

기간계 시스템 데이터 기반 학습형 경로탐색 알고리즘 적용을 통한 업무 지식 형식화 및 승계구조 구현

박성일^o, 최익수^{*}

^o울산대학교 산업경영공학부,

^{*}(주)엔소프트 기업부설연구소

e-mail: psi4516@gmail.com^o, ischoi@nsoft.co.kr^{*}

Implement Business Knowledge Formalization and Succession Structure by Applying Learning Pathfinding Algorithm Based on Data from The Backbone System

Sung-il, Park^o, Ik-Soo Choi^{*}

^oDept. Industrial Engineering, University of Ulsan,

^{*}Corp, R&D Center of N-Soft

● 요약 ●

중소기업 현장에서 운용되고 있는 재고, 제품 관리 시스템을 기반으로, 숙련공의 경험적 지식(암묵지)를 형식화 할 수 있는 방법을 제시하기 위해 기존 자료를 기반으로 하는 데이터 수집 및 가공 설계 파이프라인을 제시. 또한 해당 데이터를 기반으로 GA, AI기술 적용을 도모하여 기존의 업무지원시스템(Warehouse Management System, WMS / Manufacturing Execution System, MES)에서 제시할 수 없었던 “업무 지식의 자동화된 승계”의 기초를 마련하는 방법을 제시하고자 한다.

키워드: WMS, Pathfinding, Data Transfer, GA, AI

I. Introduction

MES, WMS등 업무지원 시스템에서 물품(재고, 상품)의 이동은 필연적이며, 이를 수행하는 사람(숙련공, 비숙련공)의 능력에 따라 공정에 소요되는 최종 시간이 결정된다[1].

숙련공은 경험적 지식의 축적을 통해 최적 경로를 손쉽게 산정하여 업무를 수행하는 반면, 비숙련공은 제품 위치정보, 이동경로를 포함하여 업무에 필요한 정보를 취합하고 정리할 경험적 지식이 부족하다[2].

이를 해결하기 위해 시스템에서 숙련공의 업무 수행정보를 수집 분석하고 경로탐색 기술을 접목하여 새로운 인원(비숙련자)이 업무를 수행할 때 최적의 결과를 낼 수 있도록 업무 시스템을 통해 구현하고자 한다.

이러한 업무방식 개선을 통해 중소기업의 고질적 문제인 노동자간 업무지식 공유 문제를 다소 해결할 수 있기를 기대하며, 또한 실제 시스템 데이터를 기반으로 하는 학습형 알고리즘 적용으로 다양한 현장 특성에 특화된 최적화 모델을 구현할 수 있을 것으로 기대한다.

II. Preliminaries

1. 배경 단어 정의

- 1) Object 객체
 - a) 사람(작업자)
 - b) 운반장비
 - 파렛트 트럭(수동, 자동)
 - 리프트
 - c) 운반기계
 - 전동 지게차
- 2) Layers
 - Base Layer
 - Infrastructure Layer
 - Route Layer
- 3) Pathfinding Algorithm
 - Dijkstra
 - TSP
 - Acto Colony

4) Data

- 발주와 패키징 관련 데이터(MES)

2. 현황

일반적인 중소기업의 업무 현장에서는, 구두 지시, 지류문서 등으로 업무가 시작되며, 숙련공은 높은 경험적 지식을 활용하여 할당된 업무를 수월하게 수행하는 반면, 비숙련공의 동일 업무 처리 능력에는 큰 차이를 보인다.

또한, 한국 중소기업의 고질적인 문제인 업무 지식 승계의 단절(숙련공<->비숙련공) 또한 전체적인 업무 능력 저하의 큰 원인으로 손꼽히고 있음. 이는 다양한 원인이 존재하나, 이를 시스템적으로 보완하고 일부 해결할 수 있는 방법론을 이 논문을 통해 제시하고자 한다[1].

III. The Proposed Scheme

본 논문에서는 기존 기간계 시스템(MES, WMS)에서 데이터를 수집하여 경로탐색 알고리즘 적용 가능성을 확인하고자 한다.

또한, 의미 있는 알고리즘을 생성하기 위한 적합한 구조의 학습 데이터 형태를 제시하고, 이를 지속적으로 축적하고 반복적으로 활용할 수 있는 데이터 수집 및 학습 파이프라인을 구성하는 것이 목표이다.

상기 설계 내용을 개발 프레임워크에 적용하여, 경로탐색용 학습 데이터 축적, 의미 있는 경로탐색 알고리즘 생성, 개별 사업장에 최적화된 최적화 서비스 구현을 목표로 하며, 최종적으로 비숙련공을 위한 업무지원 시스템을 완성하는 것이 목적이다.

1. 데이터 수집 및 처리

발주번호	SEQ	종류	종료 시간	연대번호 시간	공정명
RV201912090001	1	1020-T.P-T.P-지정T.P-130RED_A-3T PE	2019-12-17 06:42:30.083	2020-01-16 17:27:59.130	UV Sheet 1호 기
RV201912090001	2	1025-G-LG-1N37-100한남철무	2019-12-17 06:42:30.083	2020-01-16 17:27:59.130	UV Sheet 1호 기
RV201912090001	3	1030-W-AFT-SN37-100한남철무-3T PE	2019-12-17 06:42:30.083	2020-01-16 17:27:59.130	포팅 1호기
RV201912090001	4	1040-B-AFT-SN37-100한남철무-3T PE	2019-12-17 06:42:30.083	2020-01-16 17:27:59.130	포팅 1호기
RV201912120001	1	1080-B-S/C-3-130RED_A-3T PE	2019-12-17 06:48:46.105	2020-01-16 17:28:01.522	통신A-1호기
RV201912230001	1	1040-G-AFT-3-70무인내부-3T PE	2019-12-23 10:48:52.140	2020-01-16 18:21:30.973	UV Sheet 2호 기
RV201912230001	2	1040-W-AFT-3-70무인내부-3T PE	2019-12-23 10:48:52.140	2020-01-16 18:06:29.907	UV Sheet 1호 기
RV201912240001	1	1080-G-한남-1328-S/RED:1-3T PE	2020-01-10 10:33:11.907	2020-01-10 18:06:29.907	UV Sheet 1호 기
RV201912260002	1	1110-W-S/C-3N-100한남철무-3T PE	2019-12-26 11:45:01.420	2020-01-10 18:21:30.973	UV Sheet 1호 기
RV201912260002	2	1110-W-S/C-3N-100한남철무-3T PE	2019-12-26 11:45:01.420	2020-01-10 18:21:30.973	UV Sheet 1호 기

Fig. 1. Hitec MES Data(order)

Table 1. Hitec Data Describe(simple)

Describe	Value
발주 개수	24,705
전체 행수	47,557
완료된 발주	13,532
평균 제품 픽업 개수	4.0
표준편차	4.7
최대 제품 픽업 개수	67

Fig. 1. 및 Table 1.은 경로탐색 알고리즘을 시험하기 위한 데이터로써, 하이텍 MES시스템의 패키징 데이터를 수집하였다.

해당 데이터에는 발주번호를 기준으로 1~n개의 종속되는 품목 번호가 존재한다. 또한, 이 품목의 위치정보를 가지는 칼럼을 추가하였고 위치정보는 x,y좌표계로 표현되며, 저장된 장소의 상세한 위치정보

는 별도의 데이터 테이블로 구성되어 있다.

2. 경로탐색문제

수집된 데이터에 따르면 주문번호에 종속되는 품목은 평균 4, 표준편차 4.7이다. 픽업 대상이 1개인 경우는 일반적인 단일 목적지로의 최소경로만 계산하면 되므로 Dijkstra 알고리즘을 사용한다.

보다 복잡한 연산이 필요한 경우는 다수의 물품을 픽업해야 하는 경우로, n개의 픽업 대상이 있는 경우이다. 이를 해결하기 위해 동적 계획법을 사용하여 최적경로를 연산하는 방법을 사용한다.

이후 현장특성을 반영할 수 있는 실제 숙련공의 이동경로 정보를 확보하고, 이를 기반으로 하는 학습된 경로탐색 알고리즘을 구현하기 위해 Ant Colony 알고리즘을 사용한다[3].

1) Case1. Dijkstra

- 객체가 찾아야하는 대상이 1개인 경우

2) Case2. TSP

- 출발점에서 모든 물품을 픽업하고 시작점으로 돌아오는 경우 TSP 알고리즘 활용
- 이 경우 업무상의 이유로 우선 수집하는 조건 정보 등을 반영하기 어려움

3) Case3. Ant colony

- 숙련공으로부터 작업 이동경로에 대한 정보를 추출(지식의 표출화)에 중점을 둔 방법론 (암묵지 → 형식지 = 표출화 지식)

3. 적용방법론

충분한 기존데이터가 존재하지 않는 상황에서는 Dijkstra, TSP 활용(콜드스타트)한다. MES, WMS 사용량 증가에 따른 데이터 확보로, Ant colony 알고리즘 적용한다.

4. 구현

기간계 시스템인 MES, WMS 데이터를 기반으로 기초적인 Dijkstra, TSP 알고리즘을 구현 및 테스트하고, ACO 알고리즘을 위한 학습용 데이터 구축을 목표로한다. 계산복잡도를 고려하여 비일 반적 상황인 과도한 픽업 리스트(e.g. 1개의 주문에 50개 이상의 목록)를 예외처리했다. 복잡한 연산을 수행하는 부분은 python으로 처리하고 Framework와의 통신은 RestAPI로 수행. 이후 연산시간, 정확도 등을 고려하여 알고리즘의 개선이나 하이퍼파라미터 튜닝, 쓰레스홀드 재정리 등을 수행한다.

1) Input Data

- a) (voice) 오늘 픽업 목록 보여줘

2) System sequences

- a) Receive Data (voice)
- b) NLP
- c) Parsing
- d) Check Information(DB, SQL)
- e) AI operation

- User Intention Vectorization
 - Pathfinding
 - Products Cosine Similarity
- f) Result JSON
- 3) Output Result
- a) Framework 기능 동작(Web, Unity)
 - b) Return URL

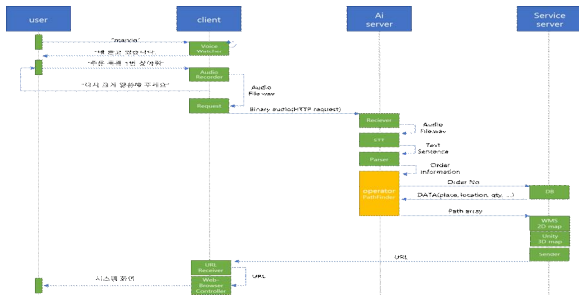


Fig. 2. Pathfinding Service Sequence Diagram

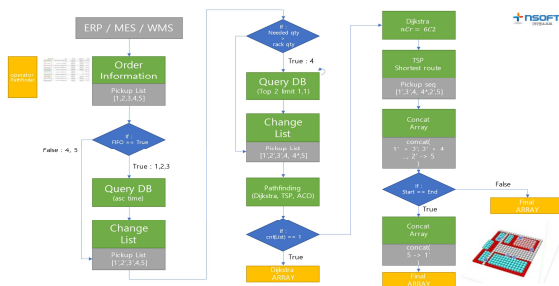


Fig. 3. Pathfinding Service Logic

```

-- REQUEST JSON
[
  {
    "REQID": "18881", "REQID": "7030134988", "ROUTE_NAME": "78881", "FROM": "7030134988", "TO": "78881", "QTY": 5, "OPT_P210": true },
    {
    "REQID": "18881", "REQID": "7030134988", "ROUTE_NAME": "78881", "FROM": "7030134988", "TO": "78881", "QTY": 5, "OPT_P210": false }
  ]
-- END REQUEST

-- RESPONSE EXAMPLE JSON
[
  {
    "FROM": "7030134988", "TO": "78881", "REQID": "7030134988", "QTY": 5, "LOC": [ [ FROM_X : 1, FROM_Y : 1, TO_X : 3, TO_Y : 5 ], [ FROM_X : 3, FROM_Y : 2, TO_X : 5, TO_Y : 2 ] ] }
  ]
  ]

```

Fig. 4. Data Interface (Pathfinding Service <-> MES)

5. 결과

시스템에서 필요로 하는 경로탐색 문제를 해결하기 위해 처음으로, 전체 처리 구조 수순을 정리하고, 사용자가 사용에 불편함을 느끼지 않을 정도의 처리속도를 고려하여 구조를 설계해야한다.

또한, Data Interface에 있어서, MES 시스템 및 Unity 시스템에서는 전체 경로를 모두 수신하는 것이 아닌 웨이포인트 방식을 사용하여, 전체 Array 정보를 축약해서 보낼 필요성이 존재한다.

1) 경로탐색 문제 해결
 본 논문에서 사용한 데이터에서는 1,849개의 고유한 품번이 존재하고, 이 고유한 품번이 위치하는 고유한 장소는 38곳(Dataframe의 "공정명" 칼럼)이 존재한다.

처음으로 방문해야 할 장소의 좌표가 고정되어 있으므로, Dijkstra 알고리즘을 사용하여 사전에 노드간 경로를 연산하여 경로정보 및 거리정보를 추출한다. 해당 알고리즘은 장애물 및 객체 속성 조건에 따른 경로 계산이 가능하기 때문에 Dijkstra 알고리즘을 사용한다.

이후 주문정보에 따른 픽업리스트가 결정되면 기존에 계산된 경로 정보에서 거리 정보를 가져와 TSP 알고리즘을 통해 최단경로를 가지를 루트 정보를 연산한다.

TSP 알고리즘을 통해 정리된 방문 순서를 기반으로, 기존에 계산해 둔 Dijkstra 경로를 병합한 뒤, 웨이포인트를 다시 추출하여 시스템(MES, Unity)로 송신하는 것으로 전체 문제를 해결한다.

기존 방법론에서는 ACO의 적용까지 고려하였으나, 현재 사용중인 시스템의 문제로 인하여 수행하지 않고 있는 상황이다. 현재 개발을 진행중인 저장위치(Rack)별 입출고 추적 시스템이 구현된 후 거리와 시간 정보를 고려한 ACO 알고리즘 설계가 가능할 것으로 기대된다.

2) Basic Code

객체가 이동해야 할 경로를 계산하여 배열로 저장하는 코드를 작성하여 DB와 연결하고 연산량, 소요시간 등을 테스트를 진행했다. 이후 장소(노드)가 추가될 때 마다 전체 경로를 추가적으로 연산해야 하므로 실제 중소기업의 현장에서 발생하는 재고의 정위치 이탈 상황 등에 대처할 수 있도록 부하 테스트를 수행한다.

```

def findShortestPath()
  # 1. 초기화
  # 2. 출발지 설정
  # 3. 도착지 설정
  # 4. 최단경로 찾기
  # 5. 결과 출력
  return path

# 결과 출력
# 6. 결과 출력
# 7. 결과 출력
# 8. 결과 출력
# 9. 결과 출력
# 10. 결과 출력
# 11. 결과 출력
# 12. 결과 출력
# 13. 결과 출력
# 14. 결과 출력
# 15. 결과 출력
# 16. 결과 출력
# 17. 결과 출력
# 18. 결과 출력
# 19. 결과 출력
# 20. 결과 출력
# 21. 결과 출력
# 22. 결과 출력
# 23. 결과 출력
# 24. 결과 출력
# 25. 결과 출력
# 26. 결과 출력
# 27. 결과 출력
# 28. 결과 출력
# 29. 결과 출력
# 30. 결과 출력
# 31. 결과 출력
# 32. 결과 출력
# 33. 결과 출력
# 34. 결과 출력
# 35. 결과 출력
# 36. 결과 출력
# 37. 결과 출력
# 38. 결과 출력
# 39. 결과 출력
# 40. 결과 출력
# 41. 결과 출력
# 42. 결과 출력
# 43. 결과 출력
# 44. 결과 출력
# 45. 결과 출력
# 46. 결과 출력
# 47. 결과 출력
# 48. 결과 출력
# 49. 결과 출력
# 50. 결과 출력

```

Fig. 5. Base Code and Results

```

Out[48]: [0, 1, 2, 4, 3, 11, 5, 6, 8, 9, 10, 7]

```

Fig. 6. Determined Route Information

3) 소요시간

Index	경로탐색 수행 테스트		
	주문번호	개수(EA)	소요시간(sec)
1	RV202301160030	13	0.12
2	RV202010080006	15	0.77
3	RV202102260024	18	7.11
4	RV202202040017	20	47.07
5	RV202110120004	20	48.83
6	RV202303200008	22	235.46

IV. Conclusions

1. 결론

경로탐색 기능을 시스템에서 제공함에 있어 픽업해야 하는 대상의 목록이 평균적인 범위(평균4, 표준편차4.7)에서의 실시간 사용에서는 크게 문제가 없을 것으로 판단되나, 20개 이상 넘어가는 경우에는 실시간으로 처리하기 어려울 것으로 판단되며, 또한 소요 시간이 기하급수적으로 늘어나므로, 별도의 처리(분할) 등이 필요하다.

이로써 기간계 시스템인 MES에 경로탐색 알고리즘 적용 가능성을 탐색하였고, 다양한 케이스별로 별도의 알고리즘을 적용하여 초기사용 문제 등을 해결할 수 있었다. 그러나 방문해야 하는 노드의 개수가 특정 수치 이상으로 올라가면 소요시간이 기하급수적으로 늘어나는 등 알고리즘의 한계가 명확하게 보이며, 특수한 상황에서는 활용하기 어려울 것이다.

또한 숙련공의 경험적 지식을 형식화 하기 위해 ACO를 적용하기 위해서는, 장소(Rack) 별로 재고의 입출고를 관리하여 작업자의 경험적 정보를 추출할 수 있는 기반 시스템의 구축이 우선시되어야 향후 경험적 데이터를 기반으로 하는 학습형 알고리즘 ACO를 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

2. 문제점 및 개선안

1) 데이터 불완전성

지금의 시스템에서는 작업자가 모든 물건을 픽업한 후 마지막에 완료 처리를 수행하므로, 개별 물건에 대한 픽업 시간을 개별적으로 확인할 수 없다. 이 문제를 해결하기 위해서는, 저장위치(랙) 별로 별도의 데이터를 수집할 수 있는 방안을 마련해야한다.

2) 작업자 경로 추정의 불완전성

특정한 제품 A가 완벽히 동일한 거리를 가지는 최단거리 2개를 보유하는 경우, 실제 작업자가 어떠한 경로로 이동하였는지 추정하기 어려운 문제가 여전히 존재한다.

이는 작업자를 추적하는 별도의 방식을 도입하여 해결할 수 있을 것으로 보인다. 작업자에게 별도의 비컨을 장착하거나, 다수의 카메라를 활용한 동일 객체 추정 및 위치 추적 기술 등을 적용할 수 있을 것으로 사료된다.

3) 최단경로의 비최적화

작업자는 특정한 이유로 최단경로가 아닌 최적 경로를 탐색할 수 있음. 예를 들어 최단경로의 경우 "A->B->C"가 결과로서 제시되었으나, B제품의 형태를 이유로(부피가 가장 크고 무거움) "B->A->C"의 경로를 선호할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 충분한 작업자 업무 수행 데이터가 축적된 후 ACO 알고리즘을 적용하여 숙련공의 경험적 지식을 추출할 수 있는 시도를 하고자 한다.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by Ulsan Metropolitan City-ETRI joint cooperation project.

[23AS1600, Development of intelligent technology for key industries and autonomous human-mobile-space autonomous collaboration intelligence technology]

REFERENCES

- [1] Lee, S. C., Ryu, J. C., "Improved VRP & GA-TSP Model for Multi-Logistics Center", KAIS Conference, Vol. 8, No. 5, pp. 1279-1288, 2007
- [2] Park G. S., Park J. M., Yun W. K., Yoo S. J., "DQN Reinforcement Learning: The Robot's Optimum Path Navigation in Dynamic Environments for Smart Factory", JKICS, 2019, vol. 44, no. 12, pp. 2269-2279
- [3] Kim E. J., Lee S. H., Cheon C. G., Yu B. Y., "Development of the Algorithm of a Public Transportation Route Search Considering the Resistance Value of Traffic Safety and Environmental Index", J.Korea Inst. Intell. Transp. Syst., 2017, vol. 16, no. 1, pp. 78-89.