

1. 研究の要約

私たちは災害時における自衛隊による被災者の探索を、複数台のドローンを用いて行うことで時間・コストの縮小を図れるのではないかと考え、本研究を構想した。コンピュータを用いてドローンの動きを再現したシミュレータを作成した。

本研究から、被災者がどのように分布しているかが大まかに察知できる場合、アルゴリズムを変更することで効率的に被災者の探索を行うことができると考える。

2. 研究の動機と目的

私たちの暮らす日本は地震などの災害が多い国である。災害が生じた際には自衛隊が出動し、被災者の探索を行っているのが現状である。被害が甚大である場合には探索は短時間で徹底的に行われる必要があり、人員、費用など多くの問題が存在している。近年、上空からの探索は、消防防災ヘリコプターに代わって無人探索機、ドローンを飛ばして迅速に行えるような技術開発が進められている。私たちは探索者の負担軽減や、被害・コストの縮小のために、ドローンを用いてより多くの被災者が発見できる方法を研究することを目的とする。ただし、実際にドローンを飛ばして実験を行うことは、時間的・経済的に困難であると判断し、コンピュータを用いてドローンの動きを再現したシミュレータを作成することで、実際にドローンを飛ばさずに研究を行うことにした。

3. 方法と結果

1) 定義

本稿で記述する用語は次のように定める。

1. 用語の定義

○「効率的に探索できる」

ドローンの稼働時間内に、より多くの被災者を発見できるとき、「効率的に探索できる」と呼ぶ。

○「マップ」

被災者が配置される方法を「マップ」と呼ぶ。

○「被災者を発見した」

被災者がドローンのカメラ範囲内に入ったときに、「被災者を発見した」と呼ぶ。

○「ランダムに広がる」

ドローンが疑似乱数を利用し、10秒ごとに $\pm 0.5\text{rad}$ の範囲でランダムに向きを変更して広がることを「ランダムに広がる」と呼ぶ。

○「螺旋状に広がる」

ドローンが複数台または単体で一点から時計回りに隙間なく広がることを「螺旋状に広がる」と呼ぶ。5台で螺旋状に広がると図1のようになる。

○「発見率」

マップ内のすべての被災者の人数に対しドローンが稼働時間内に発見した被災者の数の割合を「発見率」と呼ぶ。

2. シミュレーションの定義

- ・50台のドローンでマップの中心からスタートし、被災者を探索する。
- ・被災者は常に静止している。
- ・ドローン、被災者は障害物のない平面の空間にある。
- ・被災者の人数は日本の人口密度を用いて算出する。

3. ドローンの定義

- ・速度は常に16m/sで、減速・加速は発生しない。
- ・稼働時間は25分で、電池の残量による性能の変化は生じない。
- ・カメラが被災者を認識できる範囲は半径30mの円。

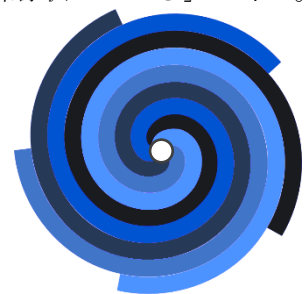


図1 5台で螺旋探索を行った時のドローンの軌跡

2) ランダムウォークと螺旋探索の比較

1. 実験 I

<目的>

効率的に探索できるアルゴリズムを探す中で、アリに着想を得たアルゴリズムを考えた。アリと同様にランダムに進み、アリのフェロモンのように、被災者を発見すると周囲のドローン呼び寄せ。このアルゴリズムと、ドローンが螺旋状に広がる螺旋探索というアルゴリズムの2つのアルゴリズムについて、被災者との距離が異なるときの被災者の発見率に関して両者の比較を行う。

<方法>

被災者を図2のように配置し、マップの外径を500mから25000mまで、500mの間隔で離していくと発見できる被災者の数がどのように変化するか、シミュレータを作成して実験を行った。螺旋探索とランダムウォーク I の2つのアルゴリズムに従ってドローンを動かし、被災者の発見率の平均値を比較した。

○「螺旋探索」のアルゴリズム

- ①螺旋状に広がる
- ②稼働時間経過したら探索を終了する

○「ランダムウォーク I」のアルゴリズム

- ①一点からランダムに広がる
- ②被災者を発見するとその位置に他の 60 秒以上被災者を発見していないドローンを呼び寄せる
- ③呼び寄せられたドローンは呼び出したドローンがいた位置まで直進する
- ④呼び出された位置まで直進すると再びランダムウォークに戻る
- ⑤稼働時間経過したら探索を終了する

○マップ (図2)

幅が500mのリング。

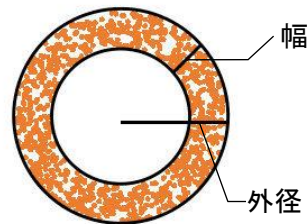


図2 実験 I に用いたマップ

<結果と考察>

実験はそれぞれ10000回ずつ行った。横軸を外径の大きさとし、被災者の発見率の平均値は次のようになった(図3)。

結果より、被災者との距離が離れるにつれランダムウォークのほうがより多くの被災者を発見できるということが分かった。しかしランダムウォークの呼び出す機能は60秒以上発見していないドローンをすべて呼び寄せるため、ドローンが一点に集中しやすくなることから、十分に効果が発揮できていないと思われる。

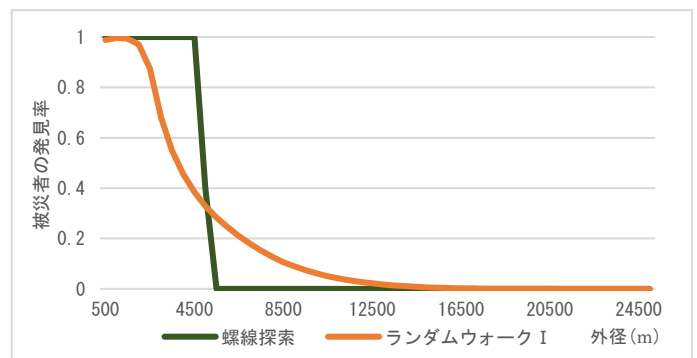


図3 実験 I

2. 実験 II

実験 I ではランダムウォークの呼び出すドローンの数が膨大すぎたため、調整を行うことにした。実験 II-1 では呼び出しについて機能を追加したアルゴリズムの詳細な数値決定を、実験 II-2 ではそのアルゴリズムと螺旋探索の2つのアルゴリズムについて、被災者の発見率の中央値を比較する。

(1) 実験 II-1

<目的>

実験 II-1 は実験 II-2 の予備実験である。

実験 I ではランダムウォークの呼び出すドローンの数が多すぎたため、呼び出されたドローンが一定の確率で反応するよう変更した次のようなアルゴリズムを考えた。

- ①一点からランダムに広がる
- ②被災者を発見するとその位置に他の 60 秒以上被災者を発見していないドローンを呼び寄せる
- ③呼び寄せられたドローンはある確率で呼び出しに応じ、呼び出したドローンがいた位置まで直進する
- ④呼び出された位置まで直進すると再びランダムウォークに戻る
- ⑤稼働時間経過したら探索を終了する

この予備実験では呼び出しに反応する確率について具体的に決定する。

<方法>

被災者を図2のように配置し、マップの外径を4500m、幅を500mとした。次のランダムウォーク II のアルゴリズムに従ってドローンを動かし、呼び出しに応じる確率: P を0から1まで0.01ずつ変化させると発見できる被災者の数がどのように変化するか、シミュレータを作成して実験を行った。ドローンはマップの中心からスタートし、発見した被災者の人数の割合を比較した。

○「ランダムウォークⅡ」のアルゴリズム

- ①一点からランダムに広がる
- ②被災者を発見するとその位置に他の 60 秒以上被災者を発見していないドローン呼び寄せ
- ③呼び寄せられたドローンは **P の確率で呼び出しに応じ**、呼び出したドローンがいた位置まで直進する
- ④呼び出された位置まで直進すると再びランダムウォークに戻る
- ⑤稼働時間経過したら探索を終了する

<結果と考察>

実験はそれぞれ 10000 回ずつ行った。横軸を P とし、被災者の発見率の中央値は次のようになった (図 4)。

P=0.04 の時に被災者の発見率が最も高くなった。しかし P が 0.04 から 1 までの間では発見率において大きな差は示されなかった。

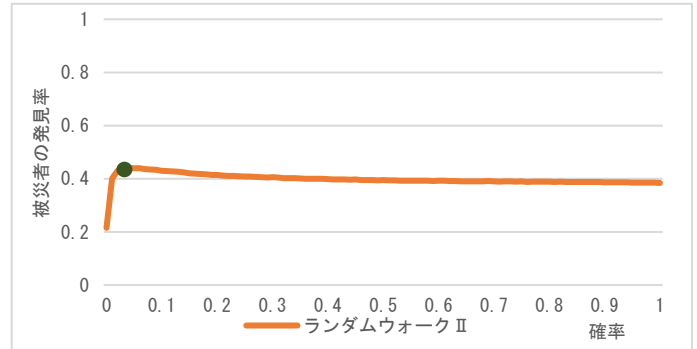


図 4 実験Ⅱ-1

(2) 実験Ⅱ-2

<目的>

60 秒以上被災者を発見していないドローンが 0.04 の確率で呼び出しに応じるように変更したランダムウォークのアルゴリズムと、螺旋探索の 2 つのアルゴリズムについて、被災者との距離が異なるときの被災者の発見率に関して両者の比較を行う。

<方法>

被災者を図 2 のように配置し、マップの外径を 500m から 25000m まで、500m の間隔で離していくと被災者の発見率がどのように変化するか、シミュレータを作成して実験を行った。螺旋探索とランダムウォークⅢの 2 つのアルゴリズムに従ってドローンを動かし、被災者の発見率の中央値を比較した。

○「ランダムウォークⅢ」のアルゴリズム

- ①一点からランダムに広がる
- ②被災者を発見するとその位置に他の 60 秒以上被災者を発見していないドローンを呼び寄せ
- ③呼び寄せられたドローンは **0.04 の確率で呼び出しに応じ**、呼び出したドローンがいた位置まで直進する
- ④呼び出された位置まで直進すると再びランダムウォークに戻る
- ⑤稼働時間経過したら探索を終了する

○マップ (図 2)

幅が 500m のリング。

<結果と考察>

実験はそれぞれ 10000 回ずつ行った。横軸を外径の大きさとし、被災者の発見率の中央値は次のようになった (図 5)。

結果より、実験 I と同様に、被災者との距離が離れるにつれランダムウォークのほうがより多くの被災者を発見できるということが分かった。しかしランダムウォークの呼び出す機能は台数を制限しても、明らかな効果は認められなかった。

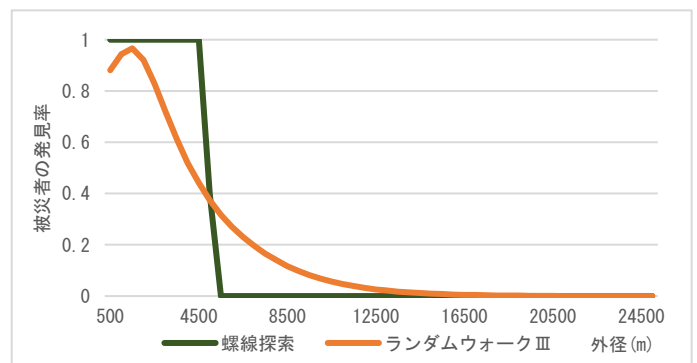


図 5 実験Ⅱ-2

3) ランダムウォークと螺旋探索の組み合わせ

1. 実験Ⅲ

近距離で効率的に探索できる螺旋探索と、遠距離で効率的に探索できるランダムウォークのアルゴリズムを組み合わせるとより効率的に探索できると考えた。ランダムウォークでは呼び出しを行っていたのでまず予備実験を行い最適な呼び出し台数を決定し、それを螺旋探索と比較した。

(1) 実験Ⅲ－1

<目的>

実験Ⅲ－1は次の実験Ⅲ－2の予備実験である。
最適な呼び出し台数を決定する。

<方法>

組み合わせ探索Ⅰに従ってドローンを動かし、呼び出す台数：Nを0から49まで変化させると発見できる被災者の数がどのように変化するか、シミュレータで実験を行った。ドローンをマップの中心から動かし、被災者の発見率を比較した。

ただし、N=0のときは呼び出しを行わず1台で螺旋状に広がる。被災者は過密でない配置(図6-1)とした。

○「組み合わせ探索Ⅰ」のアルゴリズム

①一点からランダムに広がる

②被災者を発見するとその位置から近くのN台を呼び出し(N+1)台で螺旋探索を行う

ただし始めてから5分以内に他のドローンの螺旋探索と重なると判断できる場合螺旋探索は行わずランダムウォークする

被災者を発見しないまま5分経過すると中断し、再びランダムウォークに戻る

③稼働時間経過したら探索を終了する

○マップA(図6-1)

親半径が10000m、子半径が200m、個数が100個のクラスター。

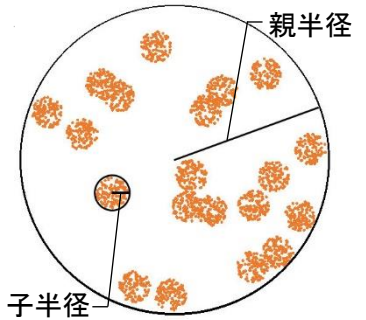


図6-1 マップA

<結果と考察>

実験はそれぞれ10000回ずつ行った。横軸をNとし、被災者の発見率の中央値は次のようになった(図7)。

N=0の時に被災者の発見人数が最も多くなった。つまり呼び出しは発見率を下げる要因であることがわかった。これは呼び出しを行わない場合に、螺旋探索を最も多く同時に行えるようになるからだと考えられる。

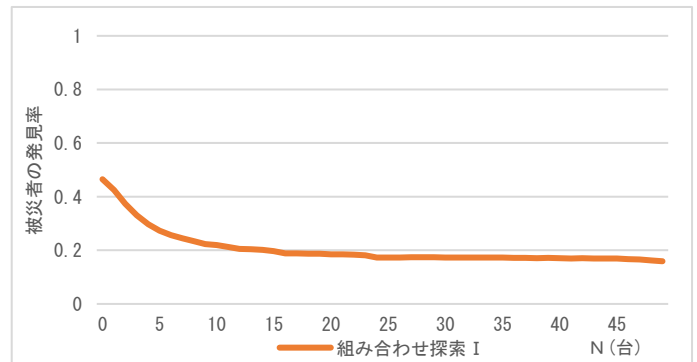


図7 実験Ⅲ－1

(2) 実験Ⅲ－2

<目的>

実験Ⅲ－1の結果に基づきN=0(呼び出しを行わない)として螺旋探索との比較を行う。

この実験では、過密でない(被災者がいない領域のある)配置の一つである、散村のような被災者が小さな集合をまばらに成している状況(図6-2)と、過密な配置である被災者が円を成す状況(図8)の2つを想定した。それぞれマップA・Bとする。またマップAはクラスターという配置方法とする。

<方法>

マップA・Bの2つのパターンで実験した。螺旋探索と組み合わせ探索Ⅱを用いるのでは発見できる被災者の数がどのように異なるのか、シミュレータを作成して実験を行った。螺旋探索と組み合わせ探索Ⅱの2つのアルゴリズムに従ってドローンを動かし、被災者の発見率を比較した。

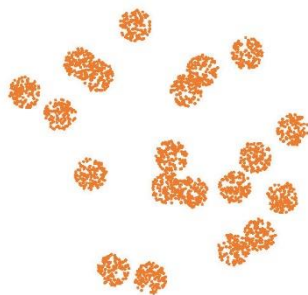


図6-2 マップA

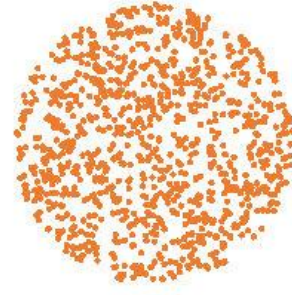


図8 マップB

- 「組み合わせ探索Ⅱ」のアルゴリズム
 - ①一点からランダムに広がる
 - ②被災者を発見するとその位置から螺旋探索を行う
ただし始めてから5分以内に他のドローンの螺旋探索と重なると判断できる場合
螺旋探索は行わずランダムウォークする
被災者を発見しないまま5分経過すると中断し、再びランダムウォークに戻る
 - ③稼働時間経過したら探索を終了する
- 「螺旋探索」のアルゴリズム
 - ①螺旋状に広がる
 - ②稼働時間経過したら探索を終了する
- マップ A (図6-2)
親半径が10000m、子半径が200m、個数が100個のクラスター。
- マップ B (図8)
半径が5000mの円。

<結果と考察>

実験はそれぞれ10000回ずつ行った。被災者の発見率の最小値、第一・第三四分位数、最大値は次のようになった(図9、10)。

結果より、マップ A については組み合わせ探索Ⅱが、マップ B については螺旋探索が、より効率的に探索できた。これは組み合わせ探索Ⅱが、マップ A では螺旋状に広がることで被災者のいる場所を集中的に探索できることで発見できる被災者の人数が増加する一方で、マップ B では螺旋状に広がる範囲が大きく重なるために発見できる被災者の人数が減少するからだと考えられる。

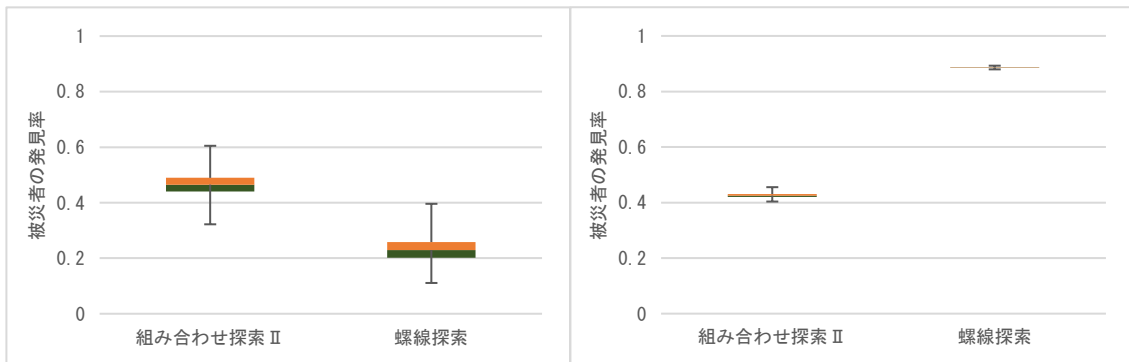


図9 マップ A

図10 マップ B

2. 実験Ⅳ

<目的>

実験Ⅲ-2では螺旋探索と組み合わせ探索Ⅱではマップによって、より効率的に探索できるアルゴリズムは異なった。そこで組み合わせ探索Ⅱで問題であった螺旋状に広がる範囲の重なりを小さくしたアルゴリズムではマップ A・Bの両方でより効率的に探索できるかを、被災者の発見率に関して螺旋探索との比較を行う。

<方法>

実験Ⅲ-2と同様に、マップ A・Bの2つのパターンで実験した。螺旋探索と組み合わせ探索Ⅲを用いるのでは発見できる被災者の数がどのように異なるのか、シミュレータを作成して実験を行った。螺旋探索と組み合わせ探索Ⅲの2つのアルゴリズムに従ってドローンを動かし、被災者の発見率を比較した。

- 「螺旋探索」のアルゴリズム
 - ①螺旋状に広がる
 - ②稼働時間経過したら探索を終了する
- 「組み合わせ探索Ⅲ」のアルゴリズム
 - ①一点からランダムに広がる
 - ②被災者を発見するとその位置から永続的に螺旋探索を行う
ただし他のドローンの螺旋探索と重なると判断できる場合螺旋探索は行わずランダムウォークする
 - ③稼働時間経過したら探索を終了する
- マップ A (図6-2)
親半径が10000m、子半径が200m、個数が100個のクラスター。
- マップ B (図8)
半径が5000mの円。

<結果と考察>

実験はそれぞれ 10000 回ずつ行った。被災者の発見率の最小値、第一・第三四分位数、最大値は次のようになった(図 1 1、1 2)。

結果より、組み合わせ探索Ⅲは組み合わせ探索Ⅱと比較してマップ B での発見率が約 1.5 倍に向上した。これは実験Ⅲ-2 で課題であった重なりが減ったためと考えられる。一方マップ A では発見できた被災者の人数は若干低下した。これは一度始めた螺旋探索を中断しないことによって別のクラスターを発見する機会がなくなったためと考えられる。

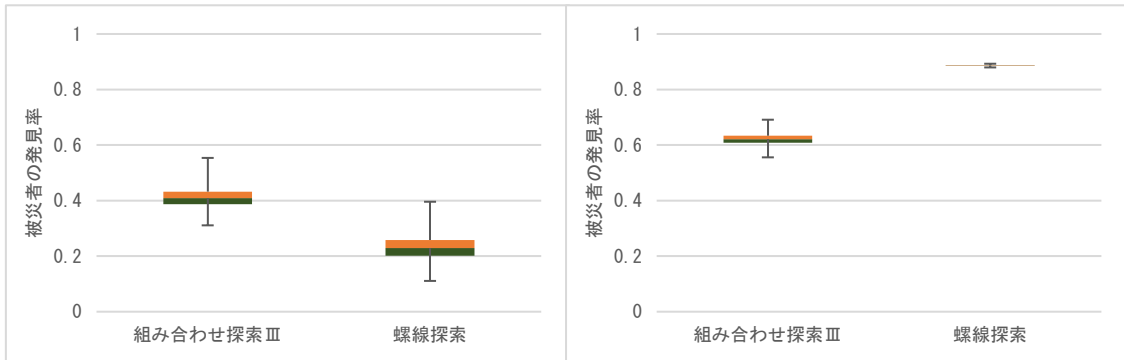


図 1 1 マップ A

図 1 2 マップ B

4. 結論と今後の課題

1) 結論

実験 I より、螺旋探索とランダムウォークのアルゴリズムをドローンに用いると、それぞれ近距離、遠距離の被災者に対して効率的に探索が行えることが分かった。しかし、一定時間以上被災者を発見していないドローンをすべて呼び寄せる機能により、一点に集中してしまったため全体として発見できる人数は螺旋探索よりも少なかった。実験 II では、ドローンを呼び寄せる確率を小さくすることで効率的な探索ができると仮定した。結果は実験 I と同じように、螺旋探索では近距離の被災者を確実に発見でき、ランダムウォークでは遠距離の被災者を発見できるが、全体として発見できる人数は螺旋探索よりも少なかった。

実験 III では、ランダムウォークと螺旋探索を組み合わせることで、被災者を発見できる数の増加を図ったが、被災者の配置が過密である場合には螺旋探索が、そうでない場合にはランダムウォークと螺旋探索を組み合わせたものがそれぞれ被災者を発見できる人数の多い探索方法となり、被災者の分布状況によって最適なアルゴリズムは異なった。実験 IV でも実験 III と同じように被災者の配置が過密であるかそうでないかによって最適なアルゴリズムは異なることが示された。

2) 今後の課題

本研究から、実際の被災者の探索においてどのようなアルゴリズムを用いればよいかは、被災者の分布状況によって大きく異なるという結論を得た。被災者の配置が過密であるかないかということ以外にも、最適なアルゴリズムが異なる要因があるのかを検証していきたい。

5. 脚注

使用したシミュレータ、及びデータは以下に公開している。

<https://github.com/dsajgiouawj/DroneSimulator/releases/download/v2.0/DroneSimulator-v2.0.jar>

<https://github.com/dsajgiouawj/DroneSimulator/tree/musashino>

参考文献

[1] DJI 「DJI Drones」

<http://www.dji.com/jp> (閲覧日:2016年11月01日)

[2] 統計局ホームページ「平成 27 年国勢調査結果」

<http://www.stat.go.jp/data/kokusei/2015/kekka/zuhyou/jinsoku0102.xls> (閲覧日:2016年11月01日)