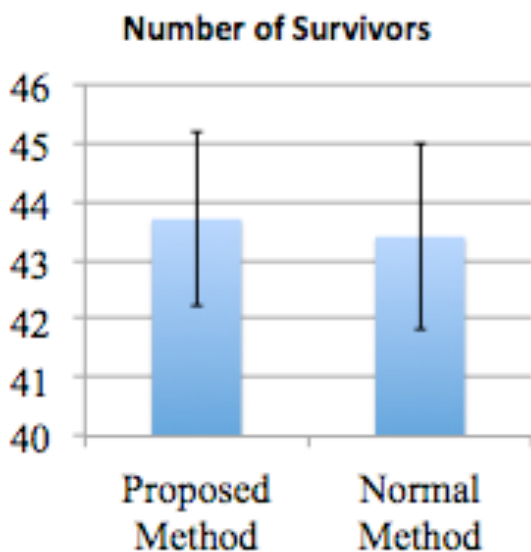


Fig. 6 Simulation Results for Numbers of Survivors

4. 結果と分析

実験結果は Fig. 4 から Fig.6 のようになった。Fig. 4 は避難者が受けた一酸化炭素中毒のリスクを、Fig. 5 は避難者が避難を完了するまでにかかった時間を、そして Fig. 6 は生存者数についての結果を示している提案手法の方が、単純に火を避けるだけの避難誘導方法に比べ、避難者が受ける一酸化炭素中毒のリスクを約 16 も下げていることを示している。しかし、避難が完了する時間が短く、かつ煙のリスクが減少するような経路に誘導しているので、Fig.5 と Fig.6 が示すように、避難時間と生存者数に関しては提案した方法と、ただ火を避けるように誘導する方法に大きな変化はない。

5. 結言

本稿ではセルオートマトンを用いたコンピュータシミュレーションにより、提案した手法の方がより避難者が煙の悪影響にさらされるのを、ただ火災を回避するよりも防ぐことを示した。しかし、本稿では火と煙がどのように拡散するかあらかじめ把握している上で、誘導する方向を決定していたので、将来的にはそれらの拡散方向が不確定の場合や、排煙設備などの影響を加味した手法を提案する必要がある。

また、本研究では、避難者が同時に一つの出口に集中することを防ぐような誘導を行っていないので、出口から避難者が脱出するのにより時間を取られている可能性もある。今後は、そのように一つの出口に避難者が集中するのを防ぐような避難誘導の方法も開発する必要がある。

また、今回は対称的な構造の環境でシミュレーション実験を行ったが、非対称的な構造を持つ環境や、一つのフロアだけでなく、複数のフロアにいる避難者を避難誘導させる場合はまた違う結果が出てくる可能性がある。

文 献

- [1] 瀧本 浩一, 三浦 房紀, 松元 隆博, 関原 弦, 組田 良則, 山本 真吾: “自律分散協調による避難誘導システムの開発”, 社会技術研究論文集 8, pp. 82-90, 4 月, 2011
- [2] 原科 直記, 三栗 寛之, 向 直人, 渡邊 豊英: “経路指示パネルによる避難誘導のためのシミュレーション分析”. DEWS2006 論文集, 2006
- [3] 竹内 亨: “一酸化炭素中毒の予防について”. 産衛誌 51, pp. 71-73, 2009