

ICRA 2023 논문을 통해 본 로봇분야 연구동향

이석(부산대학교 기계공학부 교수), 정병규(기계·로봇 연구정보센터)

I. 들어가며

ICRA 2023은 국제로봇공학 및 자동화 분야의 중요한 학술대회로, 2023년 5월 29일부터 6월 2일까지 영국 런던에서 개최되었습니다. 이 대회는 IEEE 로봇자동화학회 (Robotics and Automation Society, RAS)가 주최하며, 로봇 분야에서 가장 큰 규모의 학술 행사 중 하나입니다.

ICRA는 학술 논문 발표뿐만 아니라 다양한 로봇 경진 대회도 개최하는데, 2023년대회에서는 '드림워크(Dream WaQ)'라는 자율 보행 로봇 제어를 장착한 KAIST(한국과학기술원)의 명현 교수팀이 만든 자율 보행 로봇이 우승하였습니다. 이 대회에는 미국, 홍콩, 이탈리아, 벨기에 등 총 11개 팀이 참가했으며, 결승전에서 총점 246점을 획득하여 우승을 차지했습니다. MIT(매사추세츠 공과 대학)은 60점을 획득하여 2위를 차지했으며, 이 점수 차이를 고려하면 KAIST의 로봇이 압도적인 성적을 보여 우승을 차지했다는 것을 의미합니다. 이 대회에서 KAIST 팀의 자율 보행 로봇은 시각이나 촉각 센서 없이 계단을 오를 수 있는 능력을 뽐내며 주목을 받았습니다.

참조한 YouTube 링크를 통해 더 자세한 정보와 비디오 시연을 확인할 수 있습니다. (https://youtu.be/pG1LGyNKkeA?si=ZGq_Fx4FrtELPg5g) 이러한 성과는 로봇 기술 분야에서 한국의 연구 및 개발 능력을 대표하는 좋은 사례라고 평가할 수 있을 것입니다.

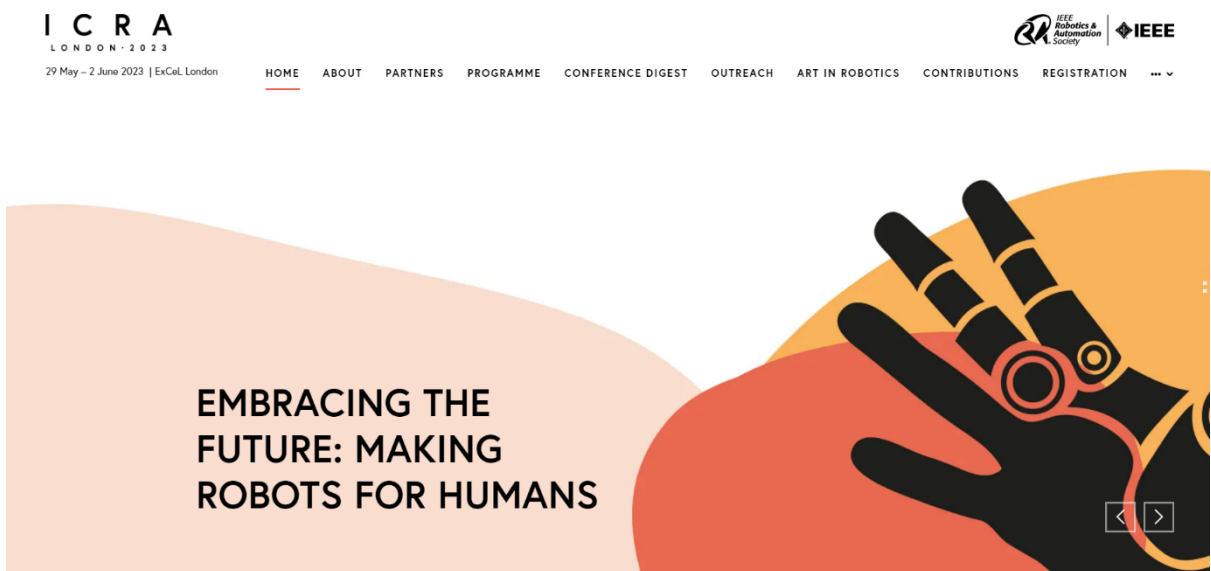


Figure 1. ICRA 2023 웹사이트 (<https://www.icra2023.org>)

II. 분석대상자료 및 분석방법

ICRA 2023 학술대회 논문에 대한 자료 분석을 위해 1,136편의 논문을 IEEE Xplore digital library에서 추출하고 통계 분석 및 네트워크 분석을 실시하였습니다. 통계 분석에서는 다음과 같은 주요 내용을 추출하고 정리하였습니다.

- **기관별 논문 발표 순위:** 어떤 기관이 가장 많은 논문을 발표했는지 확인할 수 있습니다.
- **국가별 논문 발표 순위:** 어떤 국가에서 가장 많은 논문이 발표되었는지 확인할 수 있습니다.
- **국가별 참여 기관 수:** 각 국가별로 몇 개의 기관이 논문을 발표했는지 파악할 수 있습니다.
- **한국 기관의 논문 발표 순위:** 한국 기관 중에서 가장 논문을 많이 발표한 기관은 무엇인지 확인할 수 있습니다.

네트워크 분석에서는 NetMiner 3.6을 사용하여 다음과 같은 분석을 수행하였습니다.

- **키워드 분석:** 논문에 사용된 키워드들을 분석하여 어떤 주요 주제나 키워드가 학회에서 다뤄진 것인지를 확인할 수 있습니다.
- **연구자 분석:** 논문의 저자들을 분석하여 어떤 연구자가 이 학회에서 활동하고 있는지를 파악할 수 있습니다.
- **기관-키워드 분석(2Mode):** 기관과 키워드 간의 관련성을 분석하여 특정 기관이 어떤 연구 주제나 분야에 집중하고 있는지를 이해할 수 있습니다.

이러한 분석은 학술 대회 참가자, 연구자, 및 관련 분야의 전문가들에게 유용한 정보를 제공하고, 연구 동향을 파악하며 미래의 연구 방향을 예측하는 데 도움을 줄 것입니다.

III. 통계분석

1. ICRA 2023 국가별 논문 발표 순위

ICRA 2023에서는 총 37개 국가에서 1,136편의 논문이 발표되었습니다. (IEEE Xplore digital library 기준) 국가별 논문 발표 순위를 살펴보면, 다음과 같은 결과가 나타나고 있습니다:

USA가 518편으로 가장 많은 논문을 발표하였으며, 그 뒤로 China가 230편, Germany가 96편, UK가 67편, Korea가 62편, Canada가 46편, Switzerland가 44편, France가 34편, Japan이 32편, Italy가 31편, Australia가 28편의 논문을 발표하였습니다.

한국은 62편의 논문으로 2022년에는 31편의 논문만 발표한 것에 비해 한 해 동안 큰 성장을 보였습니다. 특히, 한국이 일본을 제치고 5위로 올랐다는 사실은 한국 로봇공학 및 자동화 연구가 꾸준히 발전하고 있는 것을 시사하는 중요한 정보입니다. 이러한 데이터를 통해 각 국가의 연구 활동 및 기여도를 파악할 수 있으며, 향후 로봇공학과 자동화 분야에서의 연구 동향을 예측하는데도 도움을 줄 수 있습니다.

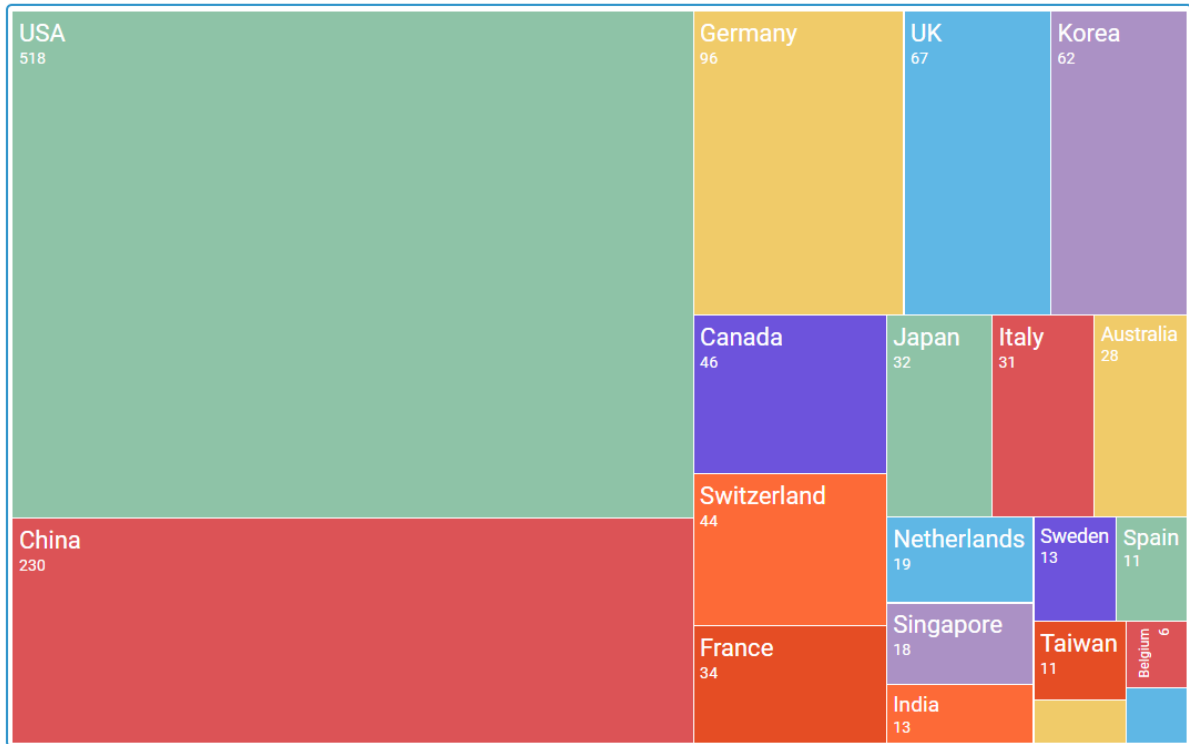


Figure 2. ICRA 2023 국가별 논문발표 순위

2. ICRA 2023 기관별 논문 발표 순위

ICRA 2023에서는 약 480여 기관에서 논문을 발표하였으며, 기관별 발표 논문 수는 Figure 3과 같이 Carnegie Mellon Univ.이 57편, MIT가 31편, ETH Zurich가 31편, Tsinghua Univ.가 23편, Univ. of California at Berkeley가 23편, Stanford Univ.가 22편, Georgia Tech.이 20편으로 논문을 발표한 상위 기관입니다. 또한 한국의 경우, KAIST가 19편, Seoul National Univ.가 17편의 논문을 발표하였습니다.

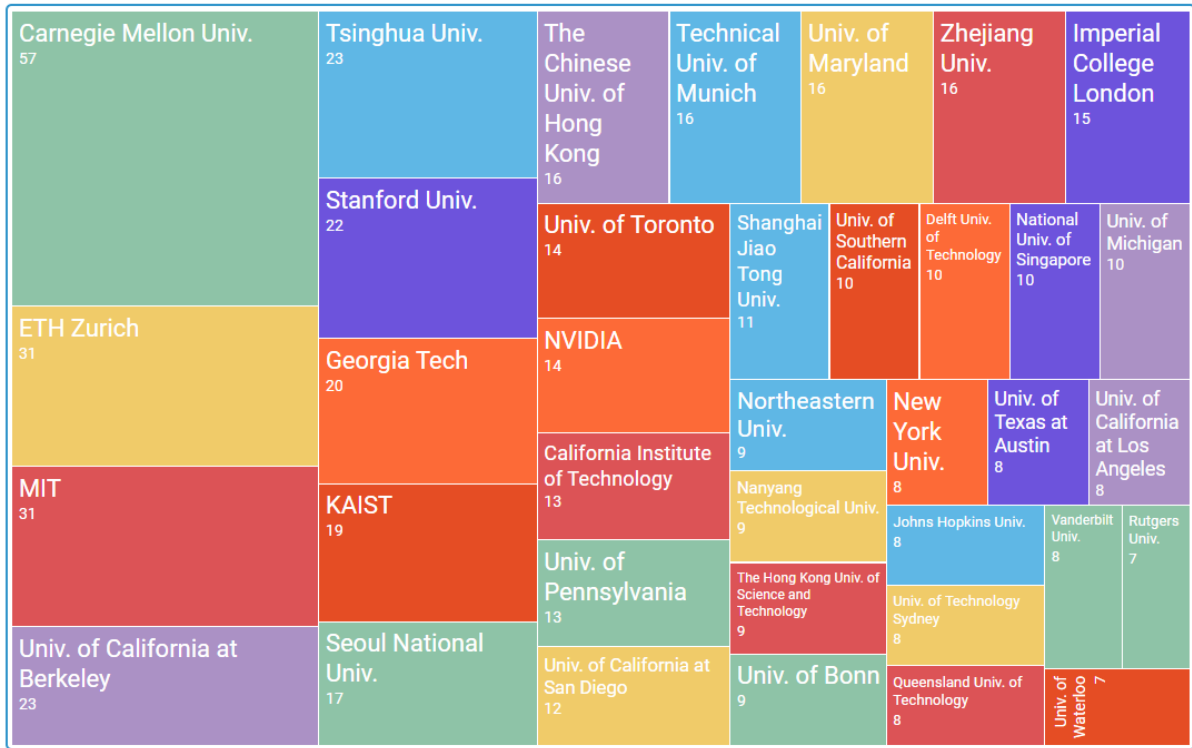


Figure 3. ICRA 2023 기관별 논문 발표 수(7 편 이상)

IV. 네트워크 분석

1. 키워드 네트워크 분석

논문의 키워드 분석을 통해 발표된 논문들이 어떤 분야와 주제의 연구를 다루고 있는지 확인할 수 있습니다. Figure 4 에 표시된 "Spring Layout 네트워크"는 각 논문의 키워드를 분석하고 취합하여, 한 논문에 함께 나열된 키워드들을 서로 연결하여 시각화한 그림입니다. 이 그림은 전체 키워드의 상관관계를 더 직관적으로 보여주기 위해 빈도수가 6 이하인 값을 삭제한(Link Reduction 6) 결과입니다.

4	Robot Vision	242
5	Feature Extraction	167
6	Manipulators	163
7	Control Engineering Computing	158
8	Object Detection	154
9	Reinforcement Learning	140
10	Cameras	123
11	Optimisation	115
12	Autonomous Aerial Vehicles	94
13	Collision Avoidance	90
14	Graph Theory	88
15	Human-Robot Interaction	88
16	Multi-Robot Systems	88
17	Pose Estimation	88
18	Image Segmentation	79
19	Legged Locomotion	79
20	Motion Control	77
21	Medical Robotics	74
22	Optical Radar	74
23	Traffic Engineering Computing	69
24	Image Colour Analysis	67
25	Trajectory Control	65
26	Dexterous Manipulators	62
27	Slam (Robots)	59
28	Multi-Agent Systems	58
29	Predictive Control	52
30	Computer Vision	50
31	Grippers	47
32	Robot Dynamics	47
33	Supervised Learning	47
34	Convolutional Neural Nets	44
35	Helicopters	43
36	Neural Nets	43
37	Actuators	42
38	End Effectors	42
39	Unsupervised Learning	42
40	Position Control	40
41	Probability	39
42	Surgery	39

46	Image Reconstruction	35
47	Biomechanics	34
48	Distance Measurement	33
49	Gait Analysis	33
50	Stereo Image Processing	33
51	Calibration	32
52	Feedback	32
53	Image Matching	32
54	Tactile Sensors	32
55	Telerobotics	32
56	Object Tracking	31
57	Gaussian Processes	28
58	Medical Image Processing	28
59	Sensor Fusion	28
60	Force Control	27
61	Inference Mechanisms	27
62	Gradient Methods	26
63	Image Classification	26
64	Robot Programming	26
65	Soft Robotics	26
66	Video Signal Processing	26
67	Image Motion Analysis	25
68	Image Registration	25
69	Nonlinear Control Systems	25
70	Optimal Control	25
71	Regression Analysis	25
72	Image Sensors	24
73	Haptic Interfaces	23
74	Rendering (Computer Graphics)	23
75	State Estimation	23
76	Aerospace Robotics	22
77	Decision Making	22
78	Manipulator Dynamics	22
79	Bayes Methods	21
80	Image Fusion	21
81	Closed Loop Systems	20
82	Kalman Filters	20
83	Recurrent Neural Nets	20
84	Virtual Reality	20

Degree Centrality 는 연결 정도 중심성으로 한 키워드가 전체 네트워크에서 얼마나 중요한 역할을 하는지를 나타내는 지표입니다. 이 지표는 네트워크 분석에서 한 키워드가 다른

키워드와의 연관성을 파악하는 데 가장 많이 활용됩니다. 다른 키워드와의 연결 관계가 많을수록 해당 키워드는 네트워크의 중심에 가까이 위치하게 됩니다.

ICRA 2023의 키워드들의 Degree Centrality 결과는 Figure 6과 같이 나타났습니다. 이 결과를 통해 알 수 있는 바와 같이 Mobile Robots를 중심으로 Artificial Intelligence, Path Planning, Robot Vision, Feature Extraction, Manipulators, Control Engineering Computing, Object Detection, Reinforcement Learning, Cameras, Optimisation 등의 키워드가 네트워크에서 중심에 위치하고 있음을 확인할 수 있습니다. 이러한 키워드들이 해당 연구 분야에서 중요하게 다뤄지고 있는 것으로 해석됩니다.

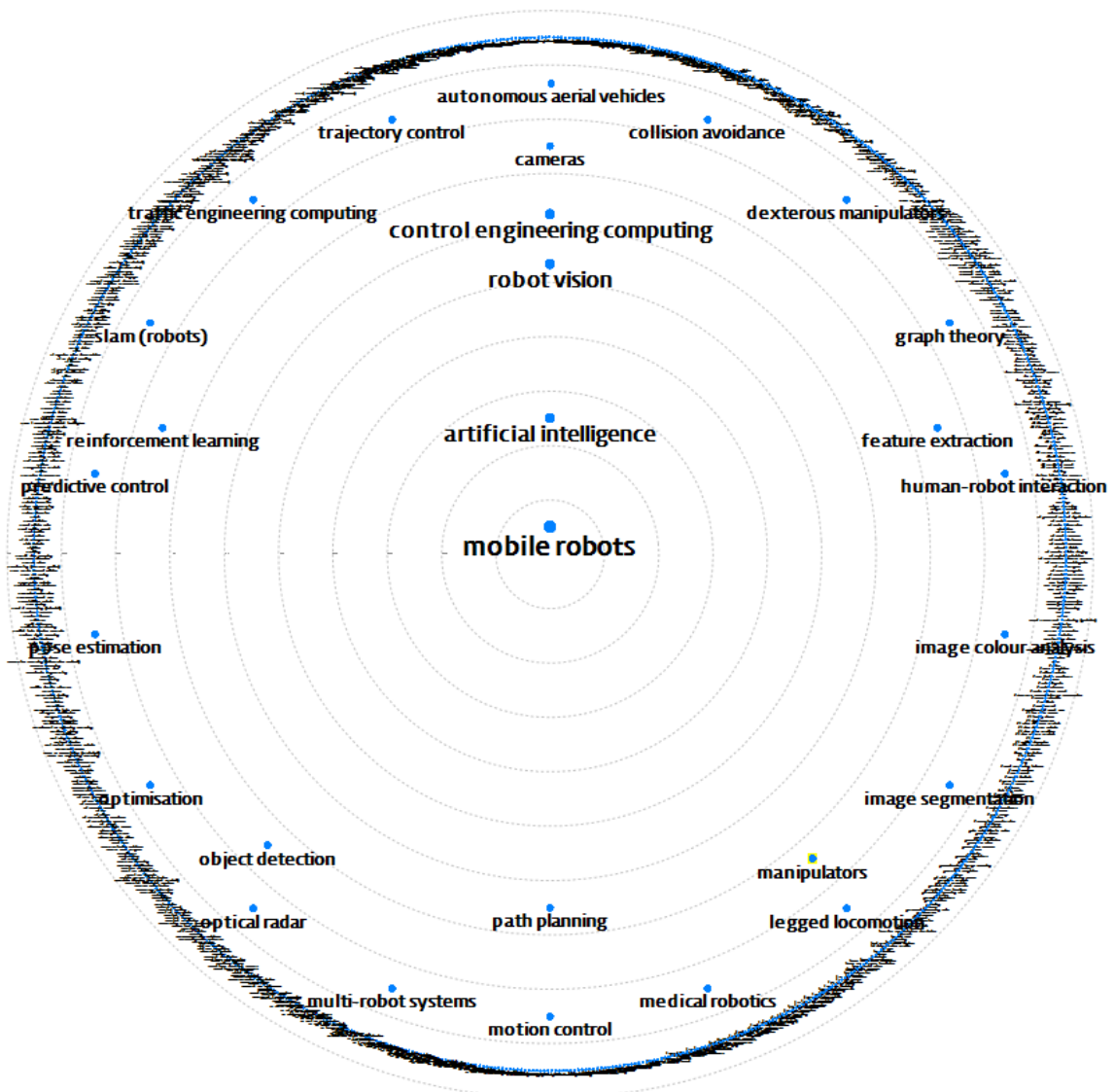


Figure 6. ICRA 2023 키워드 Degree Centrality

2. 공저자 네트워크 분석

키워드 분석과 마찬가지로 ICRA 2023 논문의 공저자들 간의 상관관계를 시각화하기 위해 NetMiner3.6 을 사용하였습니다. Figure 7 과 같이 많은 연구자 그룹이 형성되어 있는 것을 확인할 수 있습니다. 이 중에서 오른쪽 아래에 위치한 그룹은 주로 개인 또는 실험실 단위의 소규모 연구 그룹을 나타내며, 왼쪽 위로 갈수록 여러 기관 소속의 연구자들이 모인 대규모 연구 그룹을 나타냅니다.

이 네트워크 분석을 통해 ICRA 2023 에서의 연구 협력과 공저자 간의 관계를 시각적으로 파악할 수 있으며, 어떤 연구 그룹이 형성되고 있는지를 이해하는 데 도움이 됩니다.

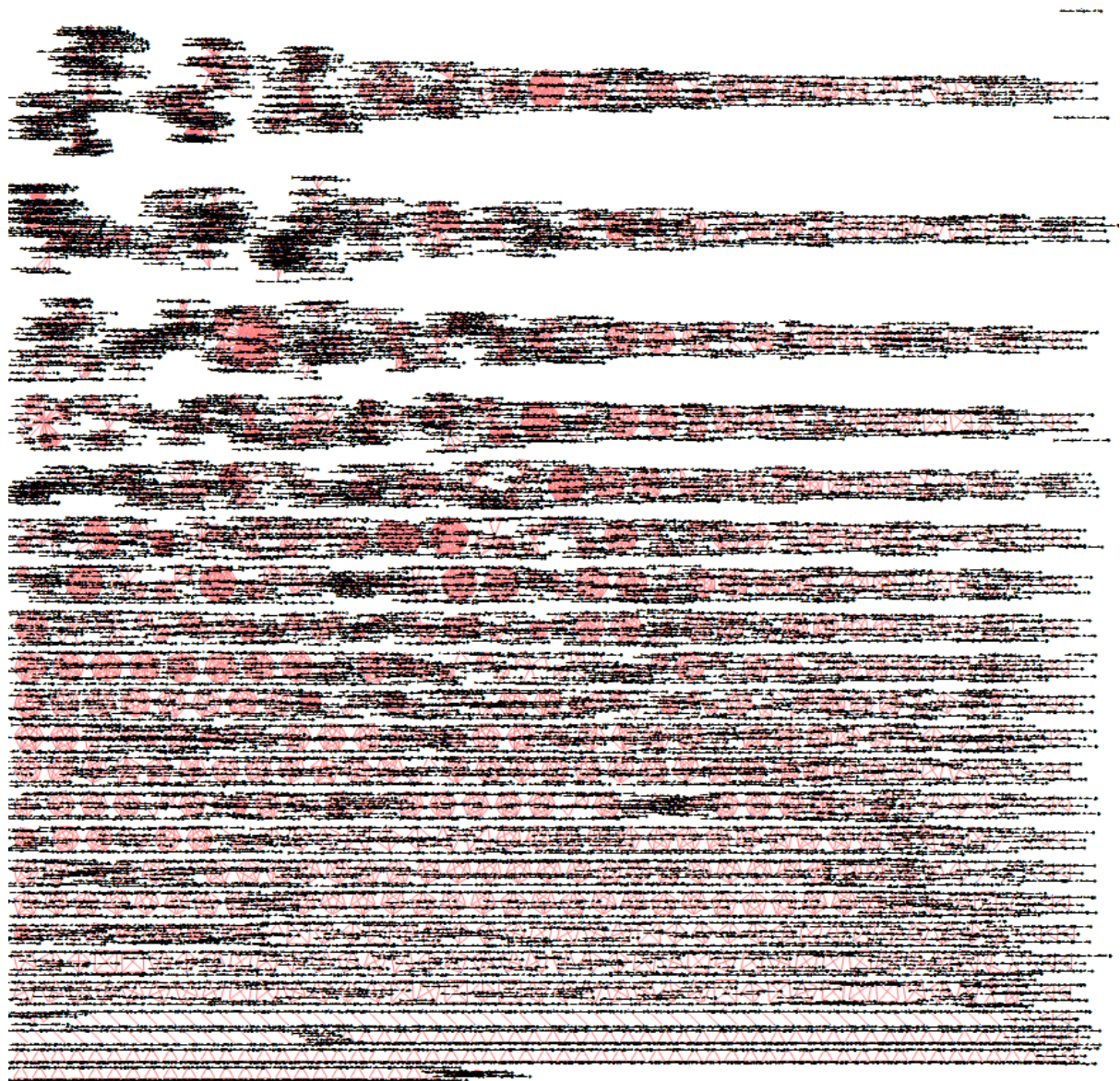


Figure 7. ICRA 2023 공저자 네트워크 (Spring Layout)

이 중에서 몇 개의 큰 그룹을 선택하여 확대하여 자세히 살펴보기로 하겠습니다. 이를 통해 각 그룹의 구성원과 협력 관계 등을 더 자세히 파악할 수 있을 것입니다.

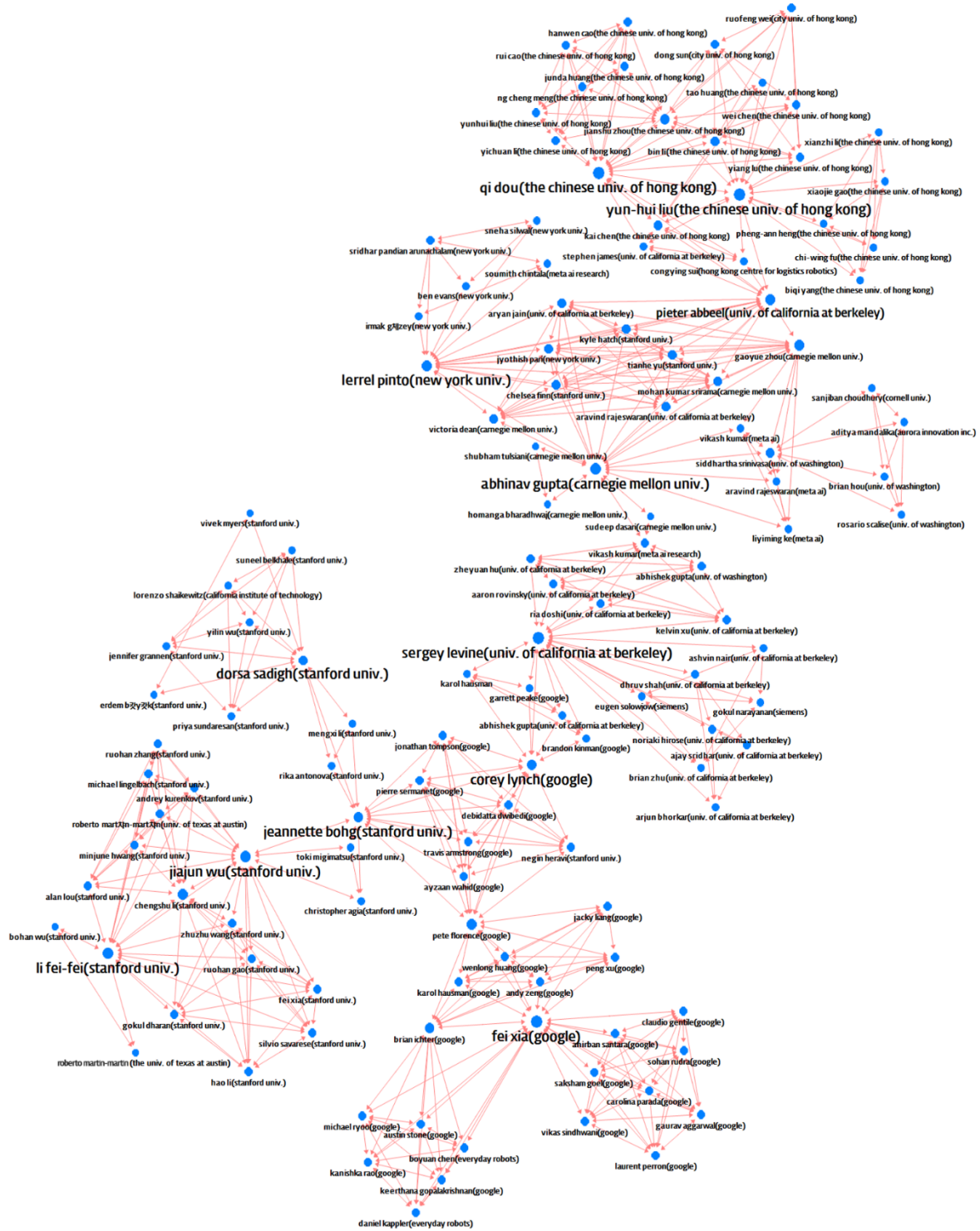


Figure 8. The Chinese Univ. of Hong Kong 과 Carnegie Mellon Univ., Univ. of California at Berkeley, Stanford Univ. 연구자 그룹

ICRA 2023 에서는 여러 연구자 그룹 중에서 The Chinese Univ. of Hong Kong, Carnegie Mellon Univ., Univ. of California at Berkeley, Stanford Univ., Google 등 5 개 이상의 기관의 연구자들이 연결된 가장 큰 그룹이 나타났습니다. 이 그룹에서는 주요 연구자로 다음과 같은 분들이 확인됩니다: Qi Dou (The Chinese Univ. of Hong Kong), Yun-hui Liu (The Chinese Univ. of Hong Kong), Pieter Abbeel (Univ. of California at Berkeley), Lerrel Pinto (New York Univ.), Abhinav Gupta (Carnegie Mellon Univ.), Dorsa Sadigh (Stanford Univ.), Sergey Levine (Univ. of California at Berkeley), Jeannette Bohg (Stanford Univ.), Jiajun Wu (Stanford Univ.), Li Fei-Fei (Stanford Univ.), 그리고 Fei Xia (Google). 이 그룹은 다양한 연구 주제와 협력을 통해 연구 분야를 선도하고 있습니다.

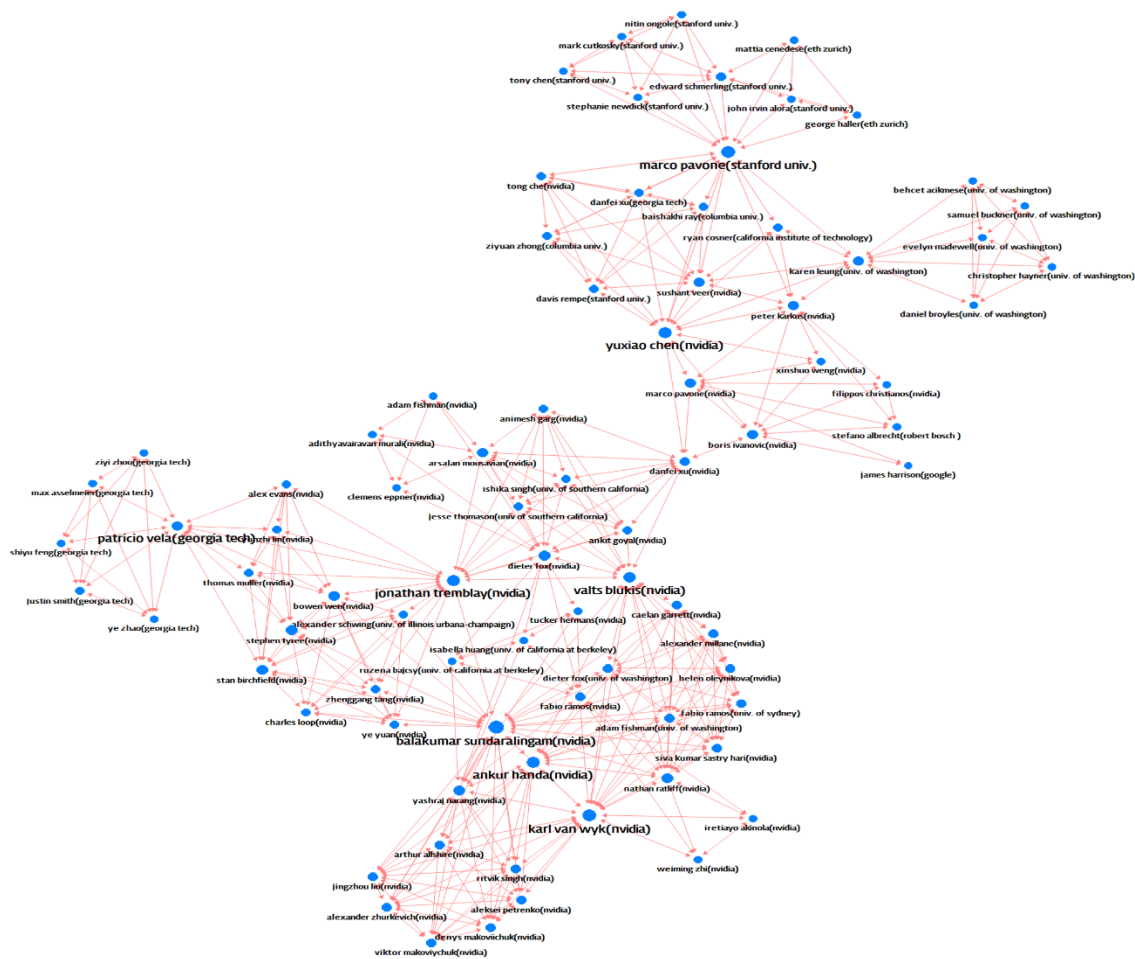


Figure 9. NVIDIA 연구 그룹

두 번째로 큰 그룹은 Figure 9 와 같이 주로 NVIDIA 의 연구자 그룹으로 구성되어 있으며, 주요 연구자로는 Marco Pavone (Stanford Univ.), Yuxiao Chen (NVIDIA), Patricio Vela (Georgia Tech.), Jonathan Tremblay (NVIDIA), Valts Blukis (NVIDIA), Balakumar Sundaralingam (NVIDIA), Ankur

Handa (NVIDIA), Karl Van Wyk (NVIDIA) 등이 확인됩니다. 이 그룹은 주로 NVIDIA 와 관련된 연구를 수행하며, 해당 분야에서의 중요한 공헌을 하고 있습니다.

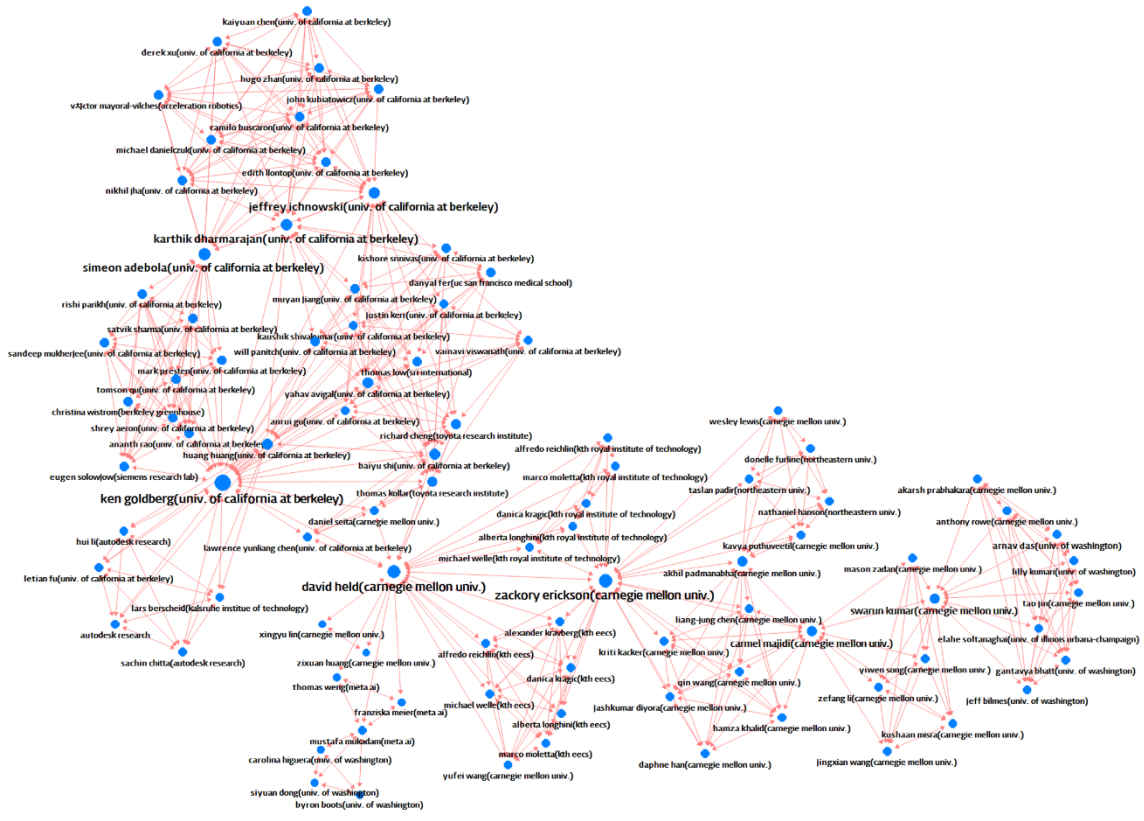


Figure 10. Univ. of California at Berkeley 과 Carnegie Mellon Univ. 연결 그룹

Figure 10은 주로 Univ. of California at Berkeley와 Carnegie Mellon Univ.의 연구자들이 연결된 그룹으로, 이 그룹에서 Ken Goldberg(Univ. of California at Berkeley)가 가장 중심적인 연구자로 나타납니다. 이 그룹에는 또한 David Held(Carnegie Mellon Univ.)와 Zackory Erickson(Carnegie Mellon Univ.)과 같은 주요 연구자들이 연결되어 있습니다. Ken Goldberg는 Univ. of California at Berkeley의 산업공학 교수로 재직 중이며, 로봇공학과 자동화 분야에서의 권위 있는 전문가입니다. 뿐만 아니라, 그는 Ambi Robotics에서 수석 과학자로도 활동하고 있습니다.

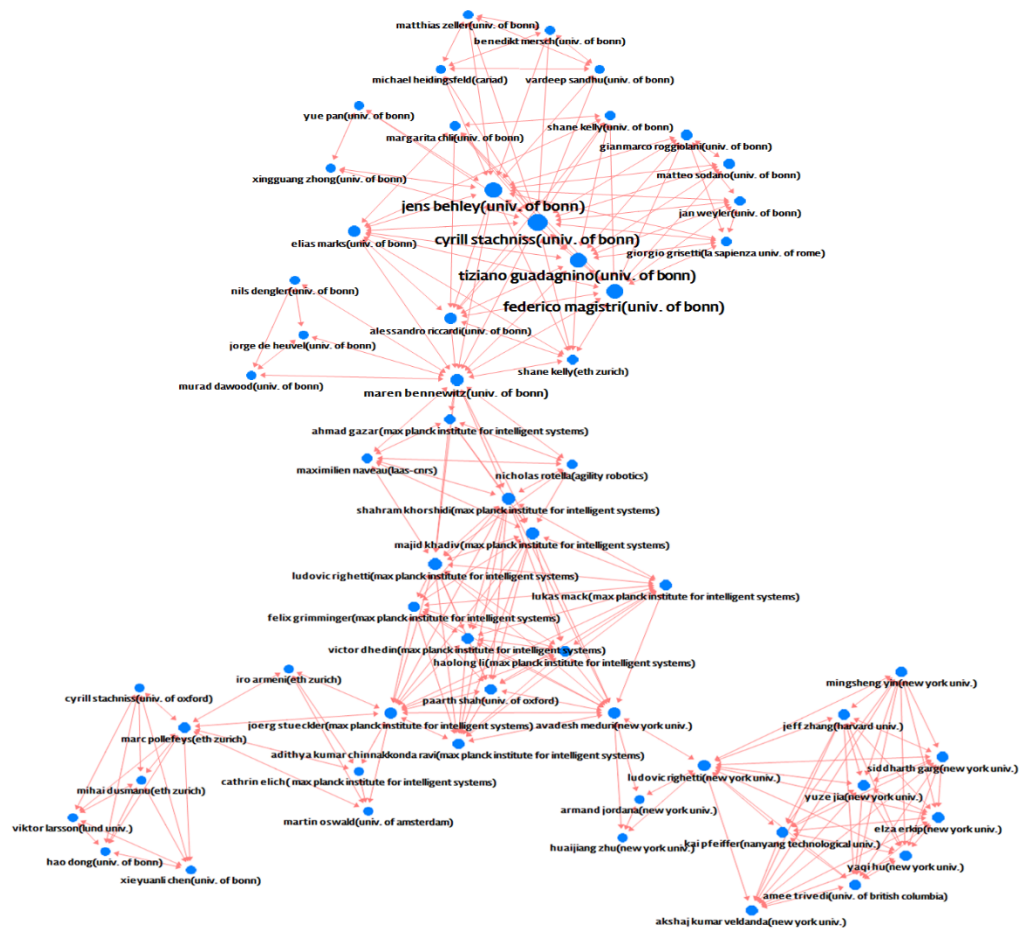


Figure 11. Univ. of Bonn, Max Planck Institute for Intelligent Systems, ETH Zurich, New York Univ. 연결 그룹

Figure 11 은 Univ. of Bonn 의 연구자들을 중심으로 하여 Max Planck Institute for Intelligent Systems, ETH Zurich, New York Univ.의 연구자들이 연결된 그룹을 보여줍니다. 이 그룹에는 Jens Behley(Univ. of Bonn), Cyrill Stachniss(Univ. of Bonn), Tiziano Guadagnino(Univ. of Bonn), Federico Magistri(Univ. of Bonn)의 4 명의 연구자들이 공저자로 연결되어 있습니다.

Jens Behley(Univ. of Bonn)는 2016 년 2 월부터 Department for Photogrammetry 의 연구원으로 근무 중이며, 2015 년 7 월까지 보른 대학교 컴퓨터 과학 III 부서에서 일한 경력이 있습니다. 그는 2014 년 1 월에 아르민 B. 크레머스 교수의 지도 아래 "야외 환경에서의 3 차원 레이저 기반 분류"에 관한 논문으로 박사학위를 취득했습니다. 그는 현재 IEEE Robotics and Automation Letters(RA-L)의 부편집장으로 활동하고 있습니다.

Cyrill Stachniss 는 본 대학의 정교수로, 사진측량과 로봇 과학 연구를 주도하며, 영국 옥스퍼드 대학에서도 초빙 교수로 활동하고 있습니다. 이전에는 프라이부르크 대학에서 강사로, 스페인의 사라고사 대학과 스위스 연방 공과대학에서 연구원으로 활동했습니다. 2009 년에 박사 학위를 받았으며, 2008 년부터 2013 년까지 IEEE 로봇 학회 Transactions on Robotics 의 부편집장을

말았습니다. 그는 Microsoft Research Faculty Fellow 로 활동하였으며, 2013년에는 IEEE RAS Early Career Award 를 수상하였습니다. 2015년부터는 IEEE 로봇 및 자동화 레터의 편집장이며, 다양한 연구 프로젝트를 주도하고 있습니다. 그의 연구는 이동 로봇, 탐사, 자율 주행 자동차, 농업 로봇 및 무인 항공 기기 분야의 확률적 기법에 중점을 두고 있으며, 280 개 이상의 피어 리뷰 논문을 공동 저술했습니다. ICRA 2023 에서는 농업 작물 검사를 위한 최우수 자동화 논문을 수상하기도 하였습니다.

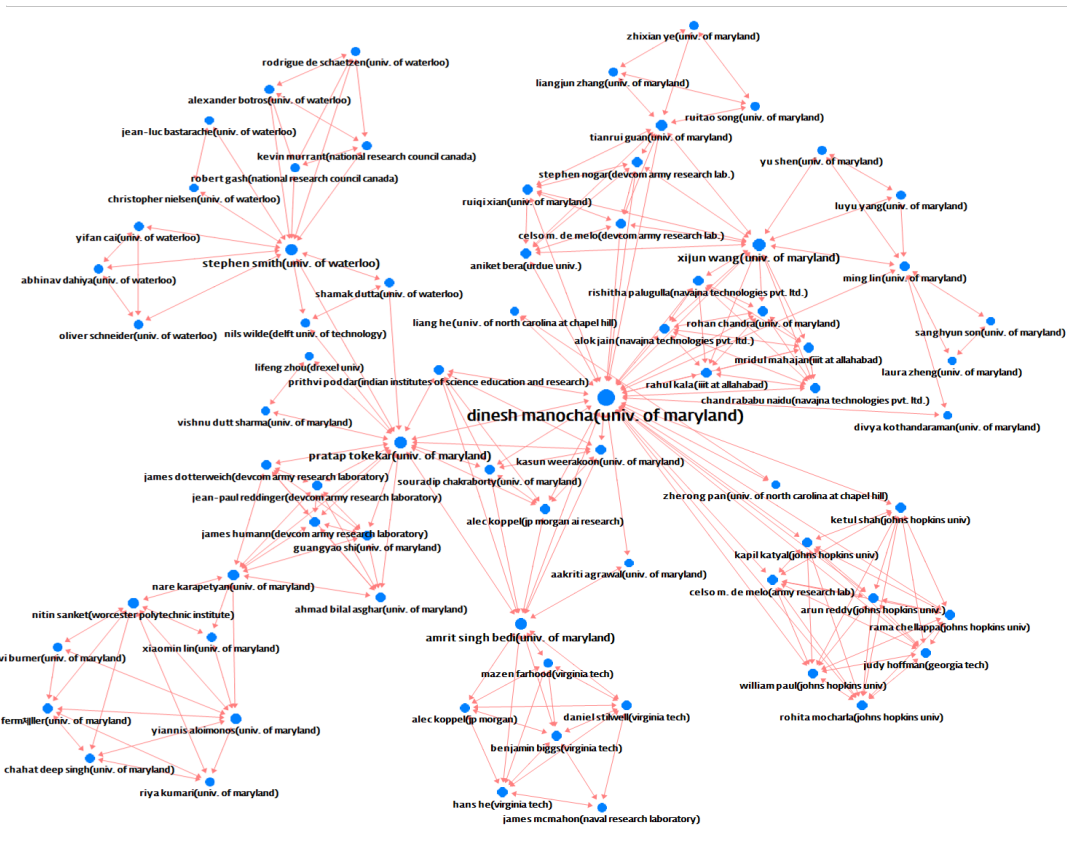


Figure 12. Univ. of Maryland, Univ. of Waterloo, Johns Hopkins Univ. 연결그룹

Figure 12 에서 보이는 연구 그룹은 Univ. of Maryland 를 주축으로 Univ. of Waterloo 와 Johns Hopkins Univ. 등의 연구자들이 연결된 그룹입니다. 이 그룹에는 Dinesh Manocha(Univ. of Maryland)가 중심 연구자로 나타나며, 다른 그룹의 연구자들과 연결되어 있습니다.

Dinesh Manocha 는 컴퓨터 과학 및 전기 및 컴퓨터 공학 분야의 Paul Chrisman Iribe 석좌 교수로 활동하고 있으며, 그의 연구 관심 분야는 AI 및 로봇공학, 그래픽 시각화, VR AR, 그리고 고성능 및 과학 컴퓨팅입니다. 특히 자율주행 분야에 큰 관심을 가지고 있으며, 1992 년에 캘리포니아 대학교 버클리 캠퍼스에서 박사 학위를 받았습니다. 그는 인도 공과 대학에서 B. Tech 학위를 취득했으며, 현재는 다양한 연구 시설과 분야에서 활동하고 있습니다. 그의 연구는 컴퓨터 그래픽스, 로봇공학, GPU 컴퓨팅 등에 기여하고 있으며, ACM SIGGRAPH MIG Conference 의 Best Paper Award, Verisk AI Faculty Research Award, Amazon Research Award 등 다수의 교육 및 연구 분야에서 인정받고 있습니다

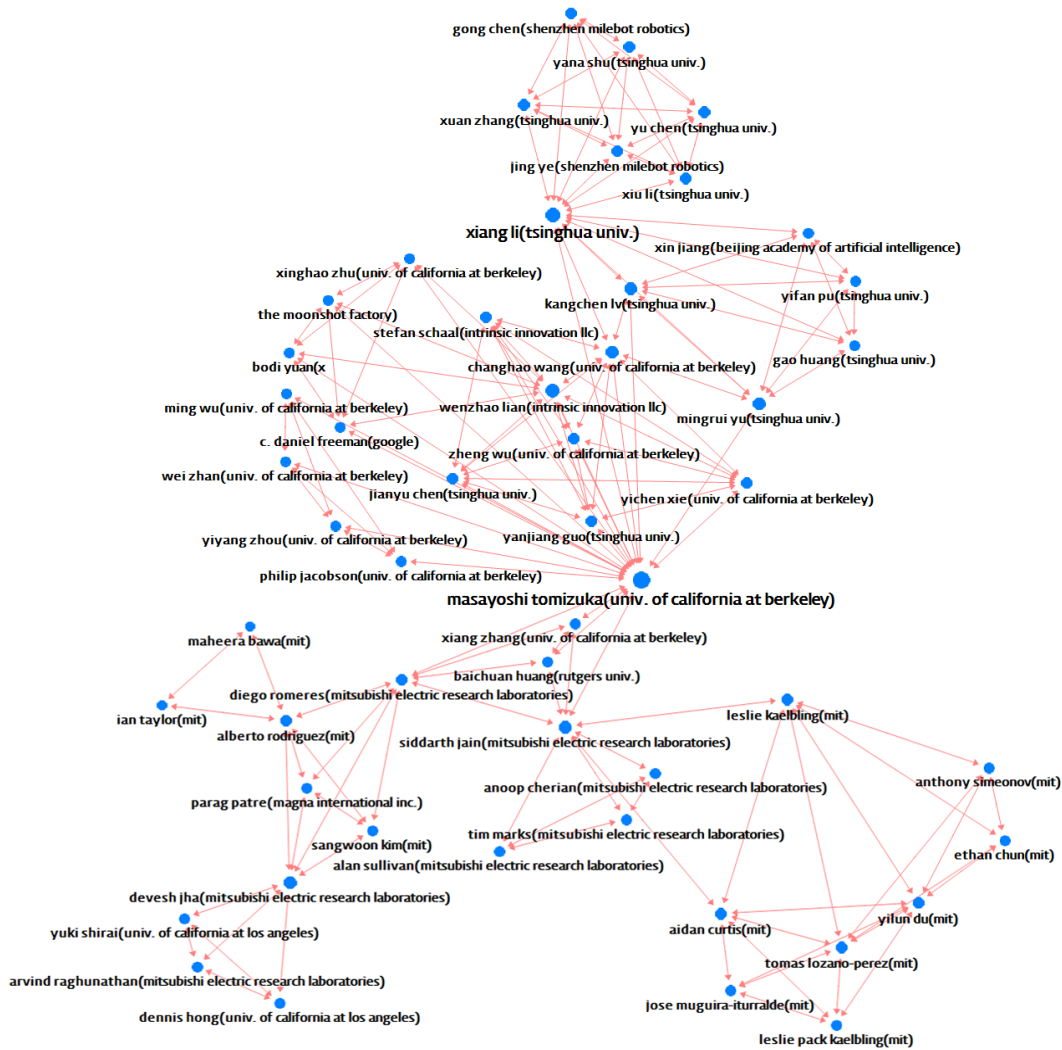


Figure 13. Univ. of California at Berkeley, Nanjing Univ., MIT, Mitsubishi Electric Research Lab. 연결 그룹

Figure 13 에서 보이는 연구 그룹은 Univ. of California at Berkeley, Nanjing Univ., MIT, Mitsubishi Electric Research Lab. 등의 연구자들이 연결된 그룹입니다. 이 그룹에서는 Masayoshi Tomizuka(Univ. of California at Berkeley)가 가장 비중이 높은 중심 연구자로 나타나며, Xiang Li(Nanjing Univ.)의 그룹과 연결되어 있습니다.

Masayoshi Tomizuka 는 Univ. of California at Berkeley 의 기계공학과 제어 이론 교수로 활동 중이며, 2022년에는 미국 공학 아카데미 회원으로 선출되었습니다. 또한 Cheryl and John Neerhout Jr. 석좌 교수의 지위를 맡고 있으며, 최적 및 적응 제어, 디지털 제어, 모션 제어, 로봇 공학, 제조 및 다양한 기술 분야에 대한 연구를 수행하고 있으며, 다수의 학술상과 포상을 수상한 경력을 가지고 있습니다.

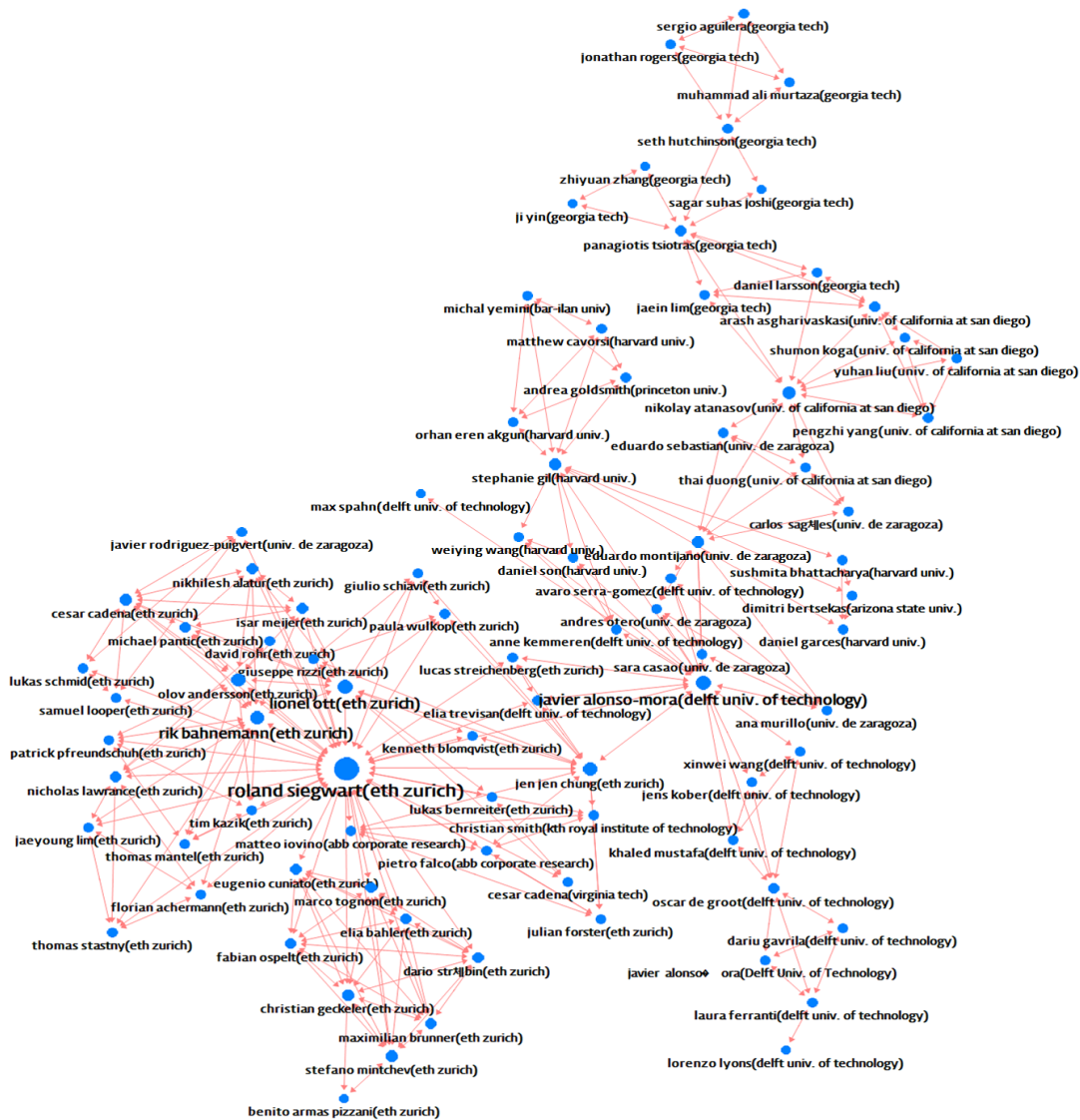


Figure 14. ETH Zurich, Georgia Tech, Univ. of California at San Diego, Harvard Univ., Delft Univ. of Technology 연결 그룹

Figure 14에서 보이는 연구 그룹은 ETH Zurich, Georgia Tech, Univ. of California at San Diego, Harvard Univ., Delft Univ. of Technology 등의 연구자들이 연결된 그룹입니다. 이 그룹에서는 이전 해에도 여러 차례 언급된 Roland Siegwart(ETH Zurich)가 중심 연구자로 나타나며, ETH Zurich의 연구 그룹을 주도하고 있습니다.

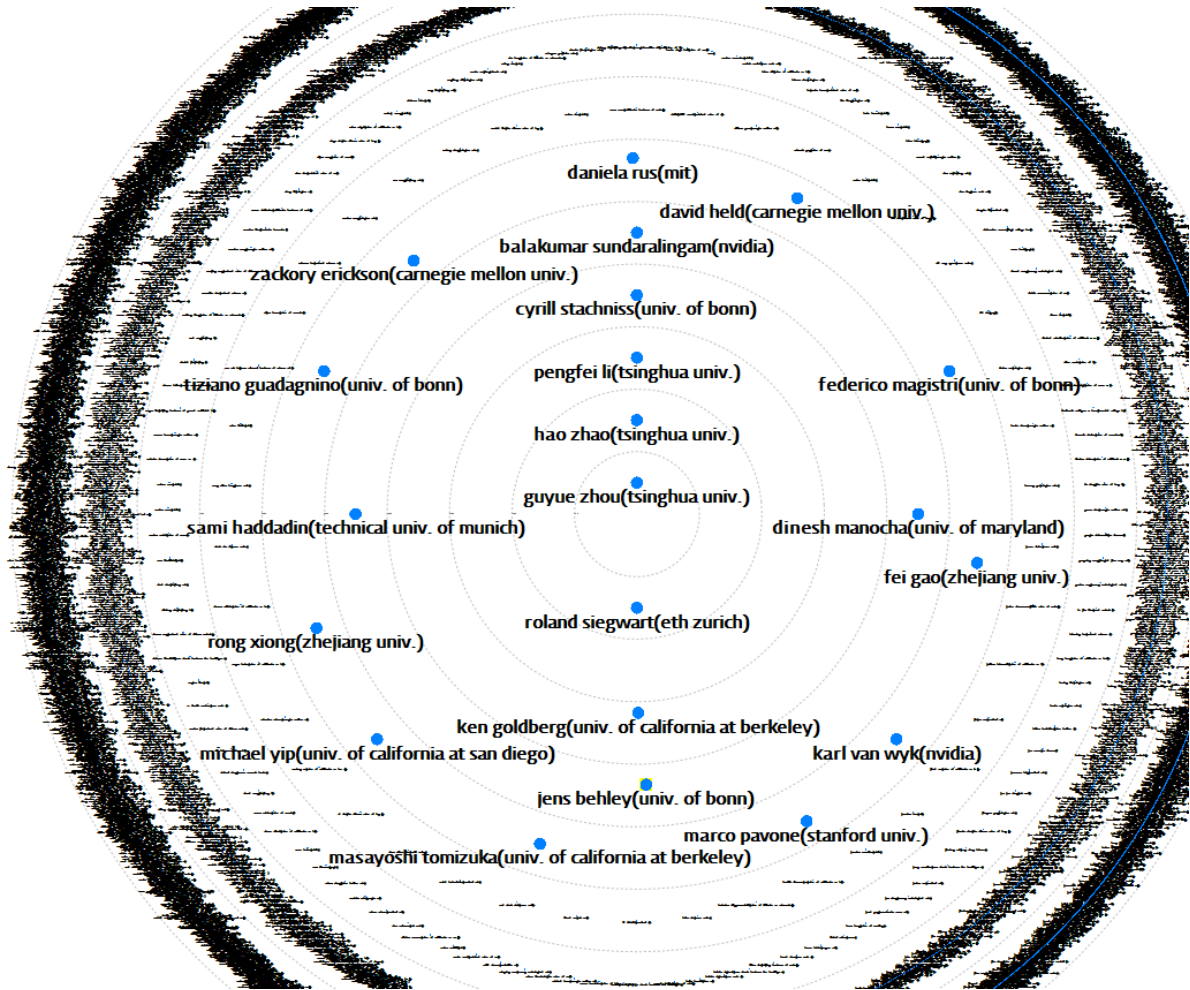


Figure 15. ICRA 2023 공저자 Degree Centrality

Degree Centrality 는 공저 논문의 수뿐만 아니라 연결된 공저자 수에 따라 위치를 결정합니다. ICRA 2023 에서는 Figure 15 와 같이 Guyue Zhou(Tsinghua Univ.)가 가장 중심에 위치하고 있으며, 두 번째로 Roland Siegwart(ETH Zurich)와 Hao Zhao(Tsinghua Univ.)가 나타납니다. 비록 Roland Siegwart(ETH Zurich)가 공저 논문 수가 11 편으로 가장 많지만, 연결된 공저자 수를 고려하면 Guyue Zhou(Tsinghua Univ.)가 더 중심에 위치하게 됩니다.

Guyue Zhou(Tsinghua Univ.) 박사는 현재 중국의 Tsinghua University 에서 연구 조교수로 활동하고 있으며, Air DISCOVER Lab.을 이끌고 있습니다. 또한 로보마스터 대학 챔피언십의 학술 컨설턴트이자 IET Smart Cities 의 부편집장 역시 맡고 있습니다. 그는 홍콩과학기술대학(HKUST)에서 박사 학위를 받았으며, DJI(Dajiang Innovation)의 핵심 구성원으로 활동한 경력이 있습니다. Guyue Zhou 의 연구와 기술 기여로 인해 80 여 개의 특허를 획득하였으며, 2019 년 광동 과학기술 발전상 대상을 수상하였습니다. 그는 또한 지능형 로봇 제품 개발과 제조 분야에서 중요한 역할을 하였으며, "Spark"라는 손바닥 크기의 드론 제품은 혁신적인 디자인으로 국제적으로 주목받았습니다.

Table 2. ICRA 2023 공저 논문 수 순위 (6 편 이상)

NO	소속	공저 논문수
1	Roland Siegwart (ETH Zurich)	11
2	Guyue Zhou (Tsinghua univ.)	9
	Marco Pavone (Stanford univ.)	9
3	Volkan Isler (Samsung AI Center New York)	8
	Cyrill Stachniss (Univ. of Bonn)	8
	Vijay Kumar (Univ. of Pennsylvania)	8
	Aaron Ames (California Institute of Technology)	8
4	Fei Gao (Zhejiang Univ.)	7
	Hao Zhao (Tsinghua Univ.)	7
	Dinesh Manocha (Univ. of Maryland)	7
	Daniela Rus (MIT)	7
5	Michael Yip (Univ. of California at San Diego)	6
	H. Jin Kim (Seoul National Univ.)	6
	Rong Xiong (Zhejiang Univ.)	6
	Sami Haddadin (Technical Univ. of Munich)	6
	Pengfei Li (Tsinghua Univ.)	6

위의 Table 2 는 주요 연구자들의 공저 논문 수를 보여주고 있습니다. 6 편 이상의 논문에 공저자로 참여한 연구자는 전체 16 명으로 나타나며, Roland Siegwart(ETH Zurich)가 11 편, Guyue Zhou(Tsinghua Univ.)와 Marco Pavone(Stanford Univ.)가 각각 9 편의 논문을 공저한 것으로 나타났습니다. 한국에서는 H. Jin Kim(Seoul National Univ.)도 6 편의 논문의 공저자로 참여하였습니다.

3. 한국 기관 소속 연구자 네트워크 분석

이번 ICRA 2023 에서 한국은 14 개의 대학과 2 개의 기관에서 총 58 편의 논문을 발표하였습니다. Table 3 에 따르면, KAIST 가 19 편, Seoul National Univ.가 17 편, DGIST 가 4 편, POSTECH 와 UNIST 가 각각 3 편, 그리고 Korea Univ.에서 2 편의 논문을 발표하였습니다. 이외에도 Ajou Univ., Chung-Ang Univ., Hanyang Univ., Inha Univ., Konkuk Univ., Kyung Hee Univ., NAVER LABS, Pusan National Univ., Samsung Electronics, Sungkyunkwan Univ.에서 각각 1 편의 논문을 발표하였습니다.

Table 3. ICRA 2022 한국 기관의 논문 발표 수

NO	한국 기관	발표 논문수
1	KAIST	19
2	Seoul National Univ.	17
3	DGIST	4
4	POSTECH	3
	UNIST	3
5	Korea Univ.	2
6	Ajou Univ.	1
	Chung-Ang Univ.	1
	Hanyang Univ.	1
	Inha Univ.	1
	Konkuk Univ.	1
	Kyung Hee Univ.	1
	NAVER LABS	1
	Pusan National Univ.	1
	Samsung Electronics	1
	Sungkyunkwan Univ.	1
총합계		58

한국 기관의 논문만 별도로 추출하여 연결한 연구 그룹들은 Figure 16 과 같습니다.



Figure 16. ICRA 2023 한국인 공저자 네트워크 (Spring Layout.)

한국의 대부분 연구 그룹은 독립적으로 논문을 작성하는 것으로 보이지만, Figure 18 에 나타난 한국의 연구 그룹은 KAIST의 연구진과 함께 DLR, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Technische Univ. Wien, Intelligent Space Robotics Lab 등의 다양한 국제 기관과 연결되어 있음을 확인할 수 있습니다. 이 그룹의 중심에는 Minjun Kim(KAIST)이 있습니다. Minjun Kim은 2016년부터 2020년까지 독일 DLR에서 헬리콥터 기반의 공중 로봇 연구를 수행한 뒤, 2020년에 KAIST에서 조교수로 임용되었습니다. 그는 이 분야의 신진 연구자로서 메릭에 소개되기도 했습니다.

(https://www.materic.or.kr/v2/mp/content.asp?f_id=63&page=8&listType=20)

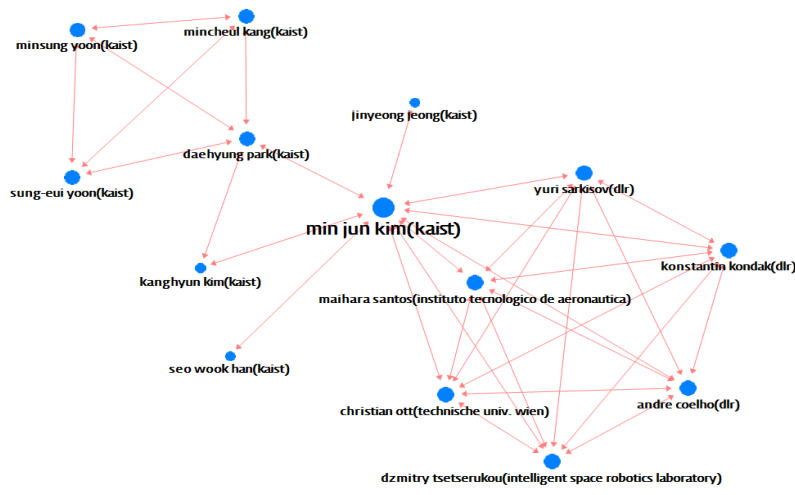


Figure 17. KAIST 와 DLR 연결 그룹(한국인)

아래 Figure 18 과 Figure 19 에서 서울대 연구자들이 연결된 그룹을 확인할 수 있으며, Figure 18 의 그룹의 중심에는 H. Jin Kim(Seoul National Univ.) 교수가 위치하고 있습니다. 김현진 교수는 1995 년에 한국과학기술원(KAIST)에서 학사 학위를 취득한 뒤, 캘리포니아 버클리 캠퍼스(UC Berkeley)에서 기계공학 박사 학위를 받았습니다. 2002 년부터 2004 년까지 그녀는 UC Berkeley 에서 전기 공학 및 컴퓨터 과학 분야의 박사 후 연구원으로 근무한 경력이 있습니다. 그녀는 2004 년에 서울대학교 기계항공공학과 조교수로 임용되어 현재까지 교수(학과장)로 재직 중이며, 김현진 교수님은 로봇 시스템의 지능형 제어 및 동작 계획 분야에 대한 연구를 주도하며 Lab for Autonomous Robotics Research 를 운영하고 있습니다.

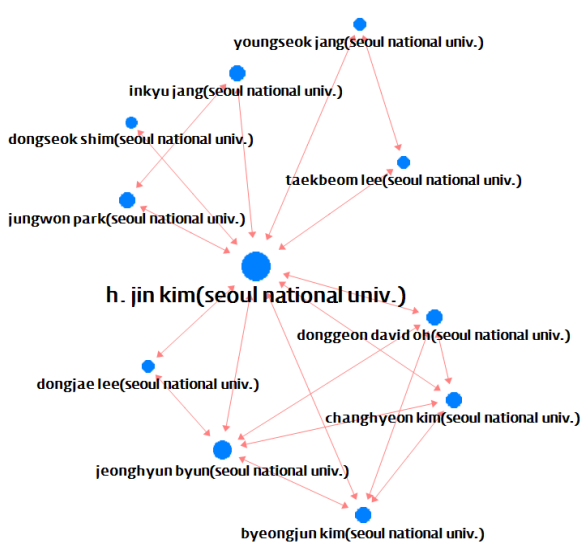


Figure 18. Seoul National Univ. 그룹1

Figure 19의 오송희(Songhwai Oh) 교수는 1995년에 전기 공학 및 컴퓨터 과학 학사 학위를 졸업한 후, 2003년과 2006년에 캘리포니아 대학 버클리 캠퍼스(University of California at Berkeley)에서 석사와 박사 학위를 받았습니다. 현재는 서울대학교 전기 및 컴퓨터 공학부 교수로 재직 중이며, 이전에는 Synopsys, Inc.와 인텔 코퍼레이션에서 소프트웨어 엔지니어와 마이크로프로세서 디자인 엔지니어로 일한 경력이 있습니다. 또한 그는 IEEE Transactions on Robotics 및 IEEE Robotics and Automation Letters의 편집위원으로 활동하였습니다.

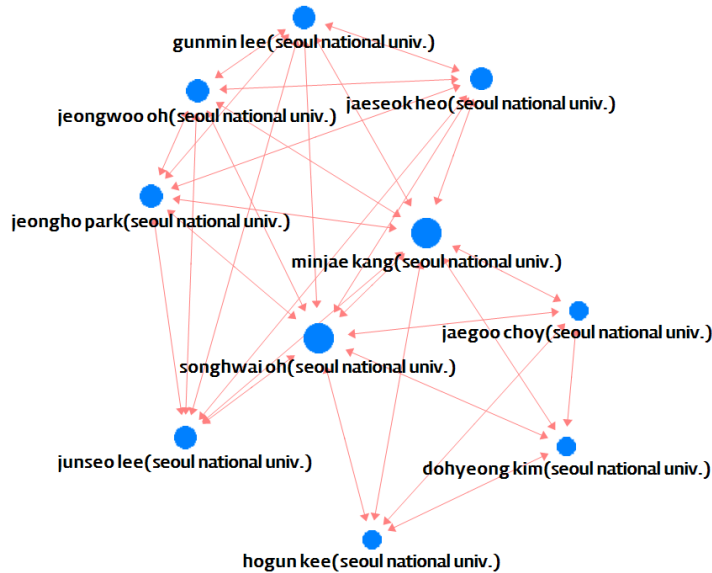


Figure 19. Seoul National Univ. 그룹2

한국 기관 소속의 연구자 외에도 외국 기관 소속의 한국인 연구자들의 논문도 많이 발표되었습니다. Table 4는 한국인으로 추정되는 외국 기관 소속의 연구자 명단입니다.

Table 4. ICRA 2022 외국기관 소속의 한국인 연구자

NO	저자	소속	비고
1	James Ju Heon Lee	Univ. of Technology Sydney	제1저자
2	Kyungmin Jung	McGill Univ.	제1저자
3	Jehyeok Kim	Univ. Laval	제1저자
4	Woo-Jeong Baek	Karlsruhe Institute of Technology	제1저자
5	Jongmin Yu	King's College London	제1저자
6	Jaehyun Shim	Univ. of Edinburgh	제1저자
7	Ye-Ji Mun	Univ. of Illinois at Urbana-Champaign	제1저자
8	Won Kyung Do	Stanford Univ.	제1저자
9	Uksang Yoo	Carnegie Mellon Univ.	제1저자

10	Se Hwan Jeon	MIT	제1저자
11	Sangwoon Kim	MIT	제1저자
12	Mingyo Seo	Univ. of Texas at Austin	제1저자
13	Jungseok Hong	Samsung AI Center New York	제1저자
14	Jin-Soo Park	Univ. of Texas at Austin	제1저자
15	Jee-eun Lee	Univ. of Texas at Austin	제1저자
16	Jaemin Lee	California Institute of Technology	제1저자
17	Hyungjoo Seo	Univ. of Illinois at Urbana-Champaign	제1저자
18	Chung Hee Kim	Carnegie Mellon Univ.	제1저자
19	Woosik Lee	Univ. of Delaware	공저자
20	Sung-Kyun Kim	NASA JPL	공저자
21	Suhan Kim	MIT	공저자
22	Soon-Jo Chung	California Institute of Technology	공저자
23	Seongkook Heo	Univ. of Virginia	공저자
24	Sangyoung Park	Technische Univ. Berlin	공저자
25	Sangwoo Moon	NASA JPL	공저자
26	Sangjae Bae	Honda Research Institute USA	공저자
27	Sanghyun Son	Univ. of Maryland	공저자
28	Sangbae Kim	MIT	공저자
29	Moonyoung Lee	Carnegie Mellon Univ.	공저자
30	Ki Myung Brian Lee	Univ. of Technology Sydney	공저자
31	Jung Hoon Lee	Univ. of Melbourne	공저자
32	Joonho Lee	ETH Zurich	공저자
33	Jong Jin Park	Amazon Lab126	공저자
34	Jijoong Kim	Defence Science and Technology Group	공저자
35	Jean Oh	Carnegie Mellon Univ.	공저자
36	In-Won Park	NASA Ames Research Center	공저자
37	Hongmin Kim	MIT	공저자
38	Heeseok Lee	NVIDIA	공저자
39	Dongsik Chang	Oregon State Univ.	공저자
40	Dongmyeong Lee	Cornell Univ.	공저자
41	Donggun Lee	MIT	공저자
42	Daewon Lee	Samsung AI Center New York	공저자
43	Chanyeol Yoo	Univ. of Technology Sydney	공저자

4. 기관-키워드 분석 (2MODE)

기관과 키워드의 연관성 분석은 어느 기관에서 어떤 분야를 연구하는지에 대한 객관적인 자료가 될 수 있습니다. 논문 제 1 저자의 기관과 해당 논문에 대한 키워드를 정리하여 기관과 키워드 간의 관계를 분석한 결과를 Figure 20 에 나타내었습니다.

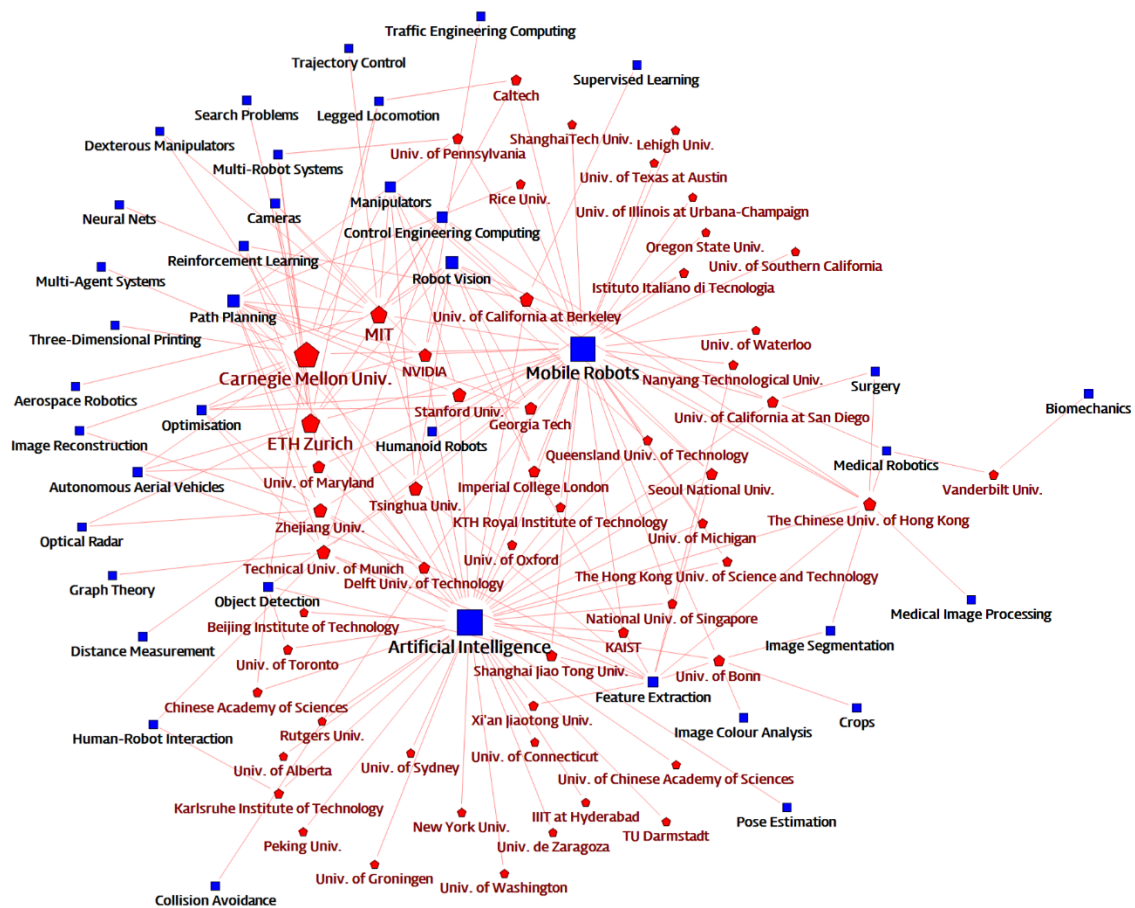


Figure 20. ICRA 2023 기관-키워드 네트워크 (2-Mode 분석, Link Reduction 3)

Figure 20 을 살펴보면, 주요 기관으로는 Carnegie Mellon Univ., MIT, ETH Zurich, Georgia Tech, Stanford Univ., NVIDIA, Univ. of Maryland, Zhejiang Univ., Technical Univ. of Munich 등이 있으며, 키워드로는 Mobile Robots, Artificial Intelligence, Path Planning, Robot Vision, Feature Extraction, Manipulators, Control Engineering Computing, Object Detection, Reinforcement Learning, Cameras, Optimisation 등이 있습니다. 이를 좀 더 자세히 보기 위해 빈도 5 이하를 삭제한 결과는 Figure 21 과 같습니다.

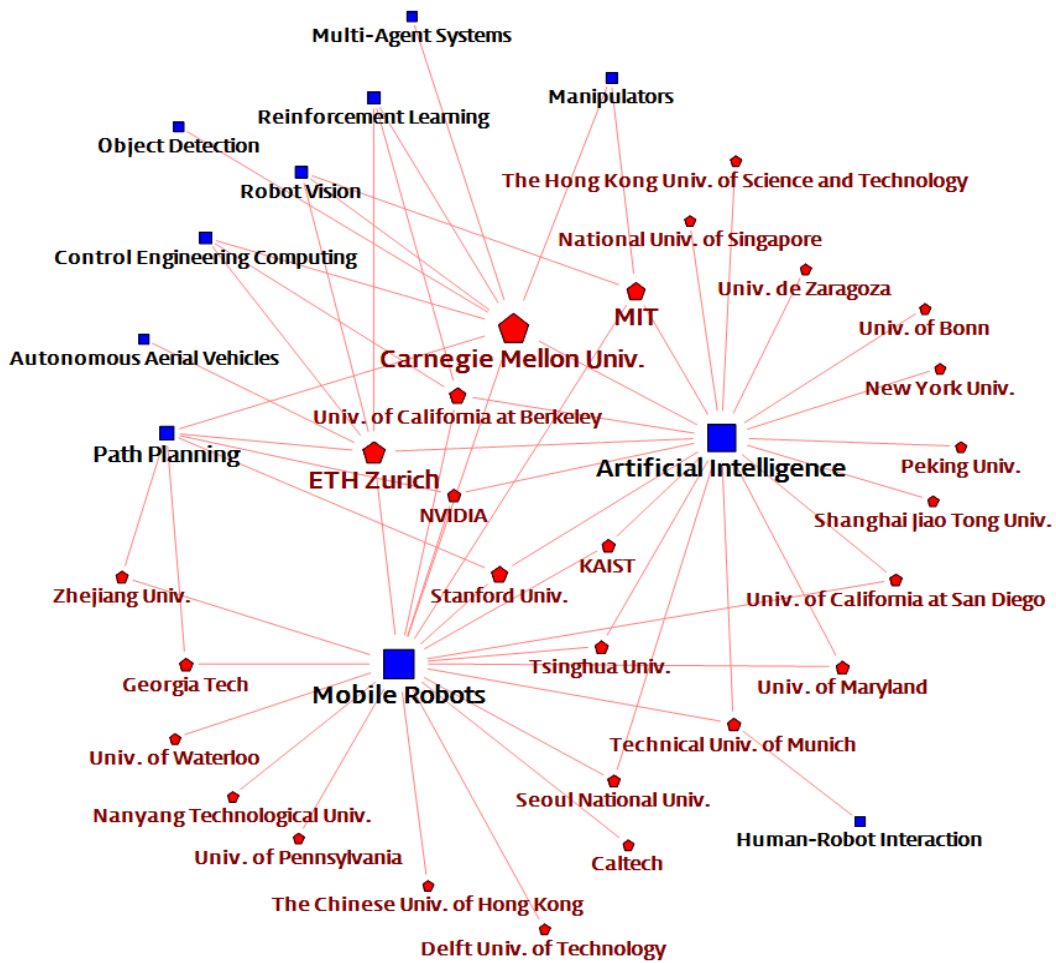


Figure 21. ICRA 2023 기관-키워드 네트워크 (2-Mode 분석, Link Reduction 5)

이를 통해 여러 기관에서 Mobile Robots와 AI 연구가 활발하게 진행되고 있으며, Carnegie Mellon, ETH Zurich, MIT가 다양한 분야에서 연구를 수행하고 있음을 확인할 수 있습니다. 특히 Carnegie Mellon 대학에서는 Mobile Robots, Artificial Intelligence, Path Planning, Autonomous Aerial Vehicles, Control Engineering Computing, Robot Vision, Object Detection, Reinforcement Learning, Multi-agent Systems, 그리고 Manipulators와 관련된 논문들이 주로 발표되었습니다. 이와 같이, 각 기관에서 중점적으로 다루는 주제(키워드)들을 Table 5와 같이 요약하였습니다.

Table 5. 주요 연구기관의 키워드

연구기관	키워드
Carnegie Mellon Univ.	Mobile Robots, Artificial Intelligence, Path Planning, Autonomous Aerial Vehicles, Control Engineering Computing, Robot Vision, Object Detection, Reinforcement Learning, Multi-agent Systems, Manipulators
ETH Zurich	Mobile Robots, Artificial Intelligence, Path Planning, Autonomous Aerial Vehicles, Control Engineering Computing, Robot Vision, Reinforcement

	Learning
MIT	Mobile Robots, Artificial Intelligence, Robot Vision, Manipulators
Univ. of California at Berkeley	Mobile Robots, Artificial Intelligence, Control Engineering Computing, Reinforcement Learning
Stanford Univ.	Mobile Robots, Artificial Intelligence, Path Planning
Technical Univ. of Munich	Mobile Robots, Artificial Intelligence, Path Planning, Human-Robot Interaction

V. 결론

ICRA 2023에서 미국이 518편의 논문을 발표하여 가장 많은 논문을 발표한 것으로 나타났습니다. 미국을 이어 중국(230편), 독일(96편), 영국(67편), 한국(62편), 캐나다(46편), 스위스(44편), 프랑스(34편), 일본(32편), 이탈리아(31편), 호주(28편)가 논문 발표 순위에서 나타났습니다. 한국은 특히 작년에 비해 2배 이상의 논문을 발표한 것으로 나타나며, 일본을 제치고 5위로 올라가는 등 한국의 로봇공학 및 자동화 연구의 성장을 보여주는 중요한 정보입니다.

상위 기관 중에서는 Carnegie Mellon Univ.(57편), MIT(31편), ETH Zurich(31편), Tsinghua Univ.(23편), Univ. of California at Berkeley(23편), Stanford Univ.(22편), Georgia Tech.(20편)이 논문을 가장 많이 발표한 것으로 나타났습니다. 한국에서는 KAIST(19편)와 Seoul National Univ.(17편)이 상위에 속하며, 다른 국내 기관들도 논문을 발표한 것으로 나타났습니다.

IEEE Keywords를 기반으로 한 분석 결과에 따르면, Mobile Robots를 중심으로 Artificial Intelligence, Path Planning, Robot Vision, Feature Extraction, Object Detection, Control Engineering Computing, 그리고 Cameras 등이 가장 빈도가 높은 키워드로 나타났습니다. 또한, Manipulators, Reinforcement Learning, Optimisation도 중요한 키워드로 나타났습니다.

공저자 네트워크 분석에서는 여러 연구자 그룹 중에서 The Chinese Univ. of Hong Kong, Carnegie Mellon Univ., Univ. of California at Berkeley, Stanford Univ., Google 등 5개 이상의 기관의 연구자들이 연결된 가장 큰 그룹이 나타났습니다. 이 그룹은 다양한 연구 주제와 협력을 통해 연구 분야를 선도하고 있는 것으로 보입니다. Degree Centrality 분석에서는 Guyue Zhou(Tsinghua Univ.)가 가장 중심에 위치하며, Roland Siegwart(ETH Zurich)와 Hao Zhao(Tsinghua Univ.)가 두 번째와 세 번째로 나타났습니다. Guyue Zhou(Tsinghua Univ.)은 연결된 공저자 수를 고려할 때 중심에 위치하게 되며, 연구 네트워크에서 중요한 역할을 하고 있는 것으로 보입니다.

마지막으로 기관과 키워드 분석을 통해 각 연구기관이 어떤 키워드의 연구를 주로 하는지 확인해

보았습니다. 각 연구기관의 특징을 강조하는 부분을 요약해보았습니다.

Carnegie Mellon Univ.은 로봇공학 및 자동화 분야에서 다른 연구기관과 구별되는 특징을 가지고 있습니다. 이 연구기관은 Multi-agent Systems 및 Manipulators와 같은 로봇 제어 및 협력 주제에 큰 관심을 두고 있으며, Object Detection 및 Reinforcement Learning과 같은 인식 및 학습 기술을 활용하여 로봇의 지능적인 동작을 연구하고 있습니다.

ETH Zurich는 무인 항공 기기 및 드론 분야에서 독특한 연구를 수행하는 것으로 알려져 있습니다. 특히 Autonomous Aerial Vehicles와 연관된 연구에 중점을 두며, 로봇 학습 분야에서 Reinforcement Learning과 같은 기술을 활용하여 로봇의 자율성을 향상시키고 있습니다.

MIT는 로봇 시각 분야 및 Manipulators 연구에 높은 전문성을 갖고 있습니다. 이 연구기관은 Mobile Robots와 Artificial Intelligence와 같은 다양한 연구 주제를 다루며, 로봇 기술을 혁신적으로 발전시키는 데 중점을 두고 있습니다.

Univ. of California at Berkeley는 로봇 제어 공학 및 컴퓨터 과학을 결합한 Control Engineering Computing 분야에서 주목받고 있습니다. 또한 Reinforcement Learning을 활용하여 로봇의 행동을 개선하는 연구를 주도하고 있습니다.

Stanford Univ.은 로봇의 경로 계획과 Mobile Robots를 중심으로 연구를 수행하는데 강점을 가지고 있습니다. 또한 Artificial Intelligence를 활용하여 다양한 로봇 응용 분야에서 혁신적인 연구를 진행하고 있습니다.