

昆虫の採餌行動を基にした広域探査アルゴリズムの開発

武田, 大志 / TAKEDA, Taishi

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院理工学・工学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編 / 法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編

(巻 / Volume)

58

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

7

(発行年 / Year)

2017-03-31

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00014183>

昆虫の採餌行動を基にした広域探査アルゴリズムの開発

PATH GENERATION ALGORITHM FOR SEARCH AND RESCUE ROBOTS BASED ON INSECT BEHAVIOR

武田大志

Taishi TAKEDA

指導教員 伊藤一之 教授

法政大学大学院理工学研究科電気電子工学専攻修士課程

The application of robots or drones to search for survivors in disaster sites has recently attracted considerable research attention. In this study, we focus on the behavior of insects and propose a simple path generation algorithm for search and rescue robots. The proposed algorithm is based on the ladybird's strategy for gathering food. In addition, we optimize its parameters using a genetic algorithm. The effectiveness of the proposed algorithm is demonstrated through simulations and we optimize the parameters of the searching algorithm for a real robot by simulation. In addition, we apply them to the robot and conduct experiments in a real environment.

Key Words : Search and rescue, Wide area search, Local search, Genetic algorithm, Ladybird

1. はじめに

近年、災害現場で活躍するレスキューロボットの研究、開発に注目が集まっている[1-7]。人命救助は限られた時間内に迅速に行わなければならない。その為、短時間で広範囲を探索出来る、簡単で効率的な経路生成アルゴリズムが必要となってくる。

災害現場では、要救助者は一様に分布しているのではなく、災害が発生する前の状況に応じて、複数の要救助者の集まったクラスターが、広範囲に点在するような分布となることが想定される。このような状況においては、クラスターを発見するための広域な探索と、クラスター内を集中的に探索する局所的な探索とを状況に合わせて切り替える必要がある。

そこで、要救助者を探索するためのタスクと、昆虫による採餌行動との類似性に着目した。昆虫は餌を探索する際、単純な行動だが、採餌行動の効率を向上させるという知的な振る舞いを持っていることが報告されている[8-12]。なかでもテントウムシは、一見不規則に見える行動パターンの分散を適切に調節することで、環境に応じて適応的に探索範囲を切り替えていることが明らかになっている[11,12]。このアルゴリズムは、分散や平均といった乱数のパラメータを制御するだけで実現可能であり、極めて単純である一方で、未知環境に対して非常に適応的であるという優れた特徴をもつ。また、昆虫は進化の過程で、環境に適したパラメータを進化的に獲得しており、その振る舞いは生息している環境に対して最適化されている。

本研究では、このテントウムシの採餌行動を基に、未知環境に対して高い頑健性を持った制御側を非常に簡単なアルゴリズムとして実現する。また、災害現場を想定した非常に簡単な要救助者のクラスターの分布を推定し、この分布と遺伝的アルゴリズム(GA)を用いた進化計算によって、ロボットの制御に用いる乱数のパラメータを最適化し、シミュレーション、及び実環境での実験によりその有用性を検証した。

2. 昆虫の採餌行動とタスク

(1) テントウムシの採餌行動

テントウムシの探索行動には、餌を捕獲するまでは広範囲な場所を比較的直線に動いて餌を探索する広域型と、1度餌を捕食すると、捕食前よりも頻繁に方向転換をすることで、餌を捕食した場所の近くを探索する局所型の2パターンがある。

地域集中型の探索を行っても餌を発見できない場合、探索行動は一定時間で再び広域に戻るという事が明らかになっている[11]。また、探索行動を広域から地域集中へ切り換えることにより、餌発見効率を高めていることも明らかになっている[12]。

以上のことから、図1のように①広域に餌を探索、②餌を発見した際に餌の周囲を局所に探索、③一定時間探索後、広域探索に回帰の一連の流れを繰り返すことにより、餌の探索効率を向上していることがわかる。

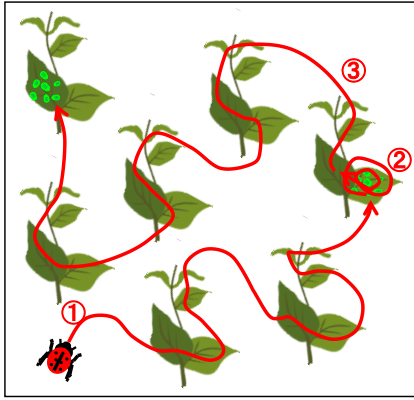


図1 テントウムシの採餌行動

(2) タスク

災害発生後、要救助者は一様に分布しているのではなく、家単位や部屋単位など、災害が発生する前の状況に応じて、複数の要救助者の集まったクラスターが、広範囲に点在するような分布となることが想定される。このような状況においては、クラスターを発見するための高域な探索と、クラスター内を集中的に探索する局所的な探索とを状況により切り替える必要がある。そこで要救助者を探索するためのタスクとテントウムシの採餌行動との類似性に着目し、生物の振る舞いを規範としてアルゴリズムの開発を行う。図2にテントウムシの餌分布と災害現場における要救助者分布の類似性を示す。

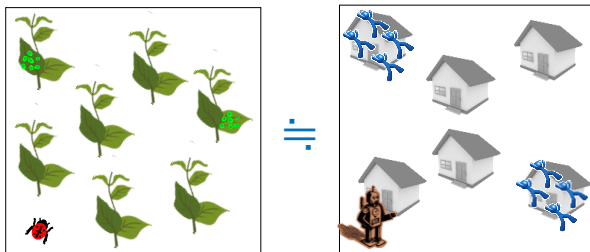


図2 テントウムシの餌分布と災害現場における要救助者分布の類似性

3. 探索ロボットのモデルとランダム行動

(1) 連結クローラー型ロボット

本研究では我々の研究室で開発した、柔軟関節を有した連結クローラー型ロボットに提案アルゴリズムを適応する[5-7]。使用するロボットは複数のクローラーを利用することによって段差、溝、階段、瓦礫の走破を可能としており、また細長い機構を特徴とし、狭小空間の走破も可能とする。更に全ての関節は柔軟に設計されているため、関節ごとの操作を要さず受動的に環境に適応される。

使用するロボットを図3に示す。

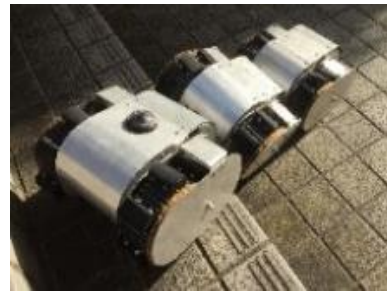


図3 連結クローラー型ロボット

(2) モデル

連結クローラー型ロボットの進行方向は最後尾に設置されているアクティブプーリーによって制御されている。図5に示すように2本のワイヤーが設置されており、アクティブプーリーを回転させることにより一方のワイヤーを引っ張り、機体を湾曲させることで旋回を可能としている。

図4, 5, 及び式(1)から(4)を用い、半自律型レスキューロボットをモデル化する。旋回半径 r は、式(6)におけるアクティブプーリーの回転角度 θ_p によって表され、半自律型レスキューロボットの運動方程式は式(7)から(9)とする。

$$r = \frac{L}{\theta_p} \quad (1)$$

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{v}{r} \quad (2)$$

$$\frac{dx}{dt} = v \cos \theta \quad (3)$$

$$\frac{dy}{dt} = v \sin \theta \quad (4)$$

ここで v はロボットの速度を表しており、本研究では常に最高速度を出力するため $0.75[\text{m/s}]$ とする。また r が負の値をとるときは右折、正の値をとるときは左折とする。アクティブプーリーの回転角度はワイヤー設置部の遊びなどを考慮し、 5° ずつ制御する。

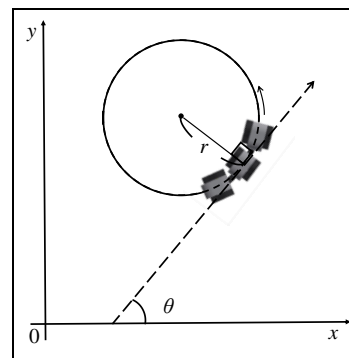


図4 連結クローラー型ロボットのモデル

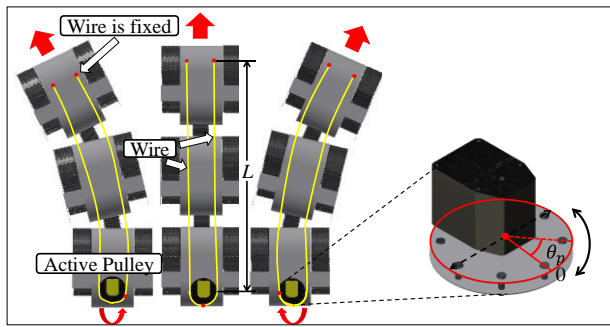


図5 連結クローラー型ロボットの旋回メカニズム

(3) ランダム行動における探索地域の切り替え

ロボットを使用して探索行動を行う際、式(5)を使用する。

$$\theta_p = ar_n + b \quad (5)$$

r_n は-1から1の乱数を表す。 a 、及び b は任意の定数であり、この2つの値が変化することで式(1)のアクティブプーリーの回転角度がランダムに決定する。またこれらの値を刻み時間 Δt [s]毎に変化させることでランダム行動を実現する。図6にアクティブプーリーの回転角度、図7に広域探索、局所探索の例を示す。

本研究では、遺伝的アルゴリズムと簡単なマップを用い、式(5)におけるパラメータを最適化することで広域探索経路を生成する。

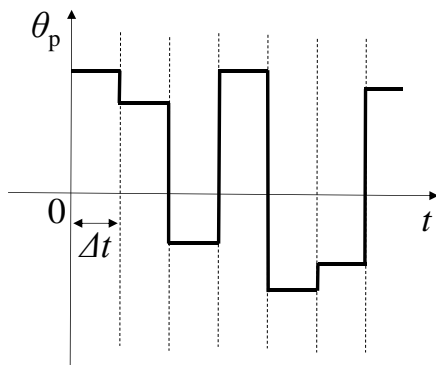
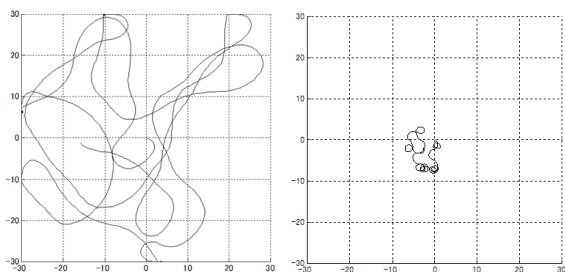


図6 アクティブプーリーの回転角度



(a) 広域探索経路 (b) 局所探索経路

図7 生成経路

4. パラメータの最適化

(1) 遺伝的アルゴリズム (GA)

遺伝的アルゴリズムとは、生物における遺伝子をコンピュータ内の記号で模擬し、環境に適応して進化していく過程を表すアルゴリズムである。自然界における生物の進化過程は、ある世代を形成している個体の集合で、環境により適応した個体がより高い確率で生き残り、世代を残す。この進化過程を基に、突然変異、交叉を行うことによって最も環境に適応する個体が生成される。GAの進化過程を図8に示す。

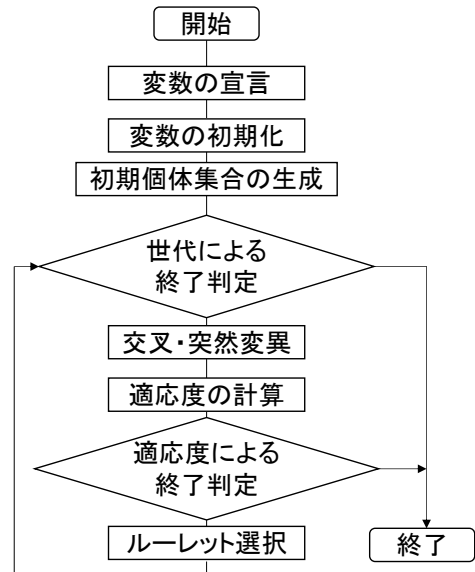


図8 遺伝的アルゴリズムのフローチャート

(2) パラメータの符号化, 適応度

図9にパラメータの符号化、表1に各パラメータの遺伝子型と表現型を示す。ここで t_l は局所探索の探索時間を示し、1は広域探索、 g は局所探索のパラメータを表す。

適応度の設定に式(6)を使用する。ここで n は要救助者の合計発見数とする。

$$fitness = n \quad (6)$$

表1 各パラメータの遺伝子型と表現型

Parameters	Type	Expression
t_l	Genotype	7 bit binary
	Phenotype	0 [s] to 300 [s]
$\Delta t_l, \Delta t_g$	Genotype	6 bit binary
	Phenotype	0 [s] to 5 [s]
a_l, a_g	Genotype	5 bit binary
	Phenotype	0 to $\frac{\pi}{8}$
b_l, b_g	Genotype	7 bit binary
	Phenotype	$-\frac{\pi}{8}$ to $\frac{\pi}{8}$

Genes are expressed as binary numbers

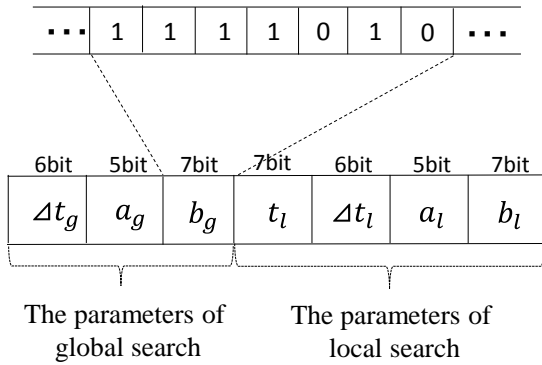


図9 パラメータの符号化

5. シミュレーション

提案アルゴリズムの有用性を検証するため、探索ロボットのパラメータを環境に応じて最適化し、そのパラメータを用いた際の探索効率、及びグリッド探索と提案アルゴリズムの比較をシミュレーションで確認する。

探索を行う環境として、実験を行う図10のフィールド上にクラスター、及び要救助者をランダムに配置した環境を使用する. 表2にGAに用いる各パラメータを示す. また探索時間は1000[s]とする.

表2 GAで使用する各パラメータ

Generation number	100
Number of individuals	50
Crossover rate	0.5
Mutation rate	0.01

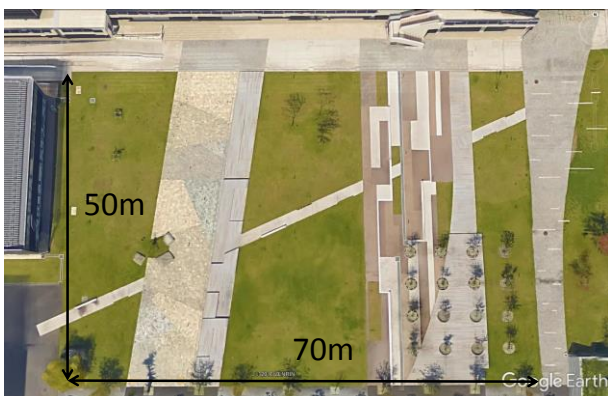


図10 実験環境

クラスターサイズの異なる2つの環境と、GAの進化計算によって各パラメータを用いたシミュレーション結果を図11から図14に示す.

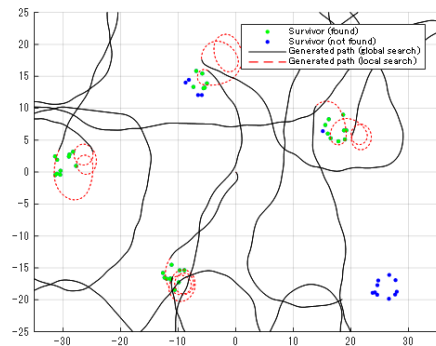


図11 100世代の生成経路 (環境1)

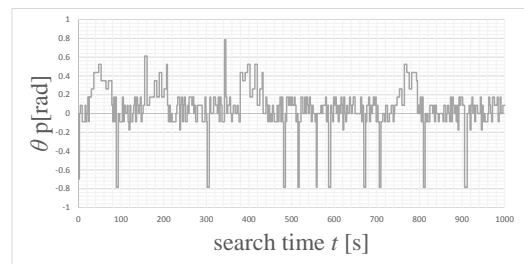


図12 アクティブプーリーの変化 (環境1)

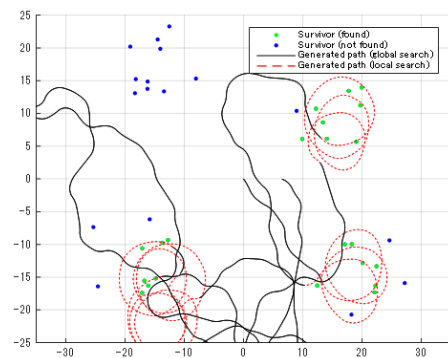


図13 100世代の生成経路 (環境2)

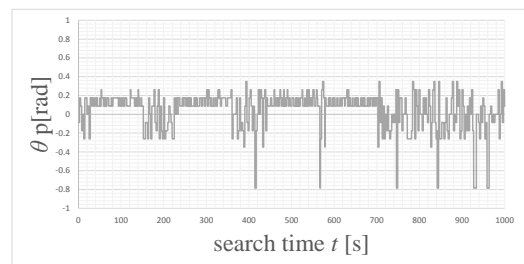


図14 アクティブプーリーの変化 (環境2)

以上の結果から、GAにより最適化されたパラメータを用いることでランダム行動の中で広域探索と局所探索を効率よく切り替え、要救助者発見を可能としていることが確認できる。また異なったクラスターサイズに適したパラメータを獲得し、その環境に応じた広域探索、及び局所探索を行っていることも確認できる。

次にグリッド探索と提案アルゴリズムの比較を行う。

クラスターの数が違う3つの環境で比較した結果を図15、クラスターサイズの違いによる全要救助者の70%を探索する時間の比較を表3に示す。

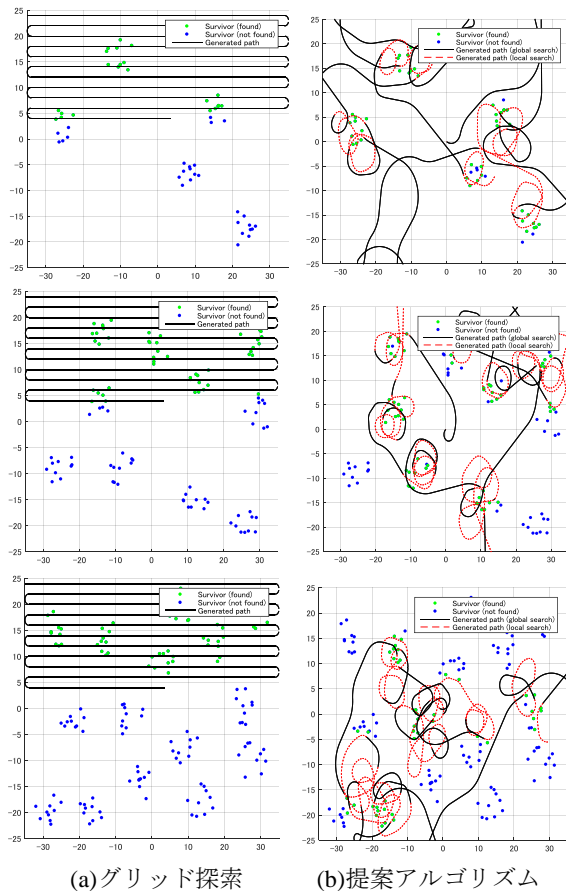


図15 グリッド検索と提案アルゴリズムの比較

表3 全要救助者中70%の探索時間

Cluster size	Method	Searching time
20 [m ²]	Proposed algorithm	785 [s]
	Grid search	1928 [s]
50 [m ²]	Proposed algorithm	869 [s]
	Grid search	1457 [s]
100 [m ²]	Proposed algorithm	1348 [s]
	Grid search	1546 [s]

以上の結果から提案アルゴリズムはグリッド探索より同時間での要救助者発見数、及び全要救助者中70%発見するための探索時間ともに効率が良いことが確認できる。また図15からクラスターが低密度の分布、表3からクラスターサイズが小さい方が効率良いことが確認できる。

6. 実環境における実験

実環境での有用性を検証するため、シミュレーションによって最適化されたパラメータを探索ロボットに適応し、実環境で実験を行う。

図10の環境にクラスターと要救助者をランダムに配置したものを図16に示す。また、環境1で最適化されたパラメータを探索ロボットに適応し、実験を行う。

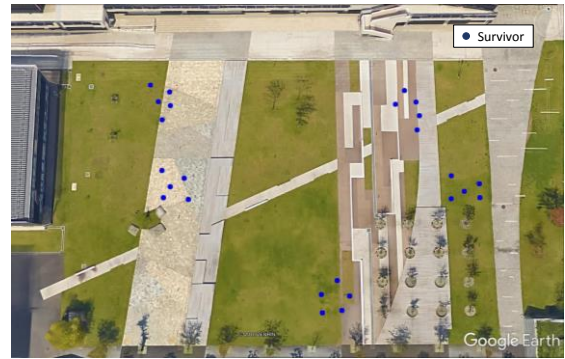


図16 実験環境と要救助者分布

最適化されたパラメータを半自律型レスキューロボットに適応し、実環境で運用した結果を図17に示す。位置情報はGPSロガーで取得し、人体検出には温度差を検知する赤外線センサを使用する。探索時間はシミュレーション同様1000[s]とする。

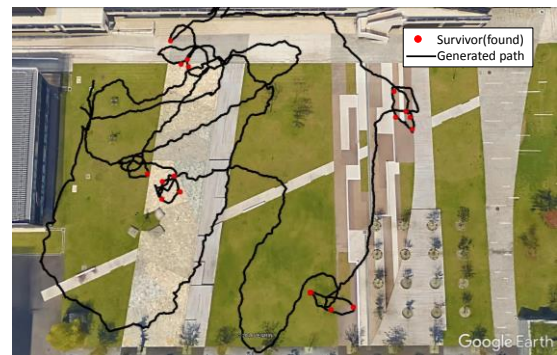


図17 探索経路生成の結果

以上の結果から、経路生成がランダムに行われており、更に要救助者を発見した際に広域探索から局所探索へと行動が切り替わり、要救助者を効率良く探索していることが確認できる。

7. 考察

これらの結果からシミュレーション上で探索ロボットのパラメータを環境に応じて最適化し、その最適化されたパラメータを用いることで、実環境での要救助者探索を実現していることが確認できる。

グリッド探索と提案アルゴリズムの比較において、図15及び表3から、環境の広さに対してクラスターが小さく、分散するような分布となる場合に、提案アルゴリズムがより効果的であると考えられる。またクラスターが環境内に過度に密集する場合、探索範囲を拡大することで対応できる。

また図18に要救助者の分布と実験で記録した要救助者の位置関係を示す。ほとんどの要救助者発見場所に大きな差は生じなかったが、一部要救助者発見時の位置情報に約10[m]の誤差を生じているものもある。しかし本

実験では GPS ロガーを使用して位置情報を取得しているため、10[m]前後は許容誤差となる。しかし人命救助において正確な位置情報が必須であるため、更に正確な位置情報を取得するシステムが必要となる。

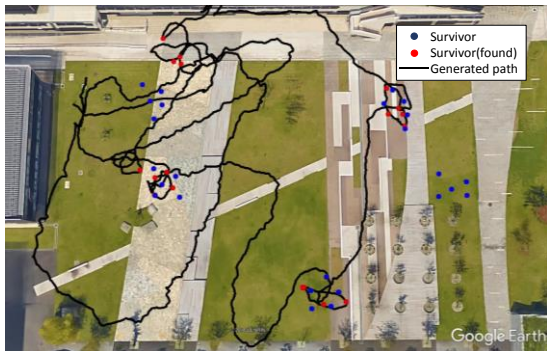


図 18 要救助者の分布と実験で記録した要救助者の位置関係

本シミュレーション内では斜面などの高低差を考慮しておらず、平地と仮定してシミュレーションを行った。高低差が存在する地形では、斜面角度に応じて機体が斜面下方に落ちる力が働くため、特に局所探索を行う際、探索経路は自然と斜面下方範囲を集中的になぞる恐れがある。この問題に対して、パラメータを最適化の際に環境内に高低差などの地形情報を導入することで、高低差などの走破を視野に入れたパラメータが取得できる。

これらを考慮した上で、グリッド探索と比較した際、要救助者探索効率向上に提案アルゴリズムが有用であり、将来的にはドローンへの適応、また発見要素として要救助者だけでなく、靴、携帯電話などの人が普段身に付けているものも発見材料とすることで、更なる探索効率向上が期待される。

8. 結論

本論文では災害現場における要救助者を探索するためのタスクと昆虫による採餌行動との類似性に着目し、要救助者探索効率向上を目的とした広域探索アルゴリズムを提案した。そして遺伝的アルゴリズムで探索に用いるパラメータを環境に応じて最適化し、提案アルゴリズムの有用性を検証するため、シミュレーション及び実環境での実験を行った。

実環境での実験において、シミュレーション同様、経路生成がランダムに行われており、更に要救助者を発見した際に広域探索から局所探索へと行動が切り替わることで要救助者探索を実現した。

将来的には高低差などの地形情報を考慮した上でパラメータを最適化し、更に靴や携帯電話などの人が普段身に付けているものも発見材料とすることで、更なる探索効率向上が期待される。

謝辞：本研究を進めるに当たり、指導教官の伊藤一之教

授から熱心かつ丁寧なご指導を賜りました。ここに感謝の意を表します。また、ご協力を頂いた伊藤一之研究室の同期・後輩の皆様に心より感謝致します。

参考文献

- 1) F. Matsuno, S. Tadokoro. : Rescue Robots and Systems in Japan, Robotics and Biomimetics, 2004. ROBIO 2004. IEEE International Conference on, pp.12-20, 2004
- 2) S. Tadokoro. : Rescue robotics: DDT project on robots and systems for urban search and rescue, Springer Science & Business Media, 2009
- 3) K. Nagatani, S. Kiribayashi, Y. Okada, S. Tadokoro, T. Nishimura, T. Yoshida, E. Koyanagi, Y. Hada.. : Redesign of rescue mobile robot Quince -Toward emergency response to the nuclear accident at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station on March 2011-, IEEE International Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics, pp.13-18, 2011
- 4) S. Agarwal, R. R. Murphy. : Characteristics of indoor disaster environments for small UASs, Safety, Security, and Rescue Robotics (SSRR), 2014 IEEE International Symposium on, pp.1-6, 2014
- 5) H. Maruyama, K. Ito. : Semi-Autonomous Snake-Like Robot for Search and Rescue, Proceedings of the 8th IEEE International Conference on Safety, Security, and Rescue Robotics (SSRR), 2010 IEEE International Symposium on, pp.1-6, 2010
- 6) M. Masuda, K. Ito. : Semi-Autonomous Centipede-Like Robot with Flexible Legs, IEEE International Conference on Safety, Security, and Rescue Robotics (SSRR), 2014 IEEE International Symposium on, pp.1-6, 2014
- 7) Y. Sato, K. Ito : Semi-autonomous modular robot for maintenance and inspection, The Twelfth Int. Conf. Autonomic and Autonomous Systems, pp.1-3, 2016
- 8) P. Barthelemy, J. Bertolotti, D. S. Wiersma. : A Lévy flight for light, Nature 453, pp.495-498, 2008
- 9) I. Pavlyukevich. : Lévy flights, non-local search and simulated annealing, J. Computational Physics, Vol.226, pp.1830-1844, 2007
- 10) G. Ramos-Fernandez, J. L. Mateos, O. Miramontes, G. Cocho, H. Larralde, and B. Ayala-Orozco. : Levy Walk Patterns in the Foraging Movements of Spider Monkeys (ateles geoffroyi), Behavioral Ecology and Sociobiology, Vol.55, pp.223-230, 2004
- 11) R. J. Marks. : Laboratory Studies of Plant Searching Behavior by Coccinella Septempunctata L. larvae, Bulletin of Entomological Research, Vol.67, pp.235-241, 1977
- 12) Y. Murakami, Y. Tsubaki. : Searching Efficiency of the Lady Beetle Coccinella Septempunctata Larvae in Uniform

and Patchy Environments, Journal of Ethology, Vol.2,
pp.1-6, 1984