

# 크레바스가 존재하는 남극 환경을 위한 다중 로봇 작업 스케줄링 방법

강석진, 이헌철\*

금오공과대학교 IT 융복합공학과

rkdtjrid@kumoh.ac.kr, \* hclee@kumoh.ac.kr

## Multi-Robot Task Scheduling for the Antarctic Environments with Crevasses

Kang Seok Jin, Lee Heon Cheol \*

Department of IT Convergence Engineering, Kumoh National Institute of Technology.

### 요 약

본 논문은 크레바스가 존재하는 남극 환경에서 다중 로봇의 안전하고 효율적인 작업 스케줄링 문제를 다룬다. 크레바스는 로봇 운용 시 큰 위험 요소이지만, 센서 성능 한계와 데이터 비대칭성, 시간에 따른 균열 이동으로 인해 크레바스의 위치를 정확하게 파악하기 어렵다. 이를 해결하기 위해 최근접 이웃 탐색(NNT) 알고리즘과 균열 위치의 확률적 모델링을 결합한 다중 로봇 스케줄링 기법을 제안한다. 실제 남극 구글지도 데이터를 활용한 실험 결과, 제안 기법은 총 비용과 계산 시간 측면에서 ACO와 GA보다 우수한 성능을 보였다.

### I. 서 론

남극과 같은 극지 환경에서는 크레바스(crevasse)가 로봇 운용에 있어 가장 큰 위험 요소로 작용한다.[1] 그러나 기존 MTSP 기반 스케줄링은 2 차원 거리만을 고려하여, 실제 로봇이 겪는 고도 변화에 따른 에너지 소모와 크레바스 추락 위험을 충분히 반영하지 못하는 한계가 있다. 본 연구는 이러한 문제를 해결하기 위해 고도 변화를 반영한 고도거리와 크레바스의 불확실성을 표현하는 확률적 모델을 통합한 비용 함수를 제안한다.

### II. 고도거리 및 크레바스 위험 모델링

남극 지형은 평탄한 평면 환경과 달리 고도 변화가 심한 빙하 지형으로 구성되어 있어, 단순한 평면 거리만으로는 이동 비용을 정확히 반영하기 어렵다. 이에 본 연구에서는 고도 변화의 영향을 고려한 고도거리 개념을 도입한다. Figure 1은 두 노드 사이 경로를 따라 고도 변화를 샘플링하여 고도거리를 계산하는 개념적 예시를 보여준다.

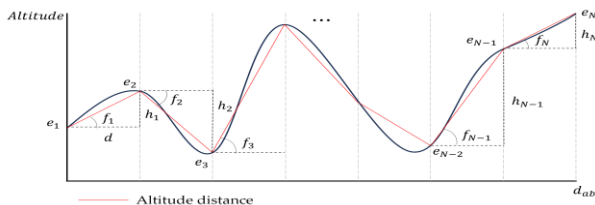


Figure 1 An example of calculating the altitude distance between node a and node b

크레바스는 센서 오차와 시간 경과에 따른 위치 변화로 인해 정확한 경계 파악이 어렵기 때문에, 본 연구에서는 이를 확정적 장애물이 아닌 확률적 장애물로 모델링한다. 각 크레바스는 중심점 인근에서 위험도가 가장 높고, 중심에서 멀어질수록 위험도가 점진적으로 감소하는 분포 형태로 표현된다. Figure 2는 크레바스 확률적 모델링의 예시이다.

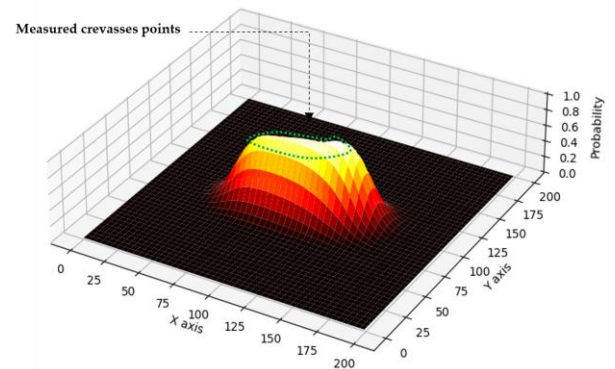
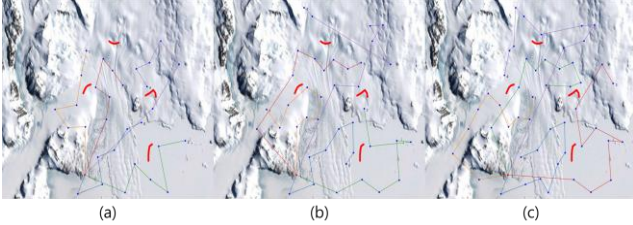


Figure 2 An example of the concept of the probabilistic modeling of crevasses

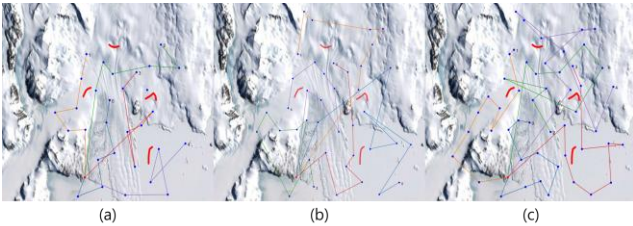
최종적으로 두 노드 사이의 이동 비용은 고도거리와 크레바스 위험도를 결합한 형태로 정의된다. 각 요소의 가중치를 통해 상대적 중요도를 조절할 수 있으며, 이를 통해 안전을 우선시하는 운용이나 에너지 효율을 중시하는 운용 등 다양한 임무 조건에 유연하게 대응할 수 있다.

### III. 결과 및 분석

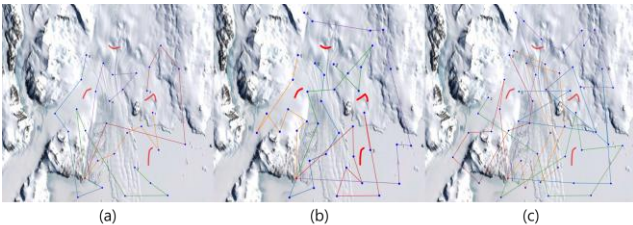
실험에서는 모든 로봇이 동일한 출발 지점을 갖는 단일 디포트 환경을 가정하였으며, 임무 수행 이후 출발 지점으로의 복귀는 고려하지 않았다. 비교 실험을 위해 최근접 이웃 탐색 기반 방법(NNT) [2], 개미 군집 최적화(ACO) [3], 유전 알고리즘(GA) [4]의 세 가지 스케줄링 알고리즘을 적용하였다. 로봇 수는 5 대로 고정하고, 작업 노드 수를 30, 40, 50 개로 변화시키며 성능을 비교·분석하였다.



**Figure 3** a, b, and c represent the results of NNT for 30, 40, and 50 nodes, respectively.



**Figure 4** a, b, and c represent the results of ACO for 30, 40, and 50 nodes, respectively.



**Figure 5** a, b, and c represent the results of GA for 30, 40, and 50 nodes, respectively.

**Table 1 Total Runtime Results**

Part	NNT	ACO	GA
Node 30	0.001s	3.980s	12.386s
Node 40	0.003s	8.394s	16.842s
Node 50	0.014s	16.348s	20.821s

**Table 2 Total Cost Results**

Part	NNT	ACO	GA
Node 30	116.6km	134.398km	142.461km
Node 40	164.766km	186.142km	203.56km
Node 50	182.86km	240.933km	322.679km

Figure 3 은 제안된 NNT 기반 방법의 결과를 나타내며, Figure 4 와 Figure 5 는 각각 ACO 와 GA 의 결과를 보여준다. NNT 기반 방법은 모든 노드 수 조건에서 크레바스 고위험 영역을 상대적으로 효과적으로 회피하면서도 경로의 분산이 적은 특징을 보였다. 반면 ACO 와 GA 는 반복 탐색을 통해 다양한 경로를 생성하였으나, 계산 시간 증가와 함께 일부 경로에서 불필요하게 긴 이동이 발생하는 경향을 확인할 수 있었다.

Table 1 은 각 알고리즘의 계산 시간을 비교한 결과를 나타낸다. NNT 는 노드 수가 증가하더라도 계산 시간이 매우 짧게 유지되어 실시간 적용 가능성이 높음을 보여준다. 반면 ACO 와 GA 는 노드 수 증가에 따라 계산 시간이 급격히 증가하는 경향을 보였다.

Table 2 는 전체 이동 비용을 비교한 결과이다. 모든 노드 수 조건에서 NNT 기반 방법이 ACO 와 GA 에 비해 낮은 총 이동 비용을 보였으며, 이는 고도거리와 크레바스 위험을 결합한 비용 모델이 경로 선택에 효과적으로 반영되었음을 의미한다. 특히 노드 수가 증가할수록 제안된 방법과 메타휴리스틱 기법 간의 비용 차이가 더욱 커지는 것을 확인할 수 있었다.

### IV. 결론

본 논문에서는 남극 환경에서의 다중 로봇 스케줄링 문제를 대상으로, 고도 변화와 크레바스 위치 불확실성을 확률적으로 모델링한 통합 비용 기반 접근법을 제안하였다. 실험 결과, 제안된 방법은 크레바스 고위험 영역을 효과적으로 회피하면서도 계산 시간이 짧아 실시간 적용 가능성이 높음을 확인하였다.

### ACKNOWLEDGMENT

This work was supported in part by the MSIT(Ministry of Science and ICT), Korea, under the ITRC (Information Technology Research Center) support program(IITP-2026-RS-2024-00437190, 50 %) supervised by the IITP(Institute for Information & Communications Technology Planning & Evaluation), and in part by the Gyeongsangbuk-do RISE (Regional Innovation System & Education) project (Specialized University unit).

### 참 고 문 헌

- [1] Van Wyk de Vries, M., Lea, J. M., and Ashmore, D. W., "Crevasse density, orientation and temporal variability at Narsap Sermia, Greenland," *Journal of Glaciology*, vol. 69, pp. 1125– 1137, 2023.
- [2] Rosenkrantz, D. J., Stearns, R. E., and Lewis, P. M., "An analysis of several heuristics for the traveling salesman problem," *SIAM Journal on Computing*, vol. 6, no. 3, pp. 563– 581, 1977.
- [3] Dorigo, M., Maniezzo, V., and Colnari, A., "Ant system: Optimization by a colony of cooperating agents," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B*, vol. 26, no. 1, pp. 29– 41, 1996.
- [4] Dong, X. and Cai, Y., "A novel genetic algorithm for large scale colored balanced traveling salesman problem," *Future Generation Computer Systems*, vol. 95, pp. 727– 742, 2019.