ICRA 2017 논문을 통해 본 로봇분야 연구동향

이석(부산대학교 기계공학부 교수), 공경철(서강대학교 기계공학과 교수), 정병규(기계·건설공학연구정보센터)

I. 들어가며

IROS 와 더불어 로봇 분야의 대표적인 학술대회인 ICRA(IEEE International Conference on Robotics and Automation)가 '혁신, 기업가 정신, 그리고 실제 세계의 해결방안(Innovation, Entrepreneurship, and Real-world Solutions)'을 주제로 올해 2017 년 5 월 29 일부터 6 월 3 일까지 6 일간 싱가포르 샌즈 엑스포 컨벤션센터에서 개최되었다.

올해 ICRA 2017 에는 도전적인 시도가 있었는데, 등록자 전원에게 6 인치 태블릿을 제공하여, 이를 통해 논문을 보는 것과 더불어 발표자가 참가자와 태블릿을 통해 실시간으로 소통하는 모습도 보여주었다. 또한, 전 세션이 인트렉티브하게 진행되어 보다 활발한 토론이 진행되었으며, 로봇 학술대회답게 발표에 동영상을 활용한 경우와 Open Source 의 공개가 매우 흔한 모습이 되었다.

Figure 1. ICRA 2017 홈페이지(http://www.ICRA2017.org/)

II. 분석대상자료 및 분석방법

자료 분석을 위해 ICRA 의 2017 년 학술대회 논문 총 789 편 논문에 대한 저자 및 소속, 키워드 등을 추출하여 정리하였다. 분석방법은 통계분석과 네트워크 분석을 사용하였는데 통계분석에서는 기관별 논문 발표순위, 국가별 논문 발표순위, 국가별 참여기관 수, 한국기관의 논문 발표순위를 분석하였고, 네트워크 분석에는 Net Miner 3.6 을 사용하여 키워드 분석, 연구자 분석, 기관-키워드 분석(2Mode)을 하였다.

III. 통계분석

1. ICRA 2017 국가별 논문 발표순위

ICRA 2017 에서는 총 32 개 국가에서 789 편의 논문이 발표되었으며, 국가별 논문 발표 순위를 살펴보면 아래 Figure 2 와 같이 미국이 293 편으로 가장 많은 논문을 발표하여 전체 논문 수의 37.1%를 차지하고 있다. 그 뒤로 독일이 77 편, 중국이 56 편, 일본이 43 편, 스위스가 42 편, 영국이 38 편, 이탈리아가 34 편, 한국이 32 편, 호주가 30 편의 논문을 발표하였다.

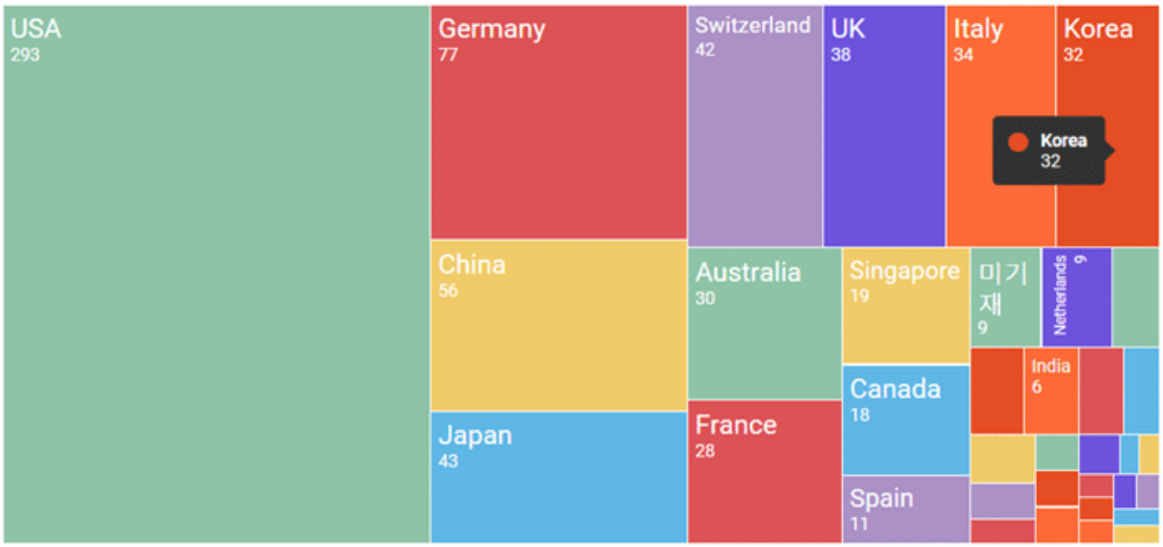

Figure 2. ICRA 국가별 논문 발표수 순위 (2017년)

Figure 2. ICRA 국가별 논문 발표수 순위 (2017년)

NO	국가명	논문수		NO	국가명	논문수
1	USA	293		18	Portugal	5
2	Germany	77		19	Greece	4
3	China	56		20	Israel	4
4	Japan	43		21	Austria	3
5	Switzerland	42		22	Brazil	2
6	UK	38		23	Finland	2
7	Italy	34		24	Iran	2
8	Korea	32		25	Slovenia	2
9	Australia	30		26	Turkey	2
10	France	28		27	Belgium	1
11	Singapore	19		28	Czech	1
12	Canada	18		29	Kazakhstan	1
13	Spain	11		30	Poland	1
14	Netherlands	9		31	Saudi Arabia	1
15	India	6		32	Sri Lanka	1
16	Sweden	6		33	미기재	9
17	Taiwan	6			**32 개국**	**789 편**

2. ICRA 2017 기관별 논문 발표순위

기관별 발표 논문 수는 Table 2 와 같이 스위스 취리히 연방 공대(ETH Zurich)와 미국의 MIT 가 따로따로 가장 많은 수인 34 편의 논문을 발표했으며, Carnegie Mellon Univ. 이 30 편의 논문을 발표하였고, Georgia Inst. of Technol. 가 17 편의 논문을 발표하였으며, Stanford Univ. 와 Tech. Univ. of Munich 가 각각 14 편의 논문을 발표하였다. 그다음으로 CNRS 는 13 편, Imperial College 는 12 편, Univ. of California at Berkeley 는 12 편, Italian Inst. of Technol.은 11 편, Univ. of Pennsylvania 는 11 편, Univ. of Michigan 은 10 편의 논문을 발표하였다.

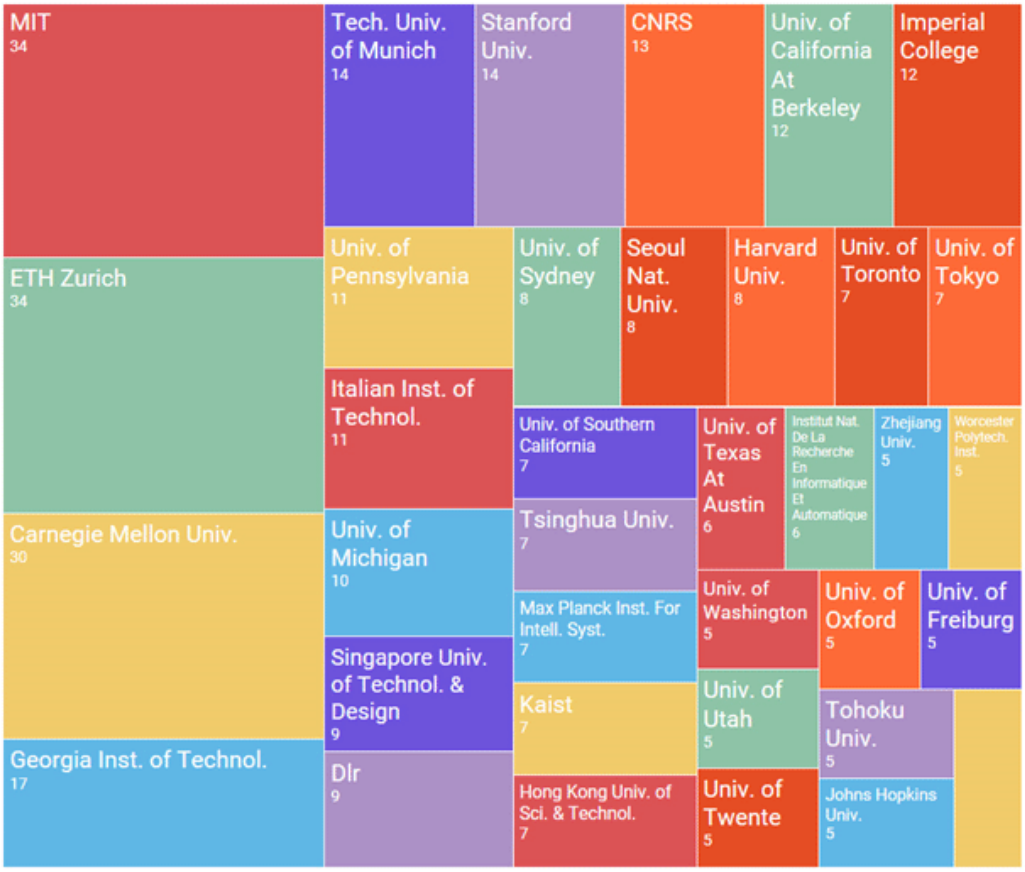

Figure 3. ICRA 2017 기관별 논문 발표수 순위

Table 2. ICRA 2017기관별 논문발표 수(3편 이상)

NO	소속명	논문수
1	ETH Zurich	34
	MIT	34
2	Carnegie Mellon Univ.	30
3	Georgia Inst. of Technol.	17
4	Stanford Univ.	14
	Tech. Univ. of Munich	14
5	CNRS	13
6	Imperial College	12
	Univ. of California at Berkeley	12
7	Italian Inst. of Technol.	11
	Univ. of Pennsylvania	11
8	Univ. of Michigan	10
9	DLR	9
	Singapore Univ. of Technol. & Design	9
10	Harvard Univ.	8
	Seoul Nat. Univ.	8
	Univ. of Sydney	8
11	Hong Kong Univ. of Sci. & Technol.	7
	Kaist	7
	Max Planck Inst. For Intell. Syst.	7
	Tsinghua Univ.	7
	Univ. of Southern California	7
	Univ. of Tokyo	7
	Univ. of Toronto	7
12	Institut Nat. De La Recherche En Informatique et Automatique	6
	Univ. of Texas at Austin	6
13	California Inst. of Technol.	5
	Johns Hopkins Univ.	5
	Tohoku Univ.	5
	Univ. of Freiburg	5
	Univ. of Oxford	5
	Univ. of Twente	5
	Univ. of Utah	5
	Univ. of Washington	5
	Worcester Polytech. Inst.	5
	Zhejiang Univ.	5

NO	소속명	논문수
14	Ecole Polytechnique Federale De Lausanne	4
	Iiit Hyderabad	4
	Monash Univ.	4
	Nanyang Technol. Univ.	4
	Nat. Tech. Univ. of Athens	4
	Osaka Univ.	4
	Purdue Univ.	4
	Sapienza Universita Di Roma	4
	Technion - Israel Inst. of Technol.	4
	Univ. of Adelaide	4
	Univ. of California at Los Angeles	4
	Univ. of Colorado-Boulder	4
	Univ. of Maryland at College Park	4
	Univ. of Minnesota	4
	Univ. of Stuttgart	4
	Univ. of Technol. Sydney	4
	Univ. of Zaragoza	4
	Yale Univ.	4
15	Arizona State Univ.	3
	Beijing Inst. of Technol.	3
	Brigham Young Univ.	3
	Chuo Univ.	3
	City Univ. of Hong Kong	3
	Colorado School Of Mines	3
	Kth Royal Inst. of Technol.	3
	Leibniz Univ. Hannover	3
	Nat. Cheng Kung Univ.	3
	Nat. Univ. of Singapore	3
	Politec. Di Milano	3
	Sogang Univ.	3
	Sorbonne Universites	3
	Univ. of Edinburgh	3
	Univ. of Malaga	3
	Univ. of Modena & Reggio Emilia	3
	Univ. of Nevada	3
	Univ. of North Carolina at Chapel Hill	3
	Univ. of Tubingen	3

IV. 네트워크 분석

1. 키워드 네트워크 분석

논문의 키워드를 분석하면 발표된 논문들이 어떠한 분야와 주제의 연구인지 확인할 수 있다. ICRA 2017 의 논문의 키워드를 분석하였다. 아래 그림 Figure 4 는 키워드 Spring layout 네트워크 시각화는 각 논문의 키워드를 분석하여 취합하고 한 논문에 같이 나열된 키워드들을 서로 연결하여 그림으로 나타낸 것으로, 아래 Figure 5 는 전체 키워드의 상관관계를 좀 더 보기 쉽게 Link Reduction 5 (빈도수 5 이하인 값을 삭제) 을 한 그림이다.

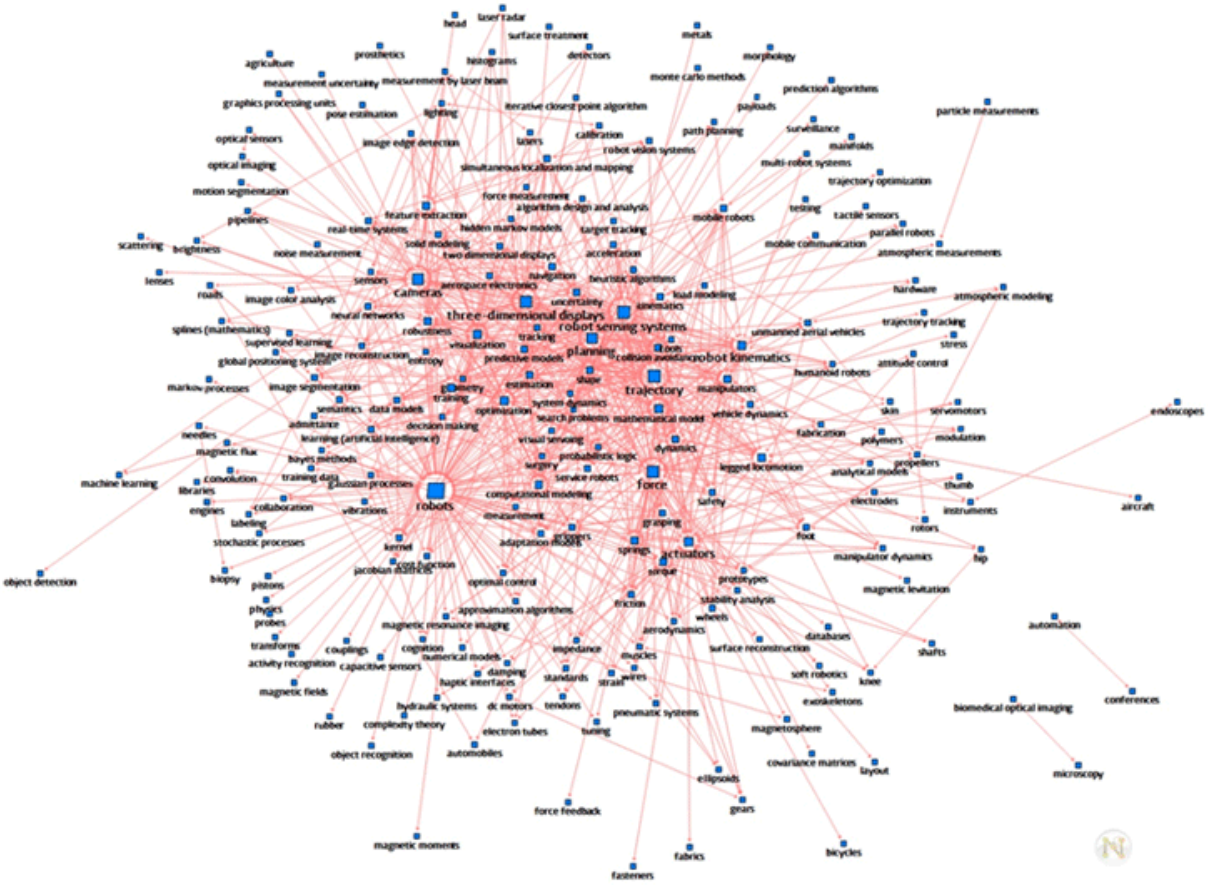

Figure 4. ICRA 2017 키워드 네트워크 시각화(Spring Layout, Link Reduction 1)

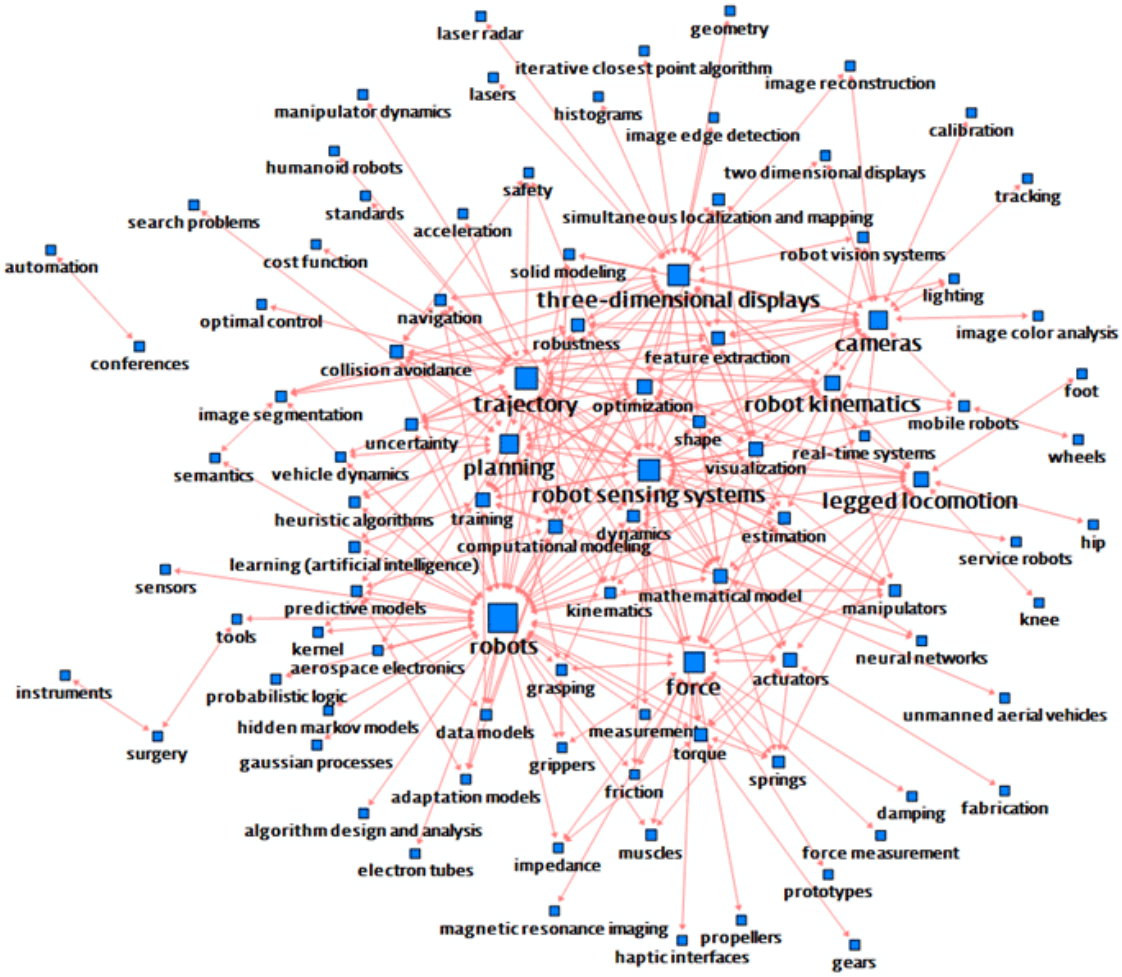

Figure 5. ICRA 2017 키워드 네트워크 시각화(Spring Layout, Link Reduction 5)

Figure 5 를 보면 예년과 다른 점은 Robot Sensing Systems, Trajectory, Force, Three-Dimensional Displays, Cameras 등이 중요 키워드로 나타난 것이다. 주로 ICRA 학회에서는 일반적으로 Mobile Robots 를 중심으로 Robot Vision, Path Planning, Motion Control 의 3 가지 키워드의 빈도수가 높게 나타나는 것과 달리, 2017 년에는 Mobile Robots 가 39 회만 나타났으며 Robot Vision, Path Planning, Motion Control 이 각각 28 회, 11 회, 1 회의 낮은 빈도를 기록하였다. 이러한 경향은 로봇 학계의 전반적인 흐름이 이론적 탐구에서 현실적 구현으로 전환되었기 때문으로 분석된다. 즉, 산업현장에서 직접 활용할 수 있는 로봇 기술이 집중적으로 연구되면서, 로봇 시스템을 구현하기 위한 요소 기술인 Robot Sensing Systems, Trajectory, Force 등에 대한 연구가 활발히 진행되었을 것으로 예상한다.

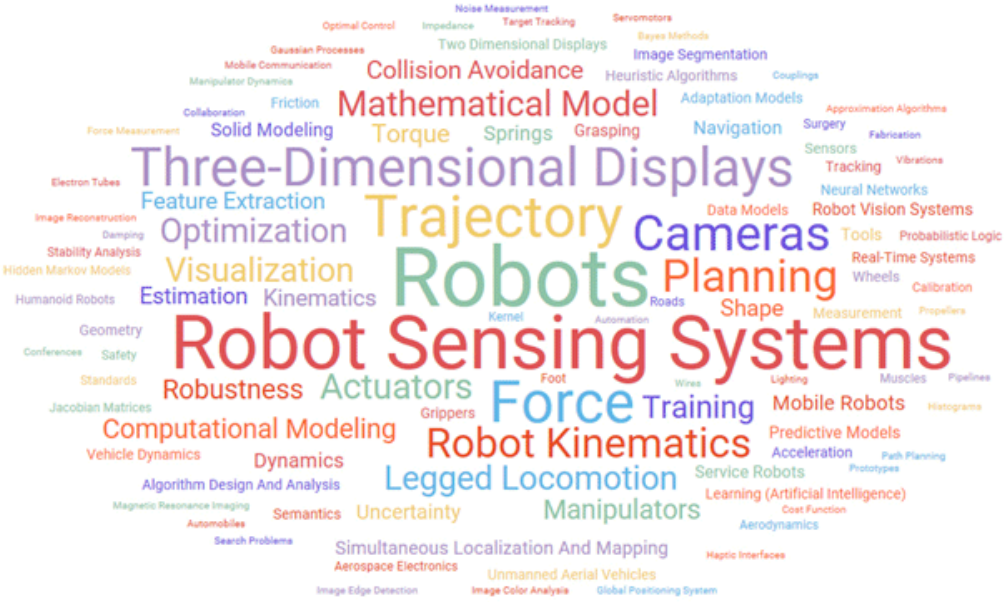

Figure 6. ICRA 키워드 태그클라우드(빈도수 10이상)

위의 Figure 6 은 키워드의 연결 관계와 상관없이 빈도수의 비중을 계산하여 태그클라우드(Tag cloud) 로 표현한 그림이다.

여기에 나타난 ICRA 의 논문의 총 키워드 수는 806 개이며, 가장 많이 사용된 빈도수 10 이상의 키워드를 Table 5 와 같이 정리하였다. 이를 살펴보면 Robots, Robot Sensing Systems, Trajectory, Force, Three-Dimensional Displays, Cameras 가 100 회 이상 나왔으며 Planning, Robot Kinematics, Actuators, Mathematical Model, Visualization, Legged Locomotion, Optimization, Training, Computational Modeling, Robustness 가 50 회 이상, Manipulators, Collision Avoidance, Torque, Feature Extraction, Kinematics, Estimation, Shape, Mobile Robots, Springs, Dynamics, Uncertainty, Navigation, Simultaneous Localization And Mapping, Solid Modeling 이 빈도수 30 회 이상 나타났다.

Table 3. ICRA 2017 논문에 나타난 키워드 빈도수(빈도수 20이상)

NO	Keyword	Frequency	NO	Keyword	Frequency
1	Robots	180	29	Simultaneous Localization And Mapping	32
2	Robot Sensing Systems	164	30	Solid Modeling	30
3	Trajectory	125	31	Predictive Models	28
4	Force	124	32	Robot Vision Systems	28
5	Three-Dimensional Displays	113	33	Service Robots	28
6	Cameras	106	34	Grasping	26
7	Planning	97	35	Tools	25
8	Robot Kinematics	84	36	Adaptation Models	24
9	Actuators	72	37	Heuristic Algorithms	24
10	Mathematical Model	69	38	Algorithm Design And Analysis	23
11	Visualization	68	39	Data Models	23
12	Legged Locomotion	66	40	Real-Time Systems	23
13	Optimization	66	41	Two Dimensional Displays	23
14	Training	59	42	Grippers	22
15	Computational Modeling	51	43	Measurement	22
16	Robustness	50	44	Neural Networks	22
17	Manipulators	49	45	Wheels	22
18	Collision Avoidance	47	46	Acceleration	21
19	Torque	46	47	Learning (Artificial Intelligence)	21
20	Feature Extraction	43	48	Semantics	21
21	Kinematics	43	49	Sensors	21
22	Estimation	42	50	Tracking	21
23	Shape	42	51	Unmanned Aerial Vehicles	21
24	Mobile Robots	39	52	Friction	20
25	Springs	39	53	Geometry	20
26	Dynamics	36	54	Image Segmentation	20
27	Uncertainty	35	55	Vehicle Dynamics	20
28	Navigation	34	55	Vehicle Dynamics	20

ICRA 2017 의 키워드들의 Degree Centrality 의 결과는 Figure 7 과 같다. 위의 결과들과 마찬가지로 Robots 을 중심으로 Robot Sensing Systems, Trajectory, Force, Three-Dimensional Displays, Cameras 등의 키워드가 중심에 가까이 나타났다.

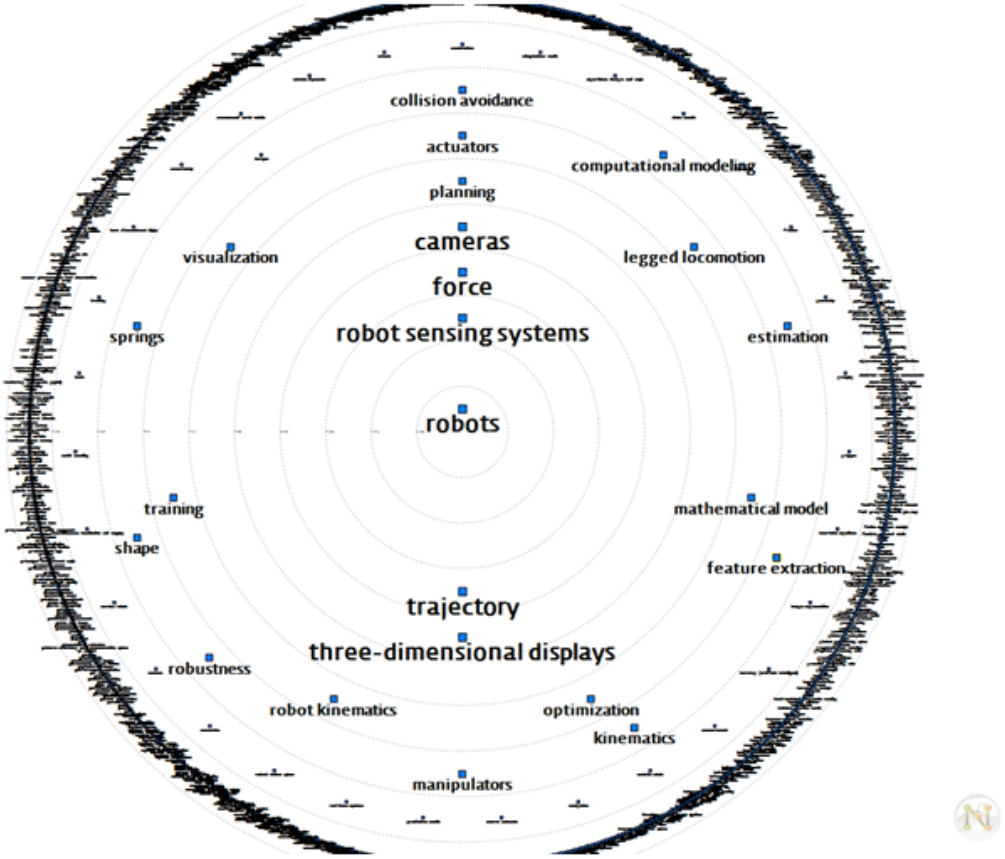

Figure 7. ICRA 2017 키워드 네트워크 시각화(Degree Centrality)

2. 연구자 네트워크 분석

키워드 분석과 마찬가지로 ICRA 2017 의 논문 공저자들의 상관관계를 넷 마이너를 사용하여 시각화(Spring layout)하였다. 아래 Figure 8 과 같이 많은 연구자 그룹이 형성되어 있는 것을 확인해 볼 수 있으며, 이중 오른쪽 아래는 개인이나 실험실 단위로 그룹을 이루고 있으며, 왼쪽 위로 갈수록 여러 기관 소속의 연구자들이 모인 그룹임을 알 수 있다.

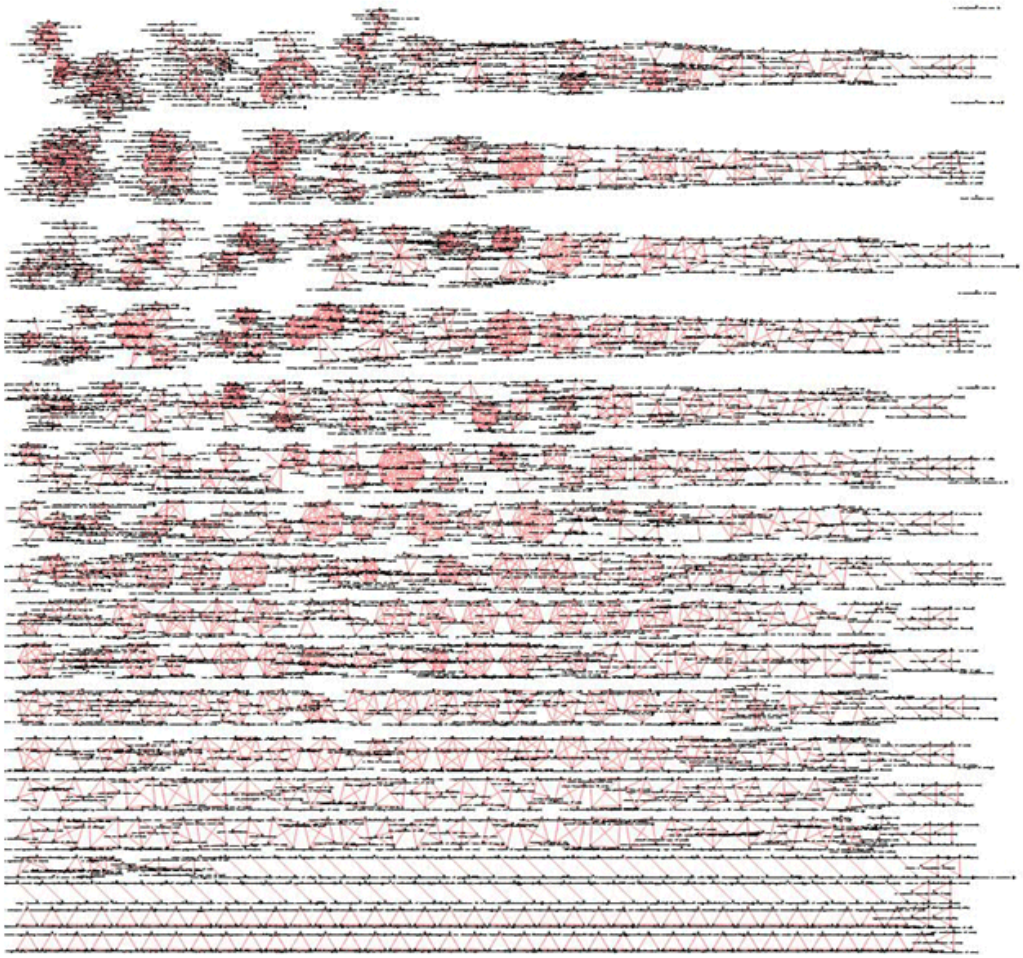

Figure 8. ICRA 2017 키워드 네트워크 시각화(Degree Centrality)

Figure 8 을 확대한 주요 연구 그룹은 아래 Figure 9~16 과 같다.

가장 큰 연구자 그룹은 MIT 연구자들로 연결된 그룹이며. 이 그룹에서는 Daniela Rub(MIT)이 중심연구자로 연결되어 있다. 이 그룹에는 미 펜실바니아대 신시아 성(Cynthia Sung) 교수를 비롯한 다수의 로봇 과학자들이 소속되어 있으며, '적층 셀프 폴딩(additive self-folding)'이라는 기술을 활용해 유연하고, 움직임을 제어할 수 있는 소프트 로봇 기술을 개발했다. 이 연구에는 Sehyuk Yim(KIST), Sangbae Kim(MIT) 등 한국인 연구자들이 참여하고 있다.

Daniela Rus 교수는 MIT 의 컴퓨터과학 및 인공지능 연구실(Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory)을 이끌고 있으며, 로보틱스 이외에도 빅데이터, 인공지능, 인터넷 보안 등에

활발한 연구를 진행하고 있다.(출처: https://www.csail.mit.edu/user/876)

신사아 성 (Cynthia Sung) 교수는 Daniela Rus 교수의 연구 그룹에 속해 있으며, 현재 Univ. of Pennsylvania 조교수로 근무 중이다.(출처: http://www.seas.upenn.edu/~crsung/)

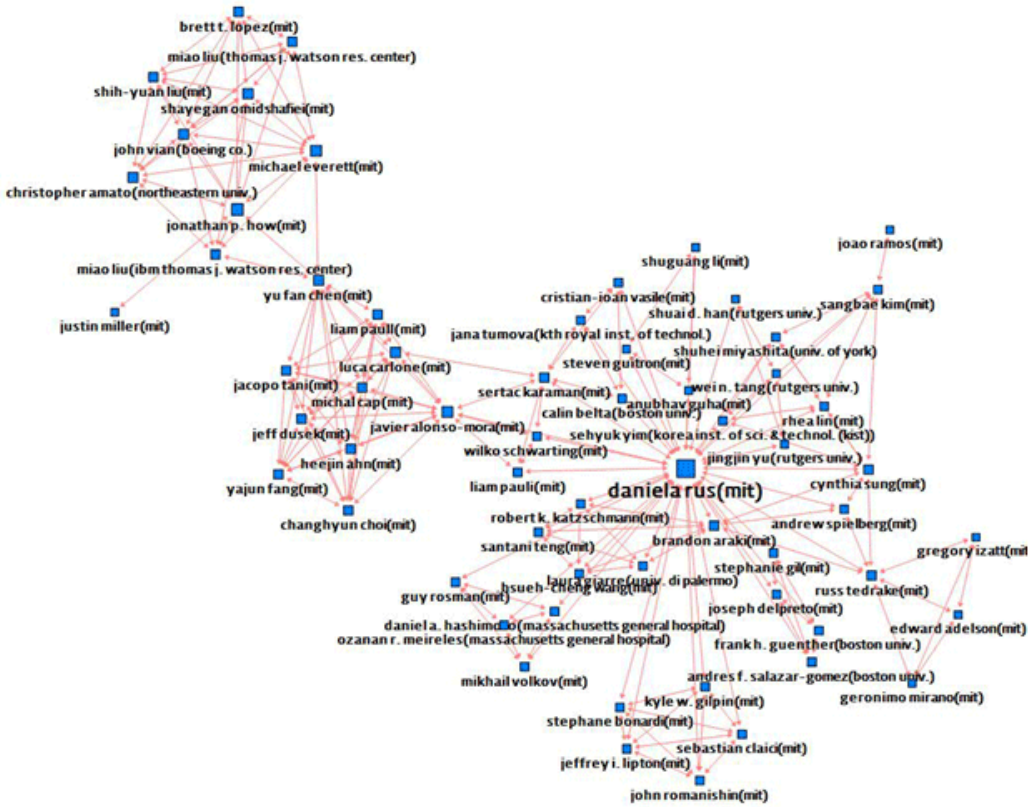

Figure 9. MIT 연결그룹

Figure 10 은 Singapore Univ. of Technol. & Design(SUTD)의 연결 그룹으로 일부 연구자가 Carnegie Mellon Univ.의 연구자와 연결되어 있다. 이 그룹은 특별한 중심 연구자 없이 비교적 대등한 관계로 연결되어 있음을 알 수 있다. 싱가포르는 이번 학술대회 개최지로 이전 연도보다 많은 19 편의 논문을 발표하였다.

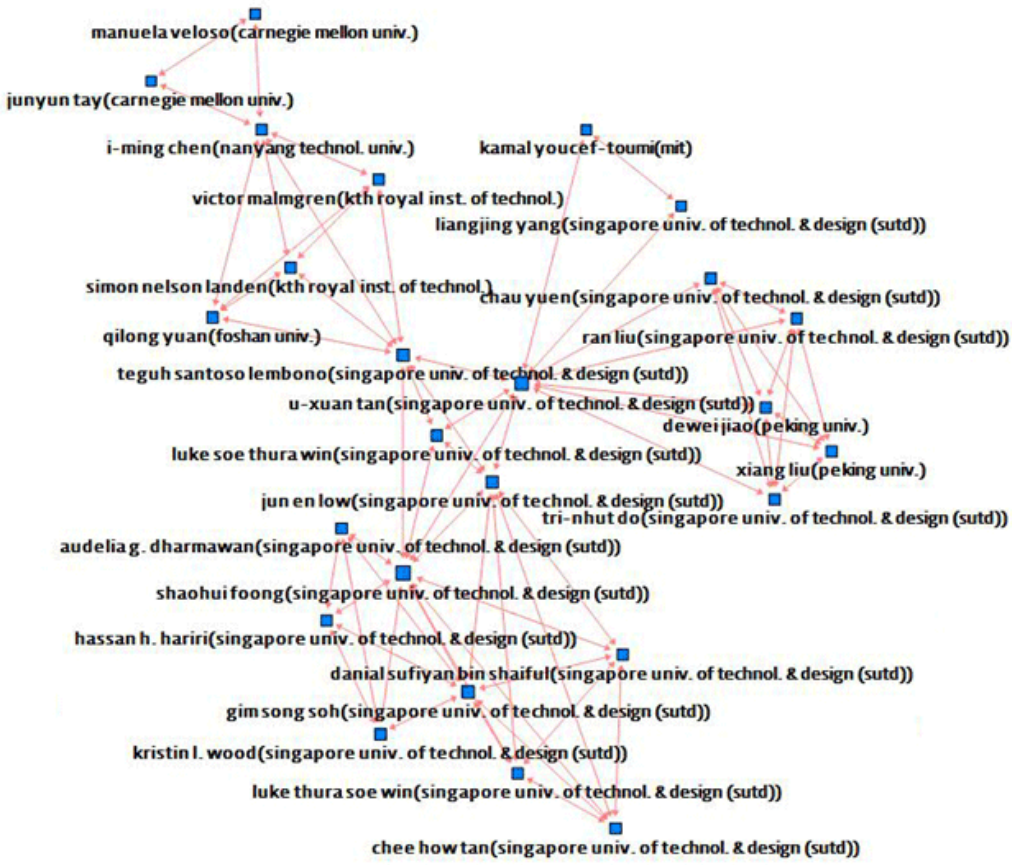

Figure10. Singapore Univ. of Technol. & Design(SUTD) 연결그룹

아래 Figure 11 은 ETH Zurich 의 연구자들이 연결된 그룹으로 일부 Google 과 Univ. of Nevada 의 연구자들과 연결된 것을 볼 수 있다. 이 그룹에서는 Roland Sieg wart(ETH Zurich)니 중심연구자이며, Juan Nieto(ETH Zurich)가 그 다음 중심연구자로 나타났다.

Roland Siegwart 교수는 ETH Zurich 의 자동화 시스템 연구실(Autonomous Systems Laboratory)을 이끌고 있으며, 다족형 로봇, 우주 로봇, 검사 로봇 등의 다양한 로봇 분야 이외에도 드론, 항공기 등의 연구를 수행하고 있다.(출처: https://scholar.google.co.kr/citations?user=MDIyLnwAAAAJ&hl=ko) Juan Nieto 박사 또한 ETH Zurich 의 자동화 시스템 연구실 소속이다. (출처: https://scholar.google.co.kr/citations?user=g7yXnrAAAAAJ&hl=ko)

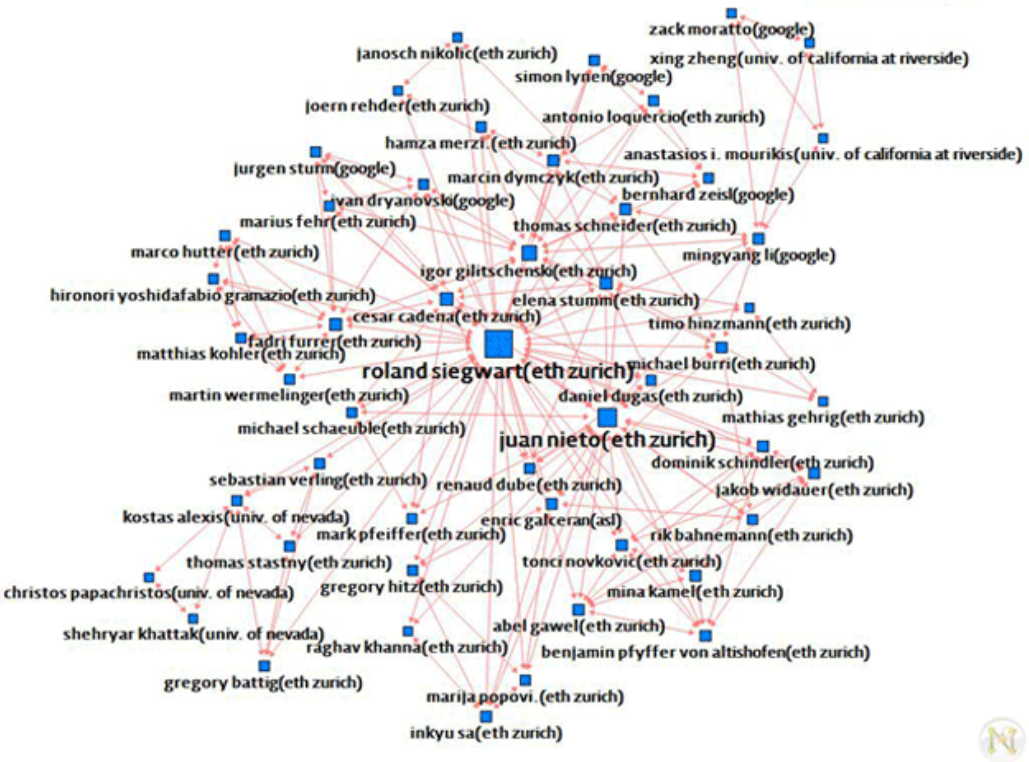

Figure 11. ETH Zurich 연결그룹

아래 Figure 12 는 Max Planck Institute for Intelligent Systems 의 연구자들이 연결된 그룹으로 일부 Carnegie Mellon Univ. 과 KIST, Bogazici Univ., Horace Nann School 등이 연결된 그룹이다. 이 그룹의 중심 연구자는 Metin Sitti(Max Planck Inst. for intell. Syst.)이며, 이 그룹에는 한국인으로 Donghoon Son(Max Planck Inst. for intell. Syst.)이 연결되 어 있으며, 일부 해외 연구자는 한국의 KIST 소속으로 논문을 발표하였다.

Metin Sitti 교수는 미국 카네기멜런대학의 교수이며, 현재 Max Planck Institute for Intelligent Systems 의 물리적 지능 (Physical Intelligence) 연구소를 이끌고 있다. 오랫동안 초소형 로봇, 소프트 로봇, 생체모사 로봇 등을 연구해 왔다.
(출처:https://scholar.google.co.kr/citations?user=YU4Ce_MAAAAJ&hl=ko&oi=sra)

Donghoon Son 박사 또한 Metin Sitti 교수와 함께 물리적 지능 연구소 소속이다.
(출처:https://scholar.google.co.kr/citations?user=GrbHwJMAAAAJ&hl=ko&oi=sra)

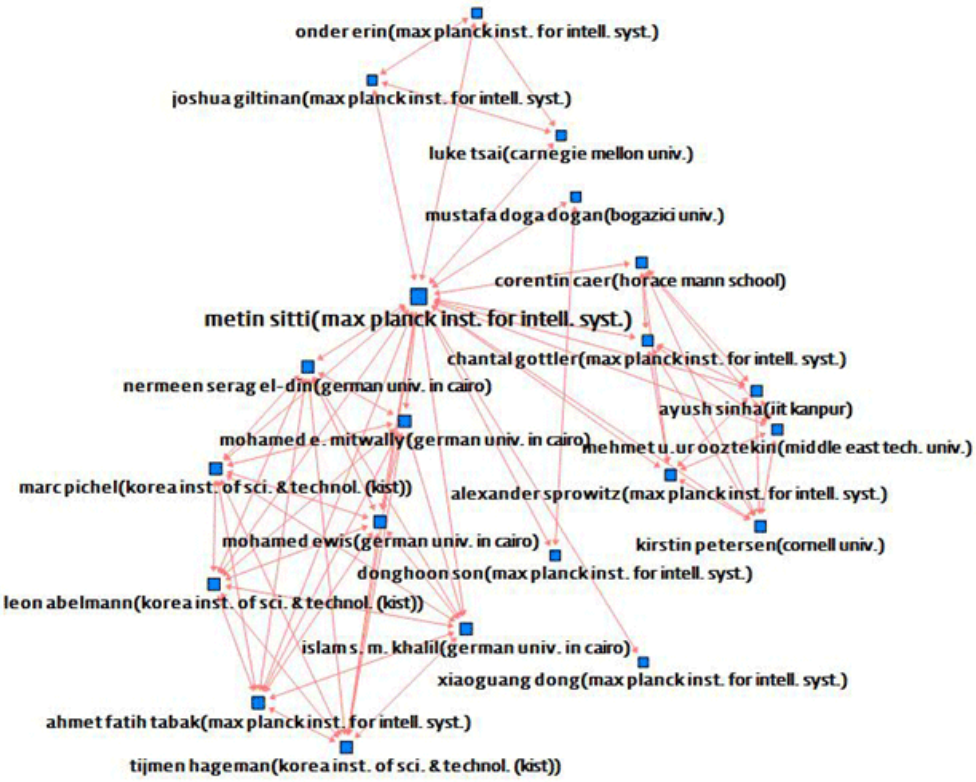

Figure 12. MA와 Politecnico di Milano, Hungarian Academy of Sciences, Hitachi Ltd. 연결 그룹

아래 Figure 13 은 Univ. of California at Berkeley 의 연구자들이 연결된 그룹으로 이다. 이 그룹은 Pieter Abbeel(Univ. of California at Berkeley)과 Sergey Levine(Univ. of California at Berkeley)의 2 명의 중심연구자로 연결되어 있다.

Sergey Levine 교수는 전자컴퓨터공학(Department of Electrical Engineering and Computer Sciences)의 교수로서 로봇시스템의 인공지능과 학습에 대하여 집중적으로 연구하고 있다. (출처: https://people.eecs.berkeley.edu/~svlevine/, https://youtu.be/xe-z4i3l-iQ)

Pieter Abbeel 교수 또한 같은 학과 소속이며, 로봇시스템의 딥러닝에 대한 세계적 권위자이다. (출처: https://scholar.google.co.kr/citations?user=vtwH6GkAAAAJ&hl=ko&oi=sra)

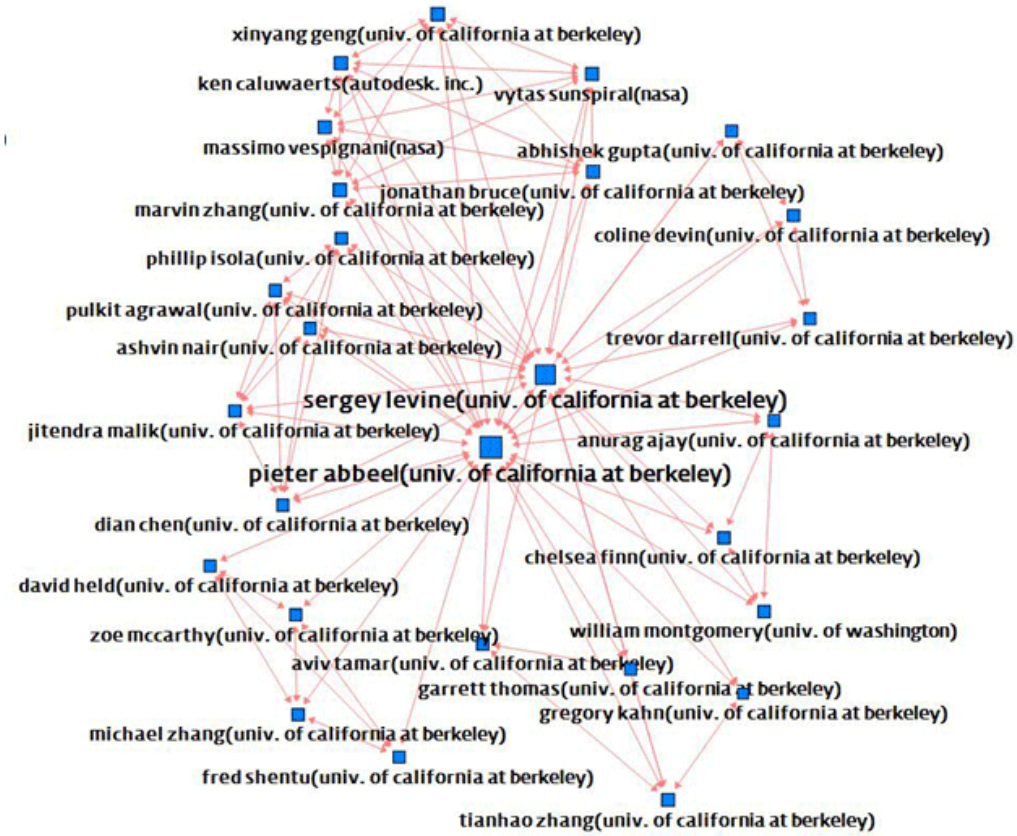

Figure 13. Univ. of California at Berkeley 연결 그룹

아래 Figure 14 는 Carnegie Mellon Univ. 연구자들이 연결된 그룹으로 일부 Microsoft 의 연구자들과 연결되어 있다. 이 그룹에서는 크게 중심연구자 없이 대등하게 연결되어 있다.

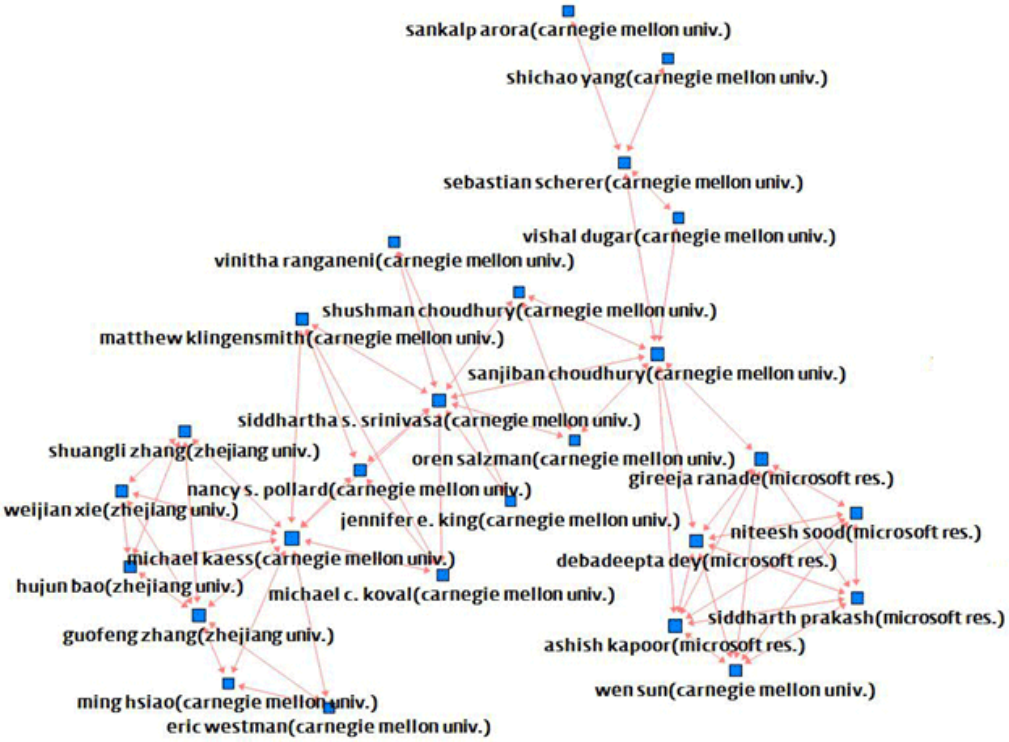

Figure 14. Carnegie Mellon Univ. 연결그룹

아래 Figure 15 는 위의 Figure 13 과 또 다른 Univ. of California at Berkeley 연구자들이 연결된 그룹이다. 이 그룹에는 Jeffrey Mahler(Univ. of California at Berkeley)와 Ken Goldberg(Univ. of California at Berkeley)의 2 명의 연구자를 중심으로 연결되어 있다.

Ken Goldberg 교수는 산업공학과(Department of Industrial Engineering and Operations Research) 소속이며, 로봇시스템의 기계학습과 자동화에 대한 연구를 진행하고 있으며, 특히 예술적 관점에서의 로봇 시스템 설계에 많은 업적이 있다. (출처: https://scholar.google.co.kr/citations?user=8fztli4AAAAJ&hl=ko)

Jeffrey Mahler 박사는 Ken Goldberg 교수의 제자로서 많은 연구 프로젝트에 함께 참여하고 있다. (출처: https://scholar.google.co.kr/citations?user=Tsh90D8AAAAJ&hl=ko)

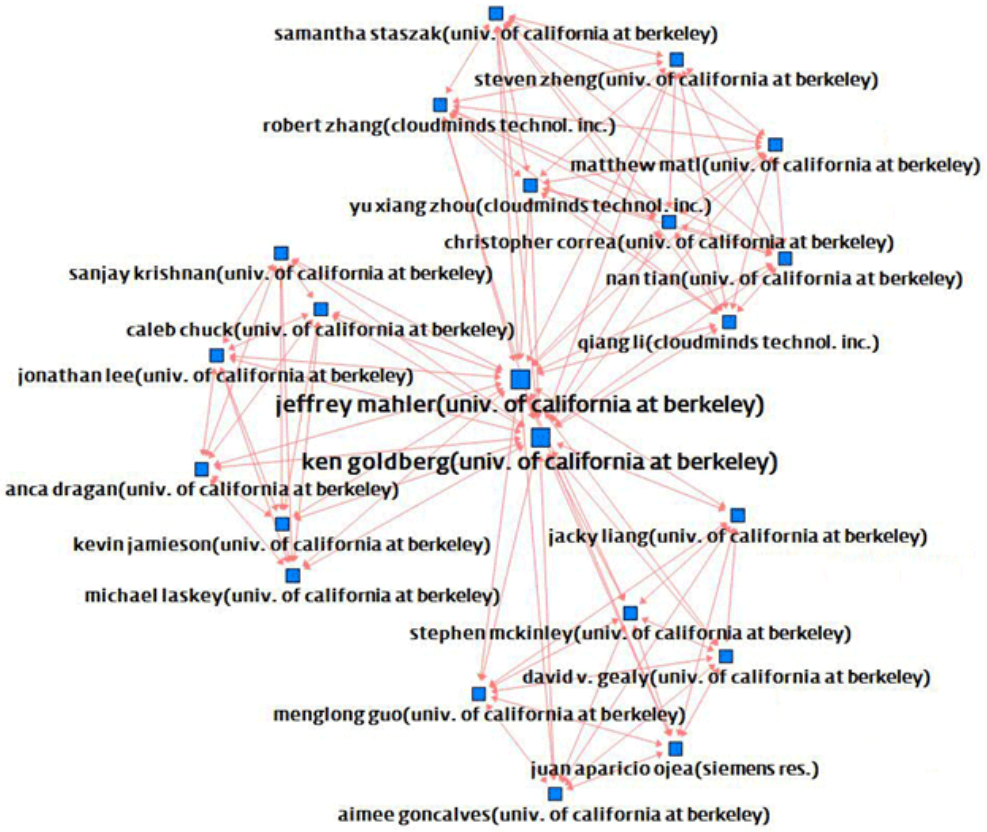

Figure 15. UC Berkeley 연결그룹

아래 Figure 16 는 DLR 과 Stanford Univ. 와 Univ. of Modena & Reggio Emilia, Korea Univ.가 연결된 연구 그룹이다. 이 그룹에는 특별한 중심연구자 없이 연결되어 있으며, 이 그룹에는 한국인으로 Hyunseok Seong(Korea Univ.)과 Jee-Hwan Ryu(Korea Univ.)가 있다.

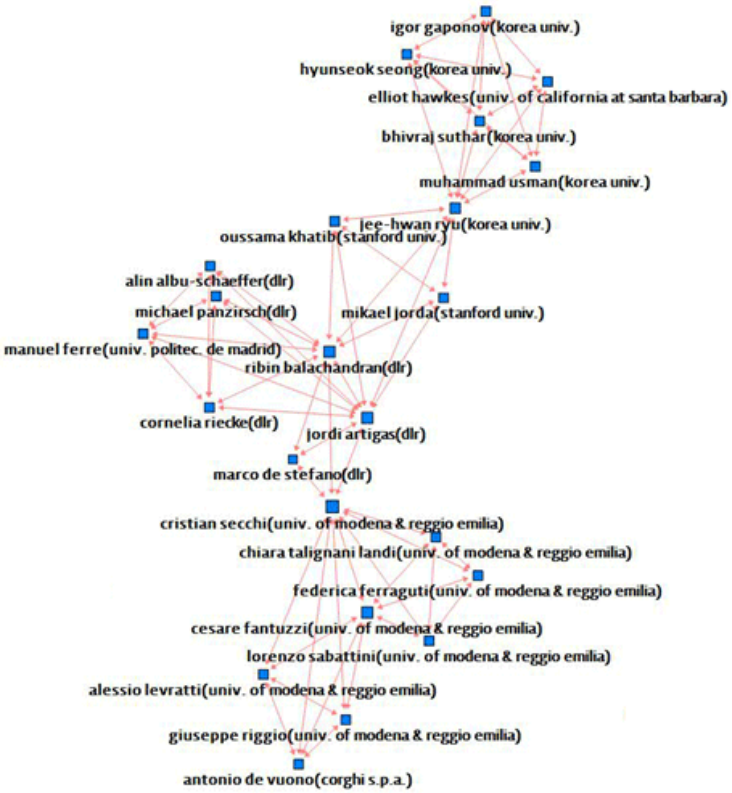

Figure 16. DLR연구 그룹, Stanford Univ. Univ. of Modena & Reggio Emila 연결그룹

위에서 추출한 연구자 데이터를 바탕으로 하여 Figure 17 과 같이 연구자의 Degree Centrality 를 분석하였다. Degree Centrality 는 연결 정도 중심성으로 한 개인이 전체 네트워크에서 얼마만큼 중심에 가까이 자리 잡고 있는지를 나타내는 지표다. 네트워크 분석에서 개인이 가지는 영향력을 분석하는 데 가장 많이 쓰인다. 여러 논문과 다른 연구자와의 연결 관계가 많을수록 네트워크 가운데 쪽으로 위치하게 된다.

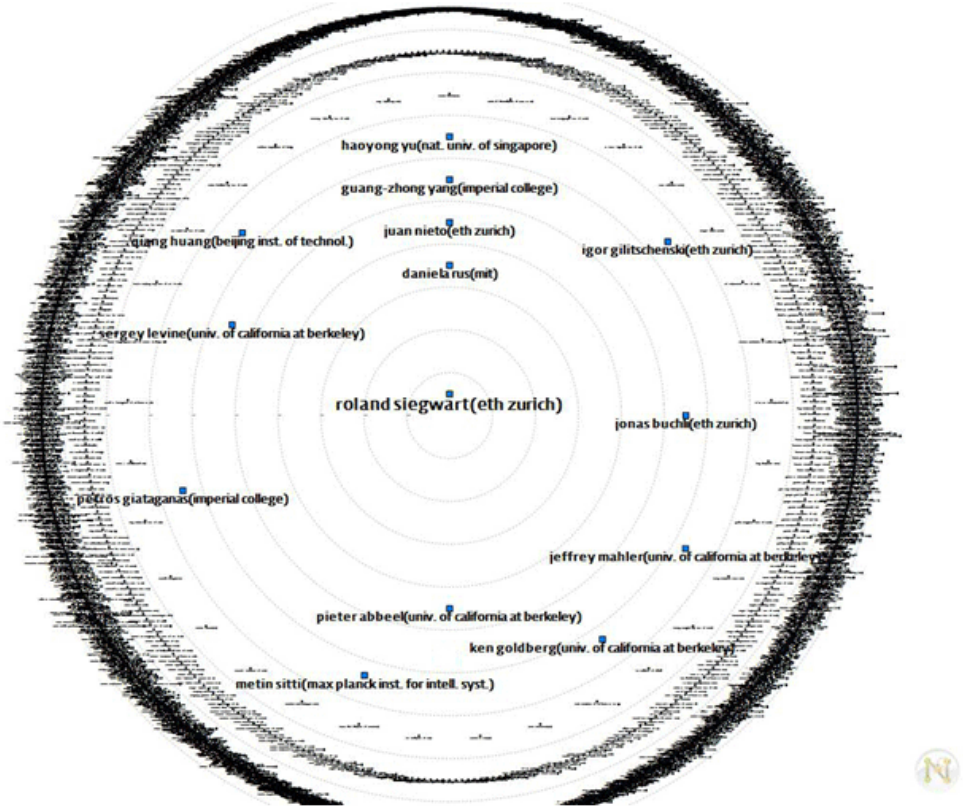

Figure 17. ICRA 2017 연구자 네트워크 시각화(Degree Centrality

이를 살펴보면 Roland Siegwart(ETH Zurich)가 제일 중심에 있으며, 두 번째로는 Daniela Rus(MIT)가 있으며, 세번째로는 Juan Nieto(ETH Zurich)와 Pieter Abbeel(UC Berkeley)가 가까이 있음을 확인할 수 있다. 또한, Guang-Zhong Yang(Imperial College), Jonas Buchli(ETH Zurich), Sergey Levine(UC Berkeley) 등이 네 번째로 중심에 가까운 연구자로 나타났다. Degree Centrality 는 공저 논문 수(빈도)와 연결된 공저자들과의 수와 빈도에 따라서 위치를 달리하게 된다.

아래 Table 4 는 공저 논문 수 4 편 이상의 연구자 리스트이다.

Table 4. 공저논문수 순위 (ICRA 2012~2016년, 4편 이상)

NO	공저자	공저논문수
1	Roland Siegwart(ETH Zurich)	16
2	Daniela Rus(MIT)	13
3	Guang-Zhong Yang(Imperial College)	8
4	Juan Nieto(ETH Zurich)	7
5	Pieter Abbeel(Univ. of California at Berkeley)	7
6	Robert J. Wood(Harvard Univ.)	7
7	Sergey Levine(Univ. of California at Berkeley)	6
8	Shaojie Shen(Hong Kong Univ. of Sci. & Technol.)	6
9	Antonio Franchi(CNRS)	5
10	Ian Reid(Univ. of Adelaide)	5
11	Jonas Buchli(ETH Zurich)	5
12	Jonathan P. How(MIT)	5
13	Margarita Chli(ETH Zurich)	5
14	Metin Sitti(Max Planck Inst. For Intell. Syst.)	5
15	Wolfram Burgard(Univ. of Freiburg)	5
16	Ashish D. Deshpande(Univ. of Texas at Austin)	4
17	Byron Boots(Georgia Inst. of Technol.)	4
18	C. Karen Liu(Georgia Inst. of Technol.)	4
19	Cristian Secchi(Univ. of Modena & Reggio Emilia)	4
20	Elliot W. Hawkes(Stanford Univ.)	4
21	Gaurav S. Sukhatme(Univ. of Southern California)	4
22	Gordon Cheng(Tech. Univ. of Munich)	4
23	H. Jin Kim(Seoul Nat. Univ.)	4
24	Igor Gilitschenski(ETH Zurich)	4
25	Jaime Valls Miro(Univ. of Technol. Sydney)	4
26	Kostas Daniilidis(Univ. of Pennsylvania)	4
27	Paolo Robuffo Giordano(CNRS)	4
28	Petros Giataganas(Imperial College)	4

Roland Siegwart (1959 년생)는 스위스의 ETH Zurich 에서 로봇 및 지능 시스템 연구소의 ASN (Autonomous Systems Lab.)이사이며 잘 알려진 로봇 전문가입니다. Roland Siegwart 의 연구 활동은 이동 로봇 설계 및 내비게이션(Mobile Robot Design and Navigation) - 역학 및 매핑, 동적 환경 계획, 인간 - 로봇 상호 작용, 거친 지형의 이동 컨셉, 모바일 마이크로 로봇, 우주 로버, 자율 주행 차량 및 무인 공중 차량(Unmanned Aerial Vehicles)입니다. (출처: https://en.wikipedia.org/wiki/Roland_Siegwart)

Metin Sitti(Max Planck Inst. for intell. Syst.)가 운영 중인 Physical Intelligence Department 는 2014 년 Max Planck Institute for Intelligent Systems 에서 창립되었으며, 스마트 인텔리전트 플랫폼으로 똑똑하고 부드러운 소재로 만들어진 한 개 또는 다수의 소규모 모바일 로봇의 설계, 이동, 제어, 인식 및 학습 등을 연구하고 있습니다. (출처: http://pi.is.mpg.de/)

Daniela Rus 는 Andrew and Erna Viterbi 의 전기 공학 및 컴퓨터 과학 교수이며 MIT 의 CSAIL (컴퓨터 과학 및 인공 지능 연구소) 소장입니다. Rus 의 연구 관심 분야는 로봇 공학, 모바일 컴퓨팅 및 데이터 과학 분야입니다. Cornell University 에서 컴퓨터 과학 박사 학위를 받았습니다. (출처: https://www.csail.mit.edu/user/876)

Robert J. Wood(Harvard Univ.)는 Harvard Micro robotics Lab. 을 운영하고 있으며, 마이크로미터에서 센티미터 규모의 기능 크기를 가진 생물학적으로 영감을 얻은 로봇의 개발을 위해 마이크로 제작 기술을 활용합니다. 그의 연구 분야는 새로운 마이크로 및 메소 스케일 제조 기술, 낮은 레이놀즈 수 날개 낀 날개의 유체 역학, 센서 제한 및 계산 제한 시스템 제어, 능동적인 부드러운 재료, 웨어러블 로봇 및 변형 가능한 소프트 바디 로봇을 포함합니다. (출처: https://www.seas.harvard.edu/directory/rjwood)

3. 한국기관소속 연구자 네트워크 분석

이번 ICRA 2017 에서 Table 5 와 같이 한국기관은 14 개 기관에서 32 편의 논문을 발표하였다. 서울대가 8 편, KAIST 가 7 편, 서강대가 3 편의 논문을 발표하였다.

Table 5. ICRA 2017 한국기관의 논문발표 수

한국 기관	논문수(5년간)
Seoul Nat. Univ.	8
KAIST	7
Sogang Univ.	3
Korea Inst. of Sci. & Technol. (KIST)	2
DGIST	2
Korea Univ.	2
POSTECH	2
Samsung Adv. Inst. of Technol.	1
Yeungnam Univ.	1
Electron. & Telecommun. Res. Inst. (ETRI)	1
Korea Military Academy	1
UNIST	1
Sungkyunkwan Univ.	1
14개 기관	**32편**

한국기관의 연구자만 별도로 추출하여 연결한 연구 그룹들은 Figure 18 과 같다.

Figure 18. ICRA 2017 한국기관 연구자그룹

한국인 연구자 그룹은 Figure 18 과 같이 약 20 여 개 그룹으로 나타났다. 대부분 한국의 연구그룹은 대학별로 분리된 것을 볼 수 있다. 위의 연결 관계를 기초로 중심도 분석하면 Figure 19 와 같다. 중심에 가까운 연구자는 H. Jin Kim(Seoul Nat. Univ.), Chan Lee(DGIST), Kyougchul Kong(So gang Univ.) 등으로 볼 수 있다. 다만 한국기관의 논문 수와 공저자 수가 여러 연구자와 많이 차이가 나지 않으므로 크게 의미를 부여하기는 어렵다.

H. Jin Kim 교수는 KAIST 기계항공공학부에서 학사를 졸업하고, U.C. Berkeley 기계공학과에서 석사를, Harvard University 기계공학과에서 박사 학위를 받았다. 현재 서울대학교 기계항공공학부에서 근무 중이며 로봇공학, 인공지능 및 응용 제어 등의 분야에 대한 연구를 진행 중이다. (출처: http://robotics.snu.ac.kr/html/sub01_02.php)

Chan Lee 는 대구·경북과학기술대학교 로봇공학전공의 박사과정 학생으로서 오세훈 교수가 운영하는 Motion Control Lab. 소속이다.(출처: http://control.dgist.ac.kr/)

Kyougchul Kong 교수는 서강대학교에서 학사와 석사 학위를 받고, U.C. Berkeley 기계공학과에서 박사 학위를 받았다. 현재 서강대학교 기계공학과에서 근무 중이며 로봇시스템제어(Robot Systems Control) 연구실을 운영 중이다. 주로 로봇제어, 웨어러블 로봇, 다족형 로봇 등의 연구를 진행 중이다. (출처: http://robotics.sogang.ac.kr)

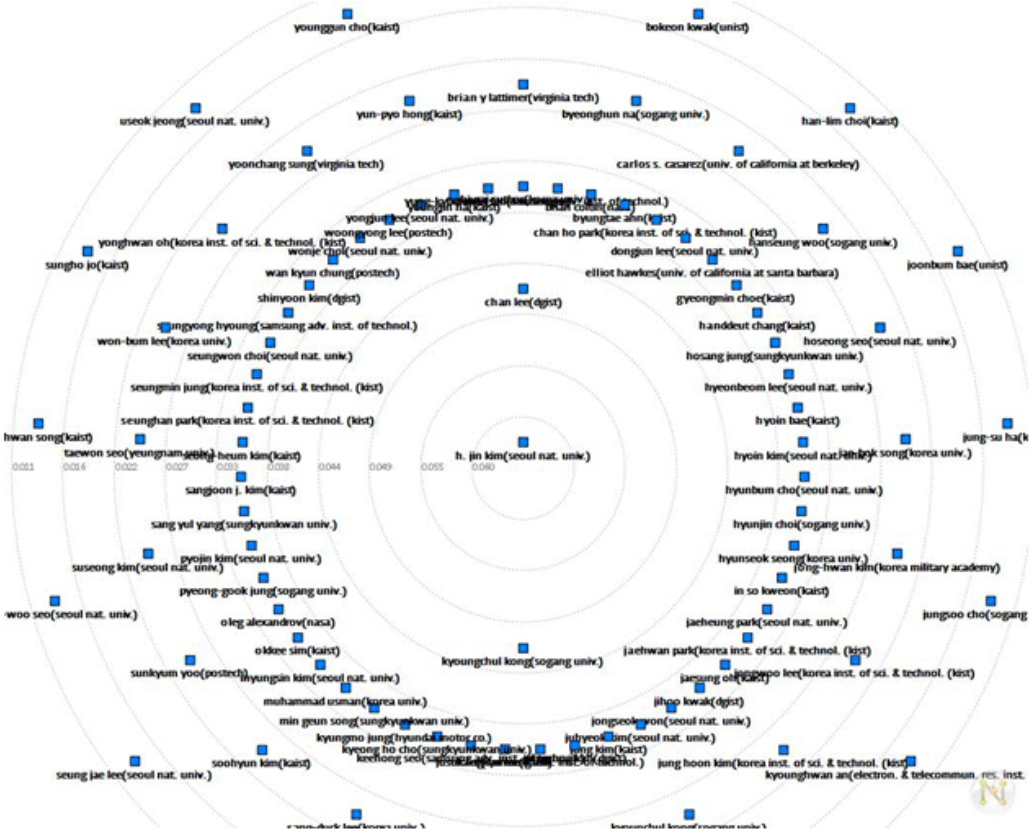

Figure 19. ICRA 2017 한국기관 연구자 중심도 분석

한국기관 소속의 연구자 외에도 외국기관 소속의 한국인 연구자들의 논문도 많이 발표된 것으로 나타났다. 아래 Table 6 은 한국인으로 추정되는 외국 기관 소속의 주저자(제 1 저자) 명단이다.

Table 6. 외국기관 소속의 한국인 연구자

연구자명	소속
Dong-Ki Kim	Carnegie Mellon Univ.
Junyun Tay	
Sung-Kyun Kim	
Sooho Park	
Yeeho Song	Cooper Union
Jaeyong Sung	Cornell Univ.
Min Jun Kim	DLR
Seonwook Park	ETH Zurich
Jaeeun Shim	Georgia Inst. of Technol.
Jing Dong	
Junhyoung Ha	Harvard Medical School
Sungmin Kim	Johns Hopkins Univ.
Donghoon Son	Max Planck Inst. for Intell. Syst.

연구자명	소속
Cynthia Sung	MIT
Beomjoon Kim	
Hae Won Park	
Junyu Gao	Northwestern Polytech. Univ.
Sang-Ho Hyon	Ritsumeikan Univ.
Jaeyong Sung	Stanford Univ.
Jae-Hak Kim	Univ. of Adelaide
Jay Young	Univ. of Birmingham
Kyung Yun Choi	Univ. of Illinois at Urbana-Champaign
Jong Jin Park	Univ. of Michigan
Jae Sung Park	Univ. of North Carolina at Chapel Hill
Jinwook Huh	Univ. of Pennsylvania
Kwan Suk Kim	Univ. of Texas at Austin
Youngmok Yun	

4. 기관-키워드 분석 (2MODE)

기관과 키워드의 연관성 분석은 어느 기관에서 어떤 분야 연구를 주로 하는지에 대한 객관적인 자료가 될 수 있다. 논문 주저자의 기관과 그 논문에 대한 키워드를 정리하여 기관과 키워드 간의 관계를 분석한 결과를 Figure 20 에 나타내었다.

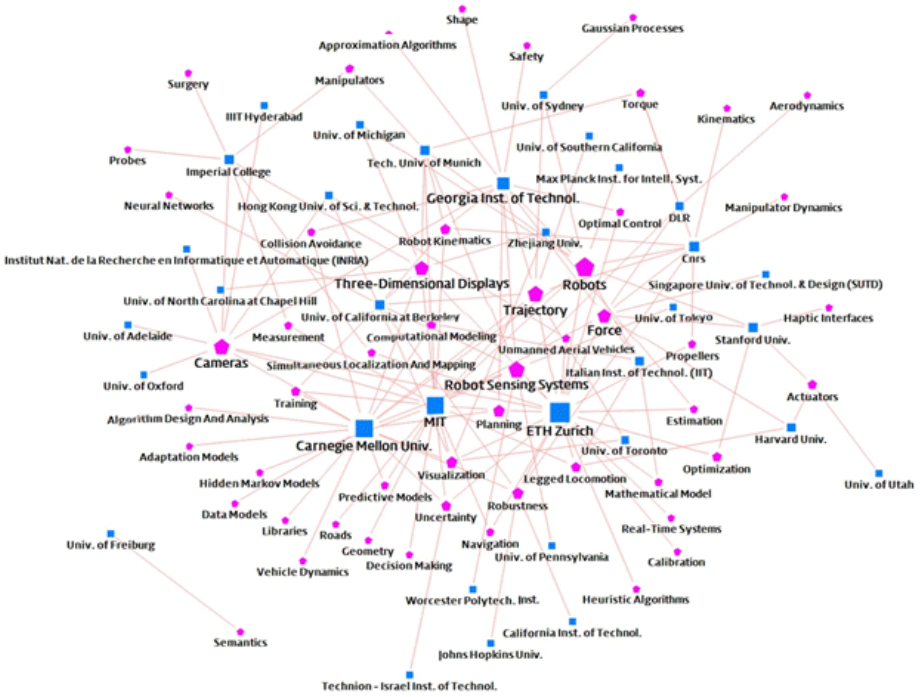

Figure 20. ICRA 2017 기관-키워드 네트워크 시각화(2-Mode분석, Link Reduction 2)

위의 Figure 20 을 살펴보면, 주요기관으로는 ETH Zurich, Carnegie Mellon Univ. MIT 등이 나타나고, 키워드로는 Robots, Trajectory, Planning 등이 많이 나타났다. 또한, 이를 좀 더 자세히 보기 위해 Reduction 한 것은 Figure 21 과 같다.

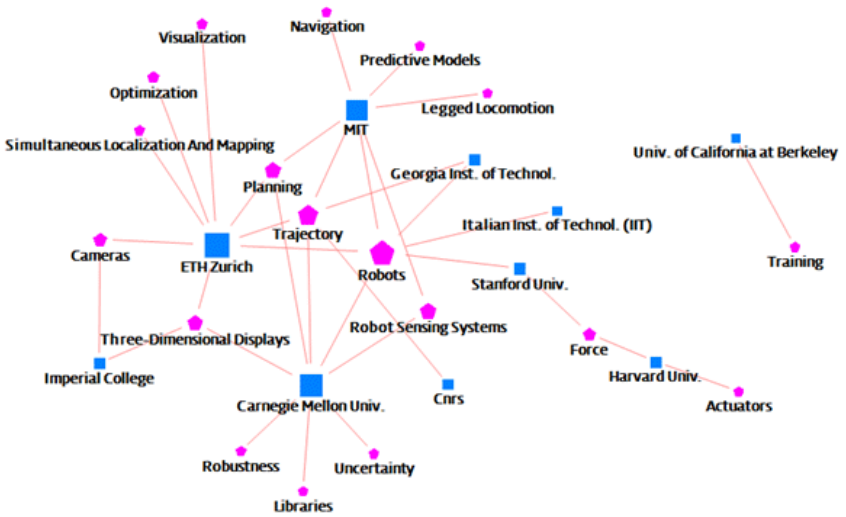

Figure 21. ICRA 2017 기관-키워드 네트워크 시각화(2-Mode분석, Link Reduction 3)

이를 통해 보면 ETH Zurich 에서는 Robots, Trajectory, Planning, Three-Dimension Displays, Cameras, Visualization, Optimization, Simultaneous Localization & Mapping 의 연구가 주로 진행되고 있으며, Carnegie Mellon Univ.에서는 Robots, Trajectory, Planning, Robot Sensing Systems, Three-Dimensional Displays, Robustness, Libraries, Uncertainty 이고, MIT 는 Robots, Trajectory, Planning, Robot Sensing Systems, Predictive Models, Legged Locomotion, Navigation 등이 주로 발표된 논문의 키워드이다. 이처럼 기관별로 주요하게 나타나는 키워드는 Table 7 과 같이 정리하였다.

Table 7. 주요 연구기관의 키워드

주요 연구기관	키워드
ETH Zurich	**Robots, Trajectory, Planning**, Three-Dimension Displays, Cameras, Visualization, Optimization, Simultaneous Localization & Mapping
Carnegie Mellon Univ.	**Robots, Trajectory, Planning**, Robot Sensing Systems, Three-Dimensional Displays, Robustness, Libraries, Uncertainty
MIT	**Robots, Trajectory, Planning**, Robot Sensing Systems, Predictive Models, Legged Locomotion, Navigation
Georgia Inst. of Technol.	**Robots, Trajectory**
Harvard Univ.	Force, Actuators
Imperial College	Three-Dimensional Displays, Cameras
Stanford Univ.	**Robots**, Force
Italian Inst. of Technol. (IIT)	**Robots**
CNRS	**Trajectory**
Univ. of California at Berkeley	Training

V. 결 론

이상의 분석을 다시 정리해 보면 ICRA 의 국가별 논문순위는 미국이 293 편으로 가장 많은 논문을 발표하여 전체 논문 수의 37.1%를 차지하고 있다. 그 뒤로 독일이 77 편, 중국이 56 편, 일본이 43 편, 스위스가 42 편, 영국이 38 편, 이탈리아가 34 편, 한국이 32 편, 호주가 30 편의 논문을

발표하였다.

기관별 발표 논문 수는 스위스 취리히 연방 공대(ETH Zurich)와 미국의 MIT 가 따로따로 가장 많은 수인 34 편의 논문을 발표했으며, Carnegie Mellon Univ. 이 30 편의 논문을 발표하였고, Georgia Inst. of Technol.가 17 편의 논문을 발표하였으며, Stanford Univ.와 Tech. Univ. of Munich 가 각각 14 편의 논문을 발표하였다.

ICRA 2017 의 논문의 총 키워드 수는 806 개이며, Robots, Robot Sensing Systems, Trajectory, Force, Three-Dimensional Displays, Cameras 가 100 회 이상 나왔으며 Planning, Robot Kinematics, Actuators, Mathematical Model, Visualization, Legged Locomotion, Optimization, Training, Computational Modeling, Robustness 가 50 회 이상 나타났다.

논문 공저자들의 상관관계를 넷 마이너를 사용하여 시각화(Spring layout)하여 나타난 가장 큰 연구자 그룹은 MIT 연구자들로 연결된 그룹이며. 이 그룹에서는 Daniela Rus(MIT)가 중심연구자로 연결되어 있다. 이 그룹에는 미 펜실바니아대 신시아 성(Cynthia Sung) 교수를 비롯한 로봇 과학자들은 '적층 셀프 폴딩(Additive Self-folding)'이라는 기술을 활용해 유연하고, 움직임을 제어할 수 있는 소프트 로봇 기술을 개발했다.

또한, 연구자의 Degree Centrality 를 분석해 보면 Roland Siegwart(ETH Zurich)가 제일 중심에 있으며, 두 번째로는 Daniela Rus(MIT)가 있으며, 세번째로는 Juan Nieto(ETH Zurich)와 Pieter Abbeel(UC Berkeley)가 가까이 있음을 확인할 수 있다. 또한, Guang-Zhong Yang(Imperial College), Jonas Buchli(ETH Zurich), Sergey Levine(UC Berkeley) 등이 네 번째로 중심에 가까운 연구자로 나타났다.

2mode 로 기관과 키워드 네트워크 시각화한 결과는 ETH Zurich 에서는 Robots, Trajectory, Planning, Three-Dimension Displays, Cameras, Visualization, Optimization, Simultaneous Localization & Mapping 의 연구가 주로 진행되고 있으며, Carnegie Mellon Univ.에서는 Robots, Trajectory, Planning, Robot Sensing Systems, Three-Dimensional Displays, Robustness, Libraries, Uncertainty 이고, MIT 는 Robots, Trajectory, Planning, Robot Sensing Systems, Predictive Models, Legged Locomotion, Navigation 등이 주로 발표된 논문의 키워드로 이다. 이를 통해 어떤 기관에서 어떤 연구를 주로 하는가에 대해서 가늠해 볼 수 있다.

예년의 ICRA 와는 달리 2017 년도 ICRA 에서 확연히 달라진 점은, 학계뿐만 아니라 산업계의 참석자와 발표논문이 많이 늘었다는 점이다. 특히, 제안서를 받아 로봇 분야의 우수한 스타트업 기업들을 소개하는 특별 세션을 만들었고, 우수 로봇스타트업 상을 제정했는가 하면, 상당수의 초청 세션과 기조연설에서 산업계의 동향을 소개하는 발표를 진행하였다. 기존에 주목을 받았던 고도한 수학과 역학, 제어이론, 모델링, 시뮬레이션 등 순수 기초학문으로서의 로봇공학보다는,

현실적인 적용사례가 존재하는 산업적 측면에서의 로봇공학이 주를 이루었다고 해도 과언이 아니었다.

이러한 측면은 기업인들을 초대하고 기업에 수여하는 상을 제정하는 등 조직위원회의 노력이 반영된 결과일 수 있다. 하지만 분명한 것은, 로봇공학이 더 소수의 로봇공학자의 지적 호기심을 만족시켜주는 기초학문에서 탈피하여, 산업의 큰 축이 되고 있으며 나아가 우리의 일상생활에 밀접하게 접근하고 있다는 것을 증명한다고 해석할 수도 있다. 4 차 산업혁명의 시대가 도래하는 현시점에서 ICRA 학회를 자세히 분석하면 로봇공학과 로봇산업의 지향점이 어디인지를 파악할 수 있을 것이다.

이 성과는 2018 년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(**NRF-2013R1A6A6029534**)