

Robotics 30년의 흐름

4-depth Phylogenetic Taxonomy로 본 paradigm shift

Robotics Paper Phylogeny project

T-RO · IJRR · RSS, 7,477 papers (1988–2025)

April 26, 2026

왜 이런 분류가 필요한가

- Robotics는 30년+ 동안 패러다임이 빠르게 바뀐 분야.
- 같은 주제도 논문마다 표현이 다름
(예: “laser place recognition” \approx “point cloud loop detection”)
- 단순 keyword/TF-IDF는 **표현은 다른데 같은 의미**인 클러스터를 못 잡음.
- \Rightarrow **Semantic synonym cluster + 4-depth phylogenetic tree**

이 슬라이드의 목표

8개의 5년 cohort로 잘라서, 각 시기의 **paradigm signature**와 **rank 변화**를 한눈에 보기.
Taxonomy 자체가 시간의 흐름을 검증해 준다.

데이터셋

- **T-RO** 3,435 + **IJRR** 2,666 + **RSS** 1,488 + 보강 = **7,477편**
- 1988 – 2025 (37년)
- RoboPaper Atlas (DBLP + OpenAlex) 기반
- 모든 논문이 4-depth 분류됨 (Phylum/Class/Order는 100%)

4-depth taxonomy

L1 Phylum	13	큰 분야 (Manipulation, Locomotion, SLAM ...)
L2 Class	~100	분야 안의 갈래 (Grasping, Legged ...)
L3 Order	~330	세부 주제 (Grasp Planning ...)
L4 Genus	가변	구체적 접근법 (Learning-based Grasping ...)

왜 “생물 계통도”인가

- Linnaean taxonomy는 **진화 계통(공통 조상)**을 표현하는 트리
- 로봇 분야도 비슷 — 같은 “조상” 문제에서 분기
(SLAM → Visual SLAM → VIO → LIO → 3D-Gaussian-Splatting SLAM)
- 단계별 분기를 따라가면 **paradigm 전환의 시점**이 자연스럽게 드러남
- 학술적 가치 + 학생 교육자료로 적합

Methodology: semantic synonym cluster

- 단순 키워드 매칭 / TF-IDF의 한계 — 동의어를 못 잡음.
- 우리는 **rule-based + manual semantic cluster**로 명시적 분류:

예: Place Recognition

```
LIDAR = ['lidar', 'laser scan', 'point cloud', '3d point', 'range scan', ...]
```

```
PLACE_RECOG = ['place recognition', 'loop closure',
               'loop detection', 'global localization', 'vpr', ...]
```

```
if has_any(t, PLACE_RECOG):
    if has_any(t, LIDAR):
        return ('SLAM & Localization', 'Place Recognition', 'LiDAR-based')
```

⇒ “laser place recognition”, “point cloud loop detection”, “lidar VPR” 같은 표현이 **모두** 같은 leaf로 묶임.

Methodology: 우선순위 + Specific-first

- 규칙은 specific → general 순. Cross-cutting 케이스를 명시적으로 처리.
- Phylum/Class/Order는 100% 라벨링.
- Genus는 specific rule 매칭 시 (약 52%) — 나머지는 (general).
- 미분류 (Unclassified) 2.9% — 너무 specific하거나 catchall에 안 걸린 케이스. 사용자가 직접 검토 가능.

왜 Sentence Transformer/LLM 안 썼나

- **재현성** — rule 기반은 입력 동일하면 출력 동일.
- **투명성** — 어떤 rule이 매칭되었는지 추적 가능.
- **도메인 지식 인코딩** — robotics 표현 변천을 사람이 직접 큐레이션.

전체 흐름: 1988-2025 누적

- 1988-1992 cohort: **166편/5년** — 거의 T-RO + IJRR만
- 2003-2007: **951편/5년** ($5.7\times$ 성장) — RSS 출범 + 자동화 데이터 수집
- 2008-2012: **1,308편** — 학회 vs 학술지 균형 변화
- 2018-2022: **1,547편**
- 2023-2025 (3년치): 이미 **1,581편** — annualised로 환산하면 **$\sim 2,630$ 편/5년**

관찰

Robotics 출판량은 30년에 걸쳐 거의 **$15\times$ 증가**.

가속은 비선형 — 2023+ cohort에서만 **이전 5년 대비 $+70\%$** (Foundation Models 효과).

Phylum 분포 (전체 7,477 편)

Phylum	N	%
Manipulation	934	12.5%
Locomotion	842	11.3%
Planning	835	11.2%
SLAM & Localization	670	9.0%
Robot Design & Hardware	623	8.3%
Perception & Sensing	554	7.4%
Theoretical Foundations	491	6.6%
Control	441	5.9%
Multi-Robot Systems	408	5.5%
Application Domains	396	5.3%
Human-Robot Interaction	395	5.3%
Learning for Robotics	354	4.7%
Robot Software & Architecture	30	0.4%
Editorial / Unclassified	504	6.7%

상위 6개 Phylum이 전체의 60%를 차지. Learning for Robotics는 비중은 4.7%지만 최근 5년 성장률

8 cohorts × 5년 — 전체 카운트

Cohort	Papers
1988-1992	166
1993-1997	210
1998-2002	365
2003-2007	951
2008-2012	1,308
2013-2017	1,349
2018-2022	1,547
2023-2025	1,581

2003 이후 paper count가 가파르게 상승 — T-RO/IJRR 통합 + RSS 출범 + 자동화된 데이터 수집의 결과.

1988-1992 — 초기 시대

Headline

기구학 · 고전 제어 · 매니플레이션의 정식화. 학술지 자체가 시작되는 시기.

Top-5 Classes (166 papers)

(첫 cohort — rank 비교 대상 없음)

- | | | |
|----|--------------------------------------|----|
| 1. | Manipulation > General Manipulati... | 20 |
| 2. | Theoretical Foundations > Kinemat... | 20 |
| 3. | Planning > Path/Motion Planning | 17 |
| 4. | Theoretical Foundations > Dynamics | 14 |
| 5. | Manipulation > Grasping | 11 |

Top-3 Phyla

Manipulation (40), Theoretical Foundations (37), Planning (19)

1993-1997 — 형식의 정착

Headline

Path planning · force/impedance control이 기본 어휘로. Wheeled / 모듈러 메커니즘이 표준 platform으로 자리잡음.

Top-5 Classes (210 papers)

1.	Manipulation > General Manipulati...	26
2.	Planning > Path/Motion Planning	20
3.	Theoretical Foundations > Kinemat...	15
4.	Manipulation > Grasping	14
5.	Theoretical Foundations > Dynamics	12

급부상 (rank ↑ vs 직전 cohort)

- +19 #7: Robot Design & Hardware > Mec... (9)
- +7 #9: Locomotion > Wheeled Locomoti... (9)
- +5 #6: Control > Force / Impedance C... (10)
- +4 #11: Control > General Control (7)
- +2 #15: Perception & Sensing > Visual... (5)

Top-3 Phyla

Manipulation (61), Theoretical Foundations (32), Planning (25)

1998-2002 — 모바일 로봇 + 텔레오퍼레이션 등장

Headline

IJRR/T-RO 특집호 다수 발행 (Editorial 급증). Teleoperation, Acoustic perception, Robot architecture 가 처음 부상.

Top-5 Classes (365 papers)

1.	Robot Design & Hardware > Mechani...	26
2.	Planning > Path/Motion Planning	25
3.	Other / Editorial > Editorial / M...	23
4.	Locomotion > Legged Locomotion	19
5.	Manipulation > General Manipulati...	17

급부상 (rank ↑ vs 직전 cohort)

+83	#13: Human-Robot Interaction > Tel...	(9)
+77	#19: Perception & Sensing > Acoust...	(7)
+39	#3: Other / Editorial > Editorial...	(23)
+22	#23: Robot Software & Architecture...	(5)
+18	#21: Control > Visual Servoing	(5)

Top-3 Phyla

Manipulation (60), Planning (43), Locomotion (39)

2003-2007 — SLAM 혁명

Headline

FastSLAM/EKF-SLAM/GraphSLAM 패러다임이 SLAM을 #9 → 주류로 끌어올림 (+43 ranks).
Aerial, Medical surgical, Assistive robotics 동시 등장.

Top-5 Classes (951 papers)

1.	Locomotion > Legged Locomotion	67
2.	Robot Design & Hardware > Mechani...	63
3.	Planning > Path/Motion Planning	57
4.	Control > General Control	46
5.	Manipulation > Contact-rich Manip...	45

급부상 (rank ↑ vs 직전 cohort)

+73	#40: Human-Robot Interaction > Ass...	(6)
+43	#9: SLAM & Localization > SLAM (34)	
+35	#19: SLAM & Localization > State E...	(19)
+30	#26: Application Domains > Medical...	(11)
+28	#25: Locomotion > Aerial Locomotion	(11)

Top-3 Phyla

Locomotion (138), Manipulation (112), Control (88)

2008-2012 — 학습 기반 로봇틱스의 씨앗

Headline

Reinforcement Learning · Deep Learning · Datasets/Benchmarks가 Learning for Robotics Phylum 안에서 처음으로 빈도 임계점 통과.

Top-5 Classes (1,308 papers)

1. Planning > Path/Motion Planning	95
2. Locomotion > Legged Locomotion	66
3. Multi-Robot Systems > Coordination	63
4. Manipulation > Contact-rich Manip...	60
5. SLAM & Localization > SLAM	52

급부상 (rank ↑ vs 직전 cohort)

+80 #43: Learning for Robotics > Reinf...	(8)
+77 #46: Learning for Robotics > Datas...	(7)
+74 #49: Learning for Robotics > Deep ...	(7)
+72 #51: Theoretical Foundations > For...	(6)
+27 #22: Perception & Sensing > Tactil...	(23)

Top-3 Phyla

Locomotion (171), Manipulation (141), Planning (141)

2013-2017 — Visual SLAM · TAMP · 협력 로봇

Headline

Physical HRI 폭발 (+38 ranks), Task & Motion Planning 정착, Foundation Models의 미세한 첫 등장 (12편).

Top-5 Classes (1,349 papers)

1.	Planning > Path/Motion Planning	109
2.	Locomotion > Legged Locomotion	76
3.	Multi-Robot Systems > Coordination	65
4.	SLAM & Localization > SLAM	52
5.	Other / Unclassified > Unclassifi...	49

급부상 (rank ↑ vs 직전 cohort)

- +71** #57: Planning > Task & Motion Plan... (5)
- +38** #15: Human-Robot Interaction > Phy... (32)
- +34** #34: Learning for Robotics > Found... (12)
- +33** #39: Multi-Robot Systems > Multi-R... (9)
- +33** #38: Human-Robot Interaction > Sha... (9)

Top-3 Phyla

Planning (164), Locomotion (164), Manipulation (143)

2018-2022 — Sim-to-Real + RL 주류화

Headline

RL이 +17 ranks로 #12 진입. Tactile sensing 고점 (#17). 아직 Foundation Models 폭발 직전의 plateau.

Top-5 Classes (1,547 papers)

1.	Planning > Path/Motion Planning	103
2.	Multi-Robot Systems > Coordination	70
3.	Manipulation > Contact-rich Manip...	66
4.	Locomotion > Legged Locomotion	61
5.	Locomotion > Aerial Locomotion	57

급부상 (rank ↑ vs 직전 cohort)

+72	#62: Perception & Sensing > Radar ... (5)
+36	#17: Perception & Sensing > Tactil... (29)
+19	#64: Theoretical Foundations > Rob... (5)
+17	#53: Theoretical Foundations > Sta... (8)
+17	#12: Learning for Robotics > Reinf... (38)

Top-3 Phyla

Manipulation (179), Planning (168), Locomotion (154)

2023-2025 — Foundation Models 시대

Headline

Foundation Models가 단 3년만에 +52 ranks → #3 (66편). Diffusion Policy · VLA · 3D Gaussian Splatting SLAM이 동시기에 등장.

Top-5 Classes (1,581 papers)

1.	Planning > Path/Motion Planning	117
2.	SLAM & Localization > SLAM	72
3.	Learning for Robotics > Foundatio...	66
4.	Multi-Robot Systems > Coordination	63
5.	Locomotion > Legged Locomotion	59

급부상 (rank ↑ vs 직전 cohort)

+52	#3: Learning for Robotics > Found...	(66)
+28	#43: Control > Safety-Critical Con...	(12)
+28	#22: Control > Optimal / Predictiv...	(23)
+24	#62: Perception & Sensing > Event...	(6)
+24	#24: Learning for Robotics > Datas...	(21)

Top-3 Phyla

Manipulation (198), Planning (188), Learning for Robotics (159)

Cohort 사이의 “rank race”

Class	88-92	93-97	98-02	03-07	08-12	13-17	18-22	23-25
Path/Motion Planning	3	2	2	3	1	1	1	1
Mechanism Design	—	—	1	2	7	12	14	12
Legged Locomotion	—	—	—	1	2	2	4	5
SLAM	—	—	—	9	7	6	5	2
Foundation Models	—	—	—	—	—	34	—	3
RL	—	—	—	—	43	24	12	11
Grasping	—	—	—	12	9	8	7	8

셀의 숫자는 해당 cohort 내 *Class rank* (1 = 최다). “—” = 5편 미만으로 노이즈 처리.

Foundation Models의 #34 → #3 점프, **SLAM의 꾸준한 상승**이 한눈에.

2023-2025: Foundation Models의 등장

- 2022년까지 Foundation Models for Robotics는 Learning for Robotics Phylum 안에서 sub-rank.
- 2023-2025 cohort에서 **+52 ranks** → **#3** (66 papers).
- 동시기 등장 추가 paradigm shift:
 - Diffusion Policy (2023 첫 논문 → 누적 19편)
 - Vision-Language-Action (VLA) (2023 등장 → 누적 16편)
 - 3D Gaussian Splatting SLAM (2024 등장 → 8편)
 - Hierarchical / Flow Matching policies, Sim-to-Real Legged 표준화
- 결론: **2023년 한 해가 modern robot learning의 분기점.**

2003-2007: SLAM 혁명

- 1998-2002 cohort: SLAM은 #50+ 부근.
- 2003-2007: **+43 ranks** → **#9** (34 papers).
- 트리거: **FastSLAM (2002)** → **GraphSLAM/SAM (2006)** → **EKF-SLAM 표준화**.
- Aerial Locomotion (+28 ranks) 동시 등장 — 드론 등장 시발점.
- 의료 로봇 (+30 ranks) 본격화 — DaVinci 임상 채택 시기.

2008-2012: Learning의 첫 임계점 통과

- RL이 **+80 ranks** (이전엔 거의 없었음) → 8 papers
- Datasets & Benchmarks (+77 ranks) 첫 등장
- Deep Learning Application (+74 ranks) 첫 등장
- Tactile Sensing (+27 ranks) — sensor fusion 시대의 신호
- 이 cohort가 “learning이 robotics로 들어오기 시작한 순간”로 기록될 것.

2018-2022: Sim-to-Real RL 정착

- RL이 +17 ranks → #12 (38편) — 더 이상 niche가 아님.
- Sim-to-Real Legged Locomotion: 2018 첫 등장 → 2021-2025 누적 18편 단 4년만에 표준 패러다임화.
- Tactile Sensing 고점 (#17) — multi-modal perception이 끝까지 살아남는 영역.
- Reachability Analysis, Robot Safety 부상 — **learning이 deployment 가까워질 수록 safety가 따라온다.**

2013-2017: TAMP + Physical HRI + Foundation 씨앗

- Physical HRI **+38 ranks** → **#15** (32편). 협동로봇 (Cobot)의 등장 시기.
- Task & Motion Planning (TAMP): **+71 ranks** — symbolic + geometric의 결합.
- **Foundation Models의 첫 미세한 등장 (12편)**. 5년 후 폭발의 “ancestor”.
- Multi-Robot Planning (+33 ranks) — multi-agent decision making이 분리된 시기.

사라진 분야 (cohort wall로 본 surface 검증)

- **Visual Servoing**

Pre-2015: 50편 → Post-2020: 4편 (잔존 8%)
 학습 기반 제어 / end-to-end 정책에 흡수됨.

- **Computational Biology Robotics**

Pre-2015: 28편 → Post-2020: 0편 (완전 소멸)
 IJRR 특집호 다수 → 2015 이후 별개 venue로 이동.

- Taxonomy validation: 한 분야가 실제로 “죽었음”을 데이터로 확인하는 능력은 phylogenetic 관점의 핵심 가치.

Citation 정규화 — “인기” vs “영향력”

Phylum	Mean cites	Median	× overall
SLAM & Localization	85.6	42	×1.26
Locomotion	85.0	37	×1.26
Robot Design & Hardware	83.3	36	×1.23
Human-Robot Interaction	77.0	35	×1.14
...
Perception & Sensing	59.1	26	×0.87
Learning for Robotics	47.5	9	×0.70
Theoretical Foundations	44.8	21	×0.66

- Learning for Robotics는 인기 폭발했지만 평균 인용 낮음 — 대부분이 너무 최근 (median 9).
- “인기 분야 ≠ 영향력 큰 분야” — cohort 분석이 이 차이를 설명.

학술지 별 색깔 (T-RO vs IJRR vs RSS)

Venue	Top 1	Top 2	Top 3
T-RO	Locomotion (12.7%)	Manipulation (11.6%)	Robot Design & HW (11.4%)
IJRR	Manipulation (13.9%)	Planning (11.9%)	Locomotion (11.5%)
RSS	Planning (14.1%)	Learning (13.1%)	Manipulation (12.0%)

- RSS의 Learning 비중은 **다른 저널의 약 3배** — RSS가 modern AI 시대의 hub.
- T-RO는 hardware/design, IJRR은 알고리즘 정형 — 분류가 venue의 정체성을 잘 잡아냄.
- **Cohort × Venue**로 더 잘게 보면 RSS의 Learning 비중이 어느 cohort에 폭발했는지도 추적 가능.

교육적 활용

- **학생 진입 시**: 13 Phylum overview → 관심 Phylum의 cohort wall → 그 안의 paradigm shift를 따라가는 **독서 path**
- **문헌 조사 시**: Cohort의 “첫 논문 + dominant paper”를 자동 추천 가능 (이미 viewer에서 DOI 링크로 연결)
- **커리큘럼 설계 시**: 2023+ cohort의 “꼭 읽어야 할 5편”을 분야별로 추출 — phylogeny가 가지치기를 알려줌
- **투자/PI 의사결정**: Faded vs emerging Class의 비대칭 — 어디에 시간을 쓸 것인가

Live Tools

- Site: <https://gisbi-kim.github.io/robotics-paper-phylogeny/>
- 인터랙티브 viewer 두 가지:
 - **Radial Tree** — pie chart, 검색 + 추천 chip + DOI modal
 - **Horizontal Collapsible Tree** — 좌-우 phylogenetic 형태
- URL state share: 특정 wedge 클릭 → #tab=tree&node=... URL 복사로 그 상태 공유
- KR/EN 토글: 우상단 appbar
- 데이터 refresh: `refresh_from_atlas.py` (RoboPaper Atlas snapshot에서 citation/DOI 동기화)

Limitations

- **단일 라벨**: 한 논문 = 한 카테고리. 멀티-필드 논문은 가장 specific한 곳으로 압축됨.
- **제목만 사용**: Abstract 미포함 → 제목이 모호하면 분류 정확도 저하 (Editorial / Unclassified 6.7%).
- **3개 저널 한정**: ICRA/IROS/RA-L 미포함 — 학회 우선의 분야는 과소 표현될 수 있음.
- **Citation 시간 효과**: 최근 cohort는 누적 인용 시간 부족 — 영향력 비교는 절대값보다 cohort-내 정규화로 봐야 함.

워크 예제: Manipulation의 30년

Cohort	Top Manipulation Class	대표 방법론
1988-1992	General Manipulation	직접 inverse kinematics, force control
1993-1997	General Manipulation	Force/Impedance control 표준화
1998-2002	Mechanism Design	Underactuated/dexterous hand 디자인
2003-2007	Grasping (force-closure)	Grasping wrench-space analysis
2008-2012	Grasping (data-driven)	“Grasping novel objects” (Saxena, 2008)
2013-2017	Contact-rich Manipulation	Tactile-driven planning, RL 시도
2018-2022	Contact-rich Manipulation	Diffusion / IL0I force-closure를 추월
2023-2025	Contact-rich + Deformable	VLA, Diffusion Policy, dexterous LLM-driven

한 Phylum 안에서 Class 단위로 paradigm shift가 4-5번 일어남 — phylogeny가 그 가지치기를 추적한다.

워크 예제: SLAM & Localization의 30년

Cohort	State of the art
1988-1997	거의 없음. Occupancy grid mapping의 초기 토대.
1998-2002	Probabilistic robotics 정형화 (Thrun et al.).
2003-2007	FastSLAM, GraphSLAM . SLAM이 main-stage로 (#9).
2008-2012	Visual SLAM , EKF/iSAM/sliding-window 표준.
2013-2017	Visual-Inertial Odometry (VIO) , ORB-SLAM 시리즈.
2018-2022	LiDAR-Inertial Odometry (LIO) , multi-modal fusion.
2023-2025	3D Gaussian Splatting SLAM , neural rendering 결합.

SLAM은 cohort마다 “modality 추가” 패턴 — 단순 → 시각 → IMU 추가 → LiDAR 추가 → neural geometry. Phylogenetic tree로 자연스럽게 표현됨.

Future Work

- **Cohort × Phylum heatmap**: 각 cohort의 phylum signature를 한 행으로
- **Class-level alluvial**: 인접 cohort 간 rank 흐름을 Sankey로 시각화
- **Author network 결합**: 누가 어떤 paradigm shift를 끌고 왔는가
- **Abstract 추가**: 분류 정확도 향상 + Genus 단계 sub-rule 확장
- **ICRA/IROS 통합**: 7,477 → 80k+ 규모로 확장 (atlas에 이미 있음)

한 줄 요약

Robotics 30년은

SLAM (2003-07) → Learning seeds (2008-12) → Sim-to-Real (2018-22) → Foundation Models (2023+)

4번의 분기점으로 정리된다.

Q&A

?

<https://gisbi-kim.github.io/robotics-paper-phylogeny/>