

모바일 매니플레이터 로봇을 이용한 TSP 펜아트*

임은정⁰, 박지윤⁰, 송다은, 김영준
이화여자대학교 컴퓨터공학과

{ejunglim12|jiyoonpark13|daeunsong}@ewhain.net, kimy@ewha.ac.kr

TSP Pen Art using a Mobile Manipulator Robot

Eunjung Lim⁰, Jiyoung Park⁰, Daeun Song, Young J. Kim
Dept. of Computer Science and Engineering, Ewha Womans University

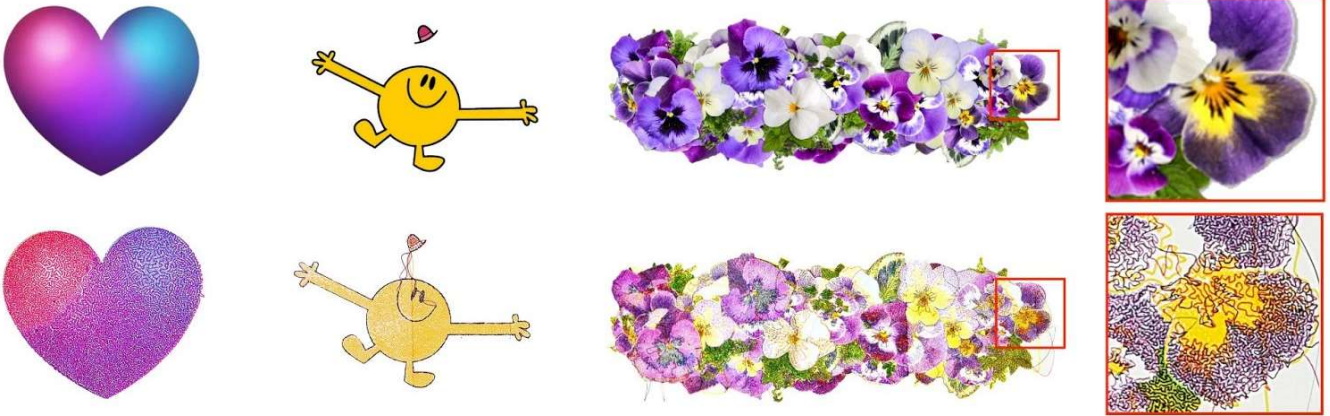


그림 1: (왼쪽부터) 하트, 캐릭터, 꽃 입력 이미지(윗 행)와 로봇 TSP 펜아트 드로잉 결과(아래 행)

요약

본 연구에서는 모바일 매니플레이터 로봇을 이용한 TSP 펜아트 드로잉 시스템을 제안한다. 입력된 임의의 컬러 래스터 이미지를 로봇으로 드로잉이 가능한 벡터 이미지로 변환하기 위하여 주어진 문제를 Traveling Salesman Problem (TSP)로 변환한다. 이 벡터 이미지를 전 방향 이동이 가능한 모바일 매니플레이터 로봇을 이용하여 넓은 캔버스 영역에 그려낸다. 제안하는 시스템을 통해 본 연구에서는 다양한 입력 이미지에 대해서 대영역 실사 펜아트 드로잉이 가능함을 보였다.

1. 서론

현재 로봇은 산업 영역뿐만 아니라 미술 분야에서도 활발히 연구되고 있다. 캐리커처를 그려주는 화가를 모방한 로봇, 디지털 이미지를 수채화로 그려주는 로봇, 벽화와 같은 대형화를 그리는 로봇 등이 존재한다. 하지만 대부분의 경우, 로봇의 베이스가 고정되어 제한된 영역에 그림을 그린다. 본 연구에서는 로봇의 베이스가 고정되어 그림을 그린 기존 연구[1]를 확장하여 베이스가 자유롭게 이동하는 모바일 매니플레이터 로봇을 이용한 로봇 펜아트 드로잉 시스템을 제안한다.

제안하는 로봇 펜아트 시스템은 크게 드로잉 입력 전처리, 펜 드로잉, 그리고 대영역 캔버스를 위한 모바일 주행으로 이루어져 있다.

본 연구에서는 래스터 이미지를 입력 데이터로 활용한다. 래스터 이미지로부터 매니플레이터 로봇 말단에서 그림을 그릴 수 있는 경로를 생성하기 위해 TSP 아트 드로잉 기법을 사용한다. TSP 아트는 점묘법으로 표현된 그림의 점들을 Traveling Salesman Problem을 이용하여 연속된 선으로 그림을 그리는 기법이다. 이는 3차원 경로를 입력 받는 매니플레이터 로봇이 그려내기에 적절하며, 정교한 표현이 가능한 로봇 드로잉에 적절하다.

2. 드로잉 입력 전처리

물리적인 펜으로 디지털 컬러 이미지의 다채로운 색상을 표현하기 위해 컬러 스페이스를 CMYK 네 가지 색의 조합으로 표현하는 4도 인쇄법을 사용하였다. 입력 이미지로부터 각각 C, M, Y, K 색상 값을 추출하여 저장한다. 본 연구의 그림 도구인 마커펜을 이용하여 색의 복제율을 실험한 결과, 검정색은 다른 색채를 압도하는 것을 확인했다. 따라서, 검정색의 기여분을 최소화하기 위해 입력 이미지를 각 색상 값으로 나누어 저장할 때, 이미지의 임계값과 채도를 조정하였다.

⁰ 해당 저자들은 본 연구에 동등하게 기여하였다.

* 학부생 주저자 논문, 구두 발표 논문, 요약논문(Extended Abstract).

* 본 연구는 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터육성지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2021-2020-0-01460).

3. 펜 드로잉

3.1. TSP 아트

CMYK 로 분리된 색상 별 이미지 데이터를 TSP 아트로 변환하기 위해 가중 보로노이 점묘법을 사용한다. 가중 보로노이 점묘법은 보로노이 다각형을 계산하고 각 다각형의 중심점을 찍는 기법이다 [2]. 가중 함수에 따라 점들의 밀도가 결정되어 이미지의 명도 표현이 가능하다.

이후 Concorde TSP solver [3]를 이용하여 보로노이 사이트들을 잇는 2 차원 로봇 경로를 생성한다. Concorde 는 cutting-plane method 를 재귀적으로 이용하여 TSP 문제를 효율적으로 해결한다. 이는 TSP 를 LP-relaxation 하여 푸는 방법으로 현존하는 빠른 TSP 해결법 중 하나이다. 한편, 보다 매끄러운 로봇 경로를 생성하기 위해 TSP 노드들 사이에 추가 경유 좌표들을 삽입한다. 생성된 경로상의 모든 경유 좌표들을 매니플레이터 로봇이 드로잉 가능한 워크스페이스 영역별로 분할하여, 로봇이 다수의 영역 간을 주행하며 대영역 드로잉을 완성하도록 한다.

3.2. 로보틱 드로잉

본 연구에서는 매니플레이터의 정확도와 안정성이 보장되는 7 자유도 로봇인 KUKA IIWA 7 R800을 이용해 로봇 드로잉을 구현하였다. 특히, 고정된 캔버스에 펜화를 그릴 때, 캔버스로부터 가해지는 외력에 적응하기 위해 임피던스 제어를 사용한다 [1].

TSP 아트를 통해 계산한 점들의 좌표는 2차원 정보이지만 캔버스에 물리적인 드로잉을 수행하기 위해서는 3차원 정보가 필요하다. 이를 위해 로보틱 드로잉을 수행하기 전, 마커펜을 캔버스에 수직으로 운용하여 닿는 곳의 좌표 값을 저장한다. 해당 좌표로부터 캔버스와 매니플레이터 로봇 사이의 깊이 정보 값을 획득하여 3차원 드로잉 경로를 생성한다.

본 연구에서는 로봇 제어를 위해 Robot Operating System (ROS)를 미들웨어로 사용한다. 캔버스는 1절지 종이를 벽에 부착하여 사용한다. 그림 도구는 C, M, Y, K 색상 값을 대표하는 마커펜 4개이며, 이를 하나씩 로봇 말단에 부착하여 색상 별 경로에 따른 드로잉을 수행한다.

4. 대영역 캔버스를 위한 모바일 주행

본 연구에서는 전 방향 이동이 가능한 Clearpath Ridgeback 을 모바일 플랫폼으로 이용하였다. 모바일 플랫폼은 벽면에 부착된 캔버스를 마주하며 좌우로 이동해 대영역 드로잉을 가능케 한다.

펜과 캔버스의 지속적인 접촉과 안정적인 좌우 이동을 보장하기 위해 로보틱 드로잉을 하기 전 로봇을 벽에 평행하게 정렬시킨다. 이를 위해 로봇의 정면에 부착된 라이다 센서 정보를 이용하여 정면을 기준으로 좌우 30도의 거리 센서값을 입력받아 이들 지점까지의 거리

의 차이가 5mm 이내가 되도록 로봇을 회전시켜 캔버스와의 각도를 정렬시킨다.



그림 2: 매니플레이터와 모바일 플랫폼이 결합된 로봇

대영역 드로잉을 완성하기 위하여 분할된 영역별로 드로잉을 수행한다. 다음 영역으로 이동하기 위해 모바일 로봇은 각 영역의 크기만큼 캔버스와 평행하게 느린 등속 주행을 한다.

5. 결과

그림 1 은 제안하는 시스템을 통해 그려낸 TSP 펜아트의 결과이다. 하트에는 모바일 로봇이 활용되지 않았으며, 캐릭터와 꽃은 모바일 로봇을 각각 2, 3 번 오른쪽으로 0.35m 씩 움직여 완성한 그림이다.

표 1: 각 이미지의 메타데이터

이미지	크기(m)	점 개수	TSP 소요시간	그림 소요시간
하트	0.40 × 0.35	34,849	6 분	120 분
캐릭터	0.60 × 0.40	31,151	34 분	110 분
꽃	0.85 × 0.30	95,155	97 분	585 분

6. 결론

본 연구에서는 모바일 매니플레이터 로봇을 이용한 TSP 펜아트 드로잉 시스템을 제안하였다. 다양한 이미지로부터 TSP 아트를 만들어 낼 수 있고, 시스템의 모빌리티를 이용하여 복잡한 그림을 대영역 캔버스에 그릴 수 있다.

향후 연구로 카메라를 이용한 모바일 로봇의 이동 정확도 향상과 자동 펜 교체 등의 사람의 개입 최소화를 계획하고 있다.

참고문헌

[1] D. Song, T. Lee, and Y.J. Kim, Artistic pen drawing on an arbitrary surface using an impedance-controlled robot, *2018 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*. IEEE, 2018.

[2] A. Secord, Weighted Voronoi Stippling, *Proceedings of the 2nd international symposium on Non-photorealistic animation and rendering (NPAR 2002)*, p37-43, 2002.

[3] D. Applegate, R. Bixby, V. Chvatal, and W. Cook, Concorde: A code for solving traveling salesman problems. <http://www.tsp.gatech.edu/concorde.html>.