

距離制限制約付き美術館定理を用いた ショッピングモールにおける監視カメラの最適配置

横村 香音 (指導教員：浅本 紀子)

1 はじめに

近年、建物内の構造が複雑化しており監視カメラは必要不可欠である。このとき、建物内を必要最低限台数のカメラで監視することができればコストの削減に繋がる。そのため、設置するカメラの台数を減らすことや効率の良い配置を考えることはとても重要である。

本研究で参考にしてしている美術館定理とは、穴のない n 角形内の全領域を監視するために必要な監視カメラの台数を求める問題で、高々 $\lfloor \frac{n}{3} \rfloor$ 台であることが知られている。また、単純 n 直交多角形の場合には、必要な監視カメラの台数は $\lfloor \frac{n}{4} \rfloor$ 台である。ただし、 $\lfloor x \rfloor$ は実数 x の整数部分である。

この美術館定理の証明には、三角形の点彩色が用いられる。 n 角形を三角形に分割し、三角形の各頂点が異なる色となるように三色で塗り分ける。このとき、三色の中で最も少ない色は $\lfloor \frac{n}{3} \rfloor$ 個以下である。この頂点に監視カメラを設置すれば n 角形内の全領域を監視できる。しかし、監視カメラが視野に含まれるものを常に監視できるという仮定は現実的に無理がある。そのため、本研究では監視カメラに距離制限制約を付けて考える。

本研究において、設置する監視カメラには全方位カメラを用いる。全方位カメラとは、一回の撮影で周囲 360° の風景を撮影することができるカメラである。全方位カメラを用いることで、美術館定理をより現実的に捉えることができる。また、全方位カメラは設置位置から距離が遠くなるほど解像度が低下するという特徴がある。一般的な全方位カメラの撮影可能距離は 8m から 20m であるため、本研究では撮影可能距離を 15m とする。このとき、建物内に設置すべき監視カメラの最小台数とその配置を求めることを目指す。

2 関連研究

2009 年に小林によって行われた研究 [1] では n 直交多角形で表される美術館について、その壁面をどの点も少なくとも一台の全方位カメラの指定範囲内で監視できるようにするには最小何台のカメラをどのように配置すればよいかを数学的に検討し、最適配置を求めるアルゴリズムを示している。

本研究では、MAS の個々のエージェントの相互作用が積み重なりマクロな現象を表現することができるという特徴を活かすために、ショッピングモールにおける監視カメラの最適配置を検討する。また、数学的な観点ではなく MAS を用いて実験的に検討する。さらに、壁面だけでなくフロア全体を監視できるような配置を検討する。

3 モデルの概要

本研究では、artisoc Cloud を用いてアトレヴィ大塚 2 階 [2] と PARCO 池袋本館 2 階 [3] のモデル作成した。今回は、カフェやネイルサロンも小売店とみなし、泥棒のターゲットになりうるとする。各店内には目的

地 ID が割り振られている。

3.1 一般客のルール

一般客は生成時にランダムに目的地 ID を持っており、目的地まではポテンシャル法 [4] によって移動する。目的地に着くと、店内を 30 から 60 ステップ程周辺を歩き回り、その後ランダムに新たな目的地が設定される。シミュレーション終了までこれを繰り返す。

目的地の中には、エスカレーターも含まれており、エスカレーターに着くと一般客エージェントは消失する。また、ランダムなステップでエスカレーターから一般客エージェントが生成される。

3.2 泥棒のルール

泥棒も基本的には一般客と同じルールで店を回るが、目的地に着いたら 30% の確率で商品を盗む。2009 年に大野によって行われた研究 [5] によると、万引き犯は犯行前に店員や監視カメラの位置、保安員の有無などの確認を行う。よって、本研究において泥棒が犯行に及ぶのは以下 4 つの条件を全て満たす場合のみとする。

1. 周囲 1 以内の距離に一般客がいない
2. 周囲 3 以内の距離にいる一般客が 2 人以下
3. 周囲 2 以内の距離に監視カメラがない
4. 現在いる場所がトイレでない

泥棒は商品を盗んだら 1 階へ下るエスカレーターにすぐに向かう。泥棒がエスカレーターに到着したらシミュレーションを終了する。

また、泥棒は周囲 5 の距離に監視カメラを見つけたらカメラと反対方向に 70% の確率で動く。

3.3 監視カメラのルール

周囲 15 以内の距離に泥棒がいる場合、カメラから泥棒までの距離を測る。全方位カメラの解像度を考慮し、距離が遠いほどポイントが低くなるようにポイントを設定する。シミュレーション終了時に、ポイントの合計と、泥棒が商品を盗んだ瞬間をカメラが捉えていた場合はそのカメラ ID、泥棒との距離をコンソール画面に出力する。また、カメラ毎にカメラ ID をふり、カメラ毎のポイントの合計を円グラフに出力する。

4 監視カメラ最適配置の検討方法

同じ map で 20 回シミュレーションを実行し、 $\frac{\text{合計ポイント}}{\text{総ステップ数}}$ の平均値を算出する。この平均値が高い方がより多くのカメラが、または、より近い距離で泥棒を撮影することができるということになる。したがって、このポイントが高くなるようなカメラの配置を検討する。

5 監視カメラの配置の検討

直交多角形における美術館定理の証明をもとに考える。まず、map を四角形に区切り各四角形内を監視で

きる位置に監視カメラを設置する。そこから距離 15 という制限を考慮して具体的な配置を考える。

6 シミュレーションの実行と結果

6.1 アトレヴィ大塚

モデル	台数	合計ポイント 総ステップ数	の平均	確率
①	8 台		9.89	100%
②	7 台		9.91	100%
③	6 台		8.54	85%
④	6 台		8.31	75%
⑤	5 台		6.66	65%

表 1: アトレヴィ大塚のシミュレーション結果

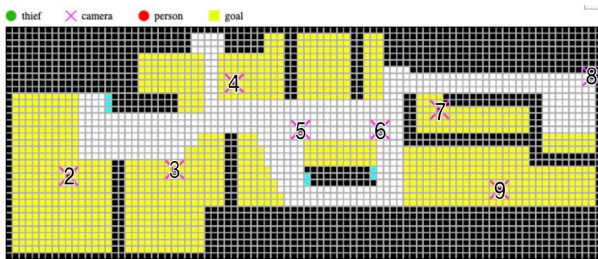


図 1: モデル①

アトレヴィ大塚のシミュレーション結果を表 1 に示す。表中の確率は犯行の瞬間をカメラが捉えた確率とする。

図 1 は、店内のどの領域も最低一台のカメラが撮影可能距離内で捉えることができる配置である。これをモデル①とする。このとき、カメラ 8 以外はカメラ毎の合計ポイントが 4000 以上であるのに対し、カメラ 8 は 136 ポイントと極端に少なかった。そのため、次はカメラ 8 を無くしてシミュレーションを行った。これをモデル②とする。モデル②のシミュレーション結果は表 1 の通り、 $\frac{\text{合計ポイント}}{\text{総ステップ数}}$ の平均値はカメラ 8 があるモデル①とほぼ同値であった。また、犯行の瞬間をカメラが捉えた確率は変わらず 100% であることからカメラ 8 を無くしても大きな影響はないと言える。

さらにカメラの台数を減らしてシミュレーションを行った。図 2、図 3 はカメラを 6 台にした際の配置である。四角形の辺が重なる部分にカメラを設置し、複数の四角形を一台のカメラで監視することでカメラの台数を減らした。どのカメラにも映らない範囲がモデル③には 37 マス、モデル④には 49 マスある。同様の方法でさらに一台カメラを減らしたモデルをモデル⑤とする (カメラ 5 台)。

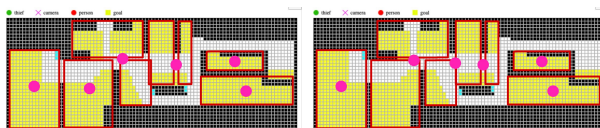


図 2: モデル③

図 3: モデル④

これらのシミュレーション結果より、アトレヴィ大

塚の map は監視カメラ 7 台でフロア全体を十分に監視できることが分かった。また、カメラの台数を少なくする際は、カメラに映らない範囲の面積が小さくなるように工夫して配置する必要がある。また、今回の方法でカメラの台数を少なくするとき、カメラを壁際に配置する必要があるので、壁際が映りにくくなるという特徴がある。

6.2 PARCO 池袋

モデル	台数	合計ポイント 総ステップ数	の平均	確率
①	9 台		9.44	100%
②	8 台		8.87	100%
③	7 台		7.25	95%
④	6 台		6.19	80%

表 2: PARCO 池袋のシミュレーション結果

PARCO 池袋のシミュレーション結果を表 2 に示す。どのカメラにも映らない範囲がモデル①には 1 マス、モデル②には 19 マス、モデル③には 26 マス、モデル④には 50 マス以上ある。また、カメラの台数を減らす方法はアトレヴィ大塚の検証と同じ方法である。

表 2 より、PARCO 池袋の map は監視カメラ 8 台でフロア全体を十分に監視できることが分かる。また、アトレヴィ大塚と同様、カメラの台数を少なくすると壁際が映りにくくなるという特徴がある。

7 今後の課題

本研究では、美術館定理の考え方をもとに、二つのショッピングモールの監視カメラの必要最小台数と最適配置を求めた。しかし、本研究では距離制限制約を考慮した配置を手動で検討したため、規模が大きくなると対応できなくなると考えられる。そのため、今後はカメラに映らない範囲を出力できるようなモデルを作成し、配置を検討しやすくしたい。また、監視カメラの性能、すなわち、撮影可能距離とコストの兼ね合いを加味した場合や、単独犯だけでなく複数犯の場合、柵による死角なども考慮した場合についても検証していきたい。

参考文献

- [1] 小林公樹. 全方位カメラを用いた距離制限制約付き美術館問題に関する研究. 2009.
- [2] アトレヴィ大塚 公式サイト. <https://www.atre.co.jp/index.php/otsuka/floorguide/35/152>.
- [3] 池袋 parco 公式サイト. <https://ikebukuro.parco.jp/floor/detail/?f=2f&ft=type1>.
- [4] ポテンシャル法で移動しよう -mas コミュニティ- 構造計画研究所. https://mas.kke.co.jp/howto/recipe05_artisoccloud/.
- [5] 大野宏, オオノヒロシ. 万引き犯の行動分析と検知に関する研究. 2009.