**[251114] MAS(멀티 에이전트 시스템) 설계 서베이**

**요약**

* **단일 에이전트 (Luo et al.)**: LLM 에이전트를 **Profile–Memory–Planning–Action** 4모듈로 정의하며, 단일 Agent의 사고·행동 구조를 설명.
* **멀티 에이전트 시스템(MAS, Li et al./Chen et al.)**: MAS를 **Profile–Perception–Self-action–Mutual Interaction–Evolution** 5단계로 정립하고, 역할·상호작용·통신·도메인 응용 관점을 제시.
* **Self-Evolving Agent (Guo et al.)**: 에이전트가 **System Inputs–Agent System–Environment–Optimisers** 피드백 루프를 통해 프롬프트, 메모리, 툴, 워크플로, 구조까지 스스로 개선하는 프레임 제안.
* **설계 핵심 요소**: 프로파일 설계, 하이브리드 메모리, 계획(단일 경로/Multi-path/PDDL), Action·Tool 스키마, MAS 상호작용 구조(협업·토론·검증)

**| 0. 목적 및 개요**

이 보고서는 다음 네 편의 서베이 논문을 바탕으로:

1. [**A Survey on Large Language Model based Autonomous Agents**](https://arxiv.org/abs/2308.11432) (*Luo et al., 2025,*단일 LLM 에이전트)
2. [**A survey on LLM-based multi-agent systems: workflow, infrastructure, and challenges**](https://link.springer.com/article/10.1007/s44336-024-00009-2) (Li et al., 2025, 워크플로·인프라 중심 MAS)
3. [**A Survey on LLM-based Multi-Agent System: Recent Advances and New Frontiers in Application**](https://arxiv.org/abs/2412.17481) (Chen et al., 2025, 응용·도메인 중심 MAS)
4. [**A Comprehensive Survey of Self-Evolving AI Agents**](https://arxiv.org/abs/2508.07407) (Guo et al., 2025, 자기진화 에이전트)

**“AI 에이전트 설계자 관점”**에서 공통된 설계 프레임을 추출하고, **단일 에이전트 → 멀티 에이전트 시스템 → 자기진화형 에이전트**까지 연속선 위에서 정리·재구성한 설계 지침을 제시합니다.

**| 1. 각각의 서베이 논문이 제시하는 큰 그림**

**| 1-1. 단일 LLM 에이전트: 4모듈 프레임워크**

*Luo et al의*Autonomous Agent 서베이는 LLM 기반 에이전트를 **Profile – Memory – Planning – Action** 4개 모듈로 통합 프레임을 제안합니다.

텍스트, 스크린샷, 폰트이(가) 표시된 사진

AI 생성 콘텐츠는 정확하지 않을 수 있습니다.

* **Profile**: 역할, 인격, 배경 정보(나이·직업·성격·관계 등)를 프롬프트에 encode하여 LLM 행동을 규정
* **Memory**: 읽기/쓰기/반성(reflection)을 포함하는 통합/하이브리드 메모리 구조
* **Planning**: 피드백 없이 단일 경로 추론 vs 피드백/외부 플래너를 활용한 계획
* **Action**: 도구(툴 호출/DB/API 등)와 환경 상호작용을 통해 계획을 실행

→ 이 프레임은 **“하나의 에이전트 인스턴스” 설계에 최적화**되어 있습니다.

**| 1-2. LLM 기반 멀티에이전트 시스템: 5단계 워크플로**

[Li et al.의 MAS 서베이](https://link.springer.com/article/10.1007/s44336-024-00009-2)는 LLM-MAS를 **Profile – Perception – Self-action – Mutual Interaction – Evolution**5개의 워크플로 모듈로 정리합니다.

텍스트, 스크린샷이(가) 표시된 사진

AI 생성 콘텐츠는 정확하지 않을 수 있습니다.

* **Profile**: 역할·목표·능력·권한을 정의해 에이전트의 행동 스타일을 결정
  + 책임 분담을 위해 Planner / Worker / Critic / Aggregator 에이전트 등으로 구체화된다.
  + 입력: Domain 지식, 요구 기능 / 출력: 에이전트 설정(Profile JSON)
* **Perception**: 환경/유저/다른 에이전트의 멀티모달 정보를 구조화하여 인식
  + 환경 이벤트(log/state), 다른 에이전트 메시지, 자기 행동에 대한 Observation까지 모두 포함한다.
  + 입력: 유저 질의, 환경 상태, 타 에이전트 메시지 / 출력: 정제된 관찰 정보(observation)
* **Self-action**: 메모리·지식·툴을 활용해 추론→계획→행동을 선택
  + Retrieval, Tool 선택, 계획 생성, 응답 산출까지 포함한 “개별 에이전트의 두뇌” 역할.
  + 입력: observation + memory / 출력: action(툴 호출, 메시지, 계산 결과 등)
* **Mutual Interaction**: 여러 에이전트가 메시지 교환·토론·검증·합의를 수행
  + 구조는 중앙집중/분산/계층/그래프형 중 선택하여 설계한다.
  + 입력: 개별 에이전트의 action / 출력: 그룹 의사결정 결과(계획안, 검증통과, 합의안 등)
* **Evolution**: 보상·오류·피드백에 기반해 전략/역할/프롬프트/메모리를 지속 개선
  + 자기반성(Self-reflection), 타인 평가, 사용자 피드백까지 포함하여 장기적 성능을 향상시킨다.
  + 입력: reward/feedback/log / 출력: 개선된 프로파일·프롬프트·전략·메모리

→ 이 프레임은 **“에이전트 집단과 상호작용 구조” 설계에 초점**이 있습니다.

Chen et al.의 LLM-MAS 서베이는 멀티에이전트 시스템을 **적용 도메인 중심**으로 분류하며, 복잡 문제 해결·시뮬레이션·사회 시스템·정책/경제 모델링·에이전트 평가·훈련 등 다양한 활용 영역을 체계적으로 제시.  
. 텍스트, 도표, 스크린샷, 폰트이(가) 표시된 사진

AI 생성 콘텐츠는 정확하지 않을 수 있습니다.

* MAS가 적용되는 분야를 **추론·의사결정·커뮤니케이션 최적화·집단 협력**까지 확장된 능력 기반 영역으로 구조화한다.
* 게임·사회·정치·경제 등 **시뮬레이션 중심 도메인**에서 다중 에이전트 간 상호작용을 통해 복잡한 사회적 현상을 모델링한다.
* 생성형 에이전트 평가, 데이터 생성, RL 기반 훈련 등 **평가·학습 도메인**도 별도 축으로 분리해 MAS의 발전 로드맵을 제시한다.
* 환경(Environment), 규칙(Rules), 툴(Tools), 프롬프트, 메모리 등 MAS 구성 요소가 **각 도메인 요구에 맞게 재조합**되는 구조를 설명한다.
* 전체 그림은 LLM과 개별 에이전트, 그리고 환경이 **도메인별 Agentic System으로 통합되는 방식**을 보여주는 도메인 지도 역할을 한다.

**| 1-3. Self-evolving 에이전트: 피드백 루프와 4요소**

Self-Evolving 서베이는 “정적 프롬프트+워크플로” 한계를 지적하면서, **자기진화(Self-evolving) 에이전트**를 위해 다음 네 컴포넌트로 묶인 피드백 루프를 제안합니다.

텍스트, 스크린샷, 만화 영화이(가) 표시된 사진

AI 생성 콘텐츠는 정확하지 않을 수 있습니다.

* **System Inputs**: 사용자 목표, 도메인 지식, 데이터
* **Agent System**: LLM, 메모리, 툴, 워크플로, 통신 메커니즘
* **Environment**: 시뮬레이션/실세계 시스템에서 오는 관측·보상·로그
* **Optimisers**: 프롬프트, 워크플로, 메모리 구조, 툴 셋, 에이전트 토폴로지를 자동 개선하는 모듈

또한 LLM 중심 학습 패러다임을 **MOP → MOA → MAO → MASE**로 정리합니다.

텍스트, 스크린샷, 도표이(가) 표시된 사진

AI 생성 콘텐츠는 정확하지 않을 수 있습니다.

* MOP(Model Offline Pretraining): 우리가 아는 일반 pretraining 모델을 가진 Agent
* MOA(Model Online Adaptation): SFT, RLHF 등 온라인 적응
* MAO(Multi-Agent Orchestration): 여러 LLM/에이전트의 협업·토론·툴 호출 (A2A, MCP)
* MASE(Multi-Agent Self-Evolving): 에이전트가 환경 신호를 이용해 자기 구조/정책까지 최적화

→ 이 논문은 “**에이전트를 누가 어떻게 계속 개선할 것인가**”에 포커스가 있습니다.

**| 2. 단일 LLM 에이전트 설계를 위한 정리**

텍스트, 스크린샷이(가) 표시된 사진

AI 생성 콘텐츠는 정확하지 않을 수 있습니다.

**| 2-1. Profile 설계**

Autonomous Agent 서베이와 MAS 서베이 모두 **프롬프트 기반 프로파일링**을 핵심 출발점으로 봅니다.

**구성 요소**

* 기초 정보: 이름, 역할/직무, 도메인, 전문성 레벨
* 심리 정보: 성향(보수적 vs 공격적), 말투, 협업 스타일
* 사회 정보: 상하 관계, 팀 구조, 책임 범위
* 제약: 하지 말아야 할 행동, 권한 범위

**프로파일 생성 전략**

1. **Handcrafting**: 사람이 직접 모든 역할 프롬프트를 설계
2. **LLM-generation**: “역할 생성 규칙”을 정의하고 LLM이 다수의 에이전트 프로파일을 생성
3. **Dataset alignment**: 실제 로그/대화/행동 데이터를 요약해 프로파일로 추출

**| 2-2. Memory 모듈 설계**

메모리는 에이전트의 “내적 상태”를 유지하고 진화를 가능케 하는 핵심입니다.

텍스트, 스크린샷, 폰트, 번호이(가) 표시된 사진

AI 생성 콘텐츠는 정확하지 않을 수 있습니다.

**(1) 메모리 오퍼레이션**

* Retrieval: Recency / Relevance / Importance 기반 자동 검색
* Storage: 성공/실패 경험, 요약 정보, structured triplet 등 저장
* Reflection: 여러 기록을 상위 개념으로 요약해 “교훈”이나 “규칙”으로 재구성

**(2) 메모리 구조**

* Unified memory: 하나의 저장소에 대화·이벤트·지식이 뒤섞인 형태
* Hybrid memory: 단기/장기, 에피소드/지식, 벡터DB/키밸류 DB 등으로 계층화

**| 2-3. Planning 모듈 설계**

서베이는 계획을 크게 **피드백 없는 계획** vs **피드백 기반 계획**(환경·인간·모델 피드백)으로 나눕니다.

텍스트, 스크린샷, 도표, 폰트이(가) 표시된 사진

AI 생성 콘텐츠는 정확하지 않을 수 있습니다.

* **Single-path reasoning**: CoT 한 줄로 쭉 진행
* **Multi-path reasoning**: 다수의 계획을 생성–비교–투표
* **External planner**: PDDL/외부 플래너에 문제를 변환해 최적 경로를 찾고, 다시 자연어로 풀어씀
  + **PDDL (Planning Domain Definition Language)**: AI가 계획 문제를 이해하도록 만드는 표준 언어, 현재 상태(initial), 목표(goal), 가능한 행동(actions: 조건·효과) 정의

**| 2-4. Action 및 Tool 사용 설계**

Action 모듈은 “계획을 실제로 시스템에 반영”하는 부분입니다.

* Action target:
  + 사용자 답변, API 호출, DB 질의, n8n/EAIP 워크플로 호출 등
* Tool space:
  + 툴 목록, 파라미터 스키마, 호출 제약
* Execution policy:
  + 계획을 그대로 따를지(Plan following) vs 중간에 새로운 action을 synthesise 할지

**| 3. 멀티 에이전트 시스템(MAS) 설계 포인트**

**| 3-1. 에이전트 프로파일과 역할 분할**

Li et al.와 Chen et al.은 LLM-MAS의 핵심을 **“다양한 역할을 가진 에이전트들이 상호작용하며 집단 지능을 만든다”**라고 봅니다.

**| 3-2. Perception: 메시지 소스와 모달리티**

MAS에서 Perception은 단일 에이전트보다 더 복잡합니다.

**메시지 소스**

1. Environment message: 시간, 장소, 시스템 상태, 로그, 이벤트
2. Interaction message: 에이전트 간 대화, 명령, 협상 내용
3. Self-reflection message: 자기 행동·실패/성공에 대한 내적 서술

**모달리티**

* Text가 기본, Vision·Audio·센서 정보까지 확장하여 MLLM 기반 Perception 구성

**| 3-3. Mutual Interaction: 통신 구조**

Li et al.은 MAS 커뮤니케이션을 **패러다임, 구조, 콘텐츠**로 나눕니다.

텍스트, 도표, 평면도이(가) 표시된 사진

AI 생성 콘텐츠는 정확하지 않을 수 있습니다.

* Paradigm:
  + 협력/cooperative, 경쟁/adversarial, 혼합/mixed
* Structure:
  + 중앙집중형 (Coordinator/Manager 에이전트)
  + 분산형 (모두가 서로 메시지를 교환)
  + 계층형 (L1 Planner, L2 Worker 등)
  + 중첩형/그래프형 (부분집단/서브팀 존재)
* Content:
  + 자연어만 vs structured protocol (JSON, key-value)

**| 3-4. Evolution: MAS 관점의 진화**

MAS에서 Evolution은 **개별 에이전트 수준 + 시스템 수준(토폴로지/프로토콜)** 두 레벨입니다.

* Agent level:
  + 메모리 reflection으로 행동 규칙 업데이트
  + 역할 전환 또는 스페셜리제이션 심화
* System level:
  + 어떤 에이전트 조합/구조가 성능이 좋은지 탐색
  + 통신 프로토콜(메시지 길이, 형식, 빈도) 최적화

**| 4. Self-Evolving AI Agent 설계 관점**

Self-Evolving 서베이는 “현재 Agent 시스템의 끝판왕 요구사항”을 정의합니다.

**| 4-1. 네 컴포넌트 피드백 루프**

텍스트, 스크린샷, 만화 영화이(가) 표시된 사진

AI 생성 콘텐츠는 정확하지 않을 수 있습니다.

1. **System Inputs**:
   * 목표, 평가 메트릭, 도메인 제약(법률/리스크 등)
2. **Agent System**:
   * 지금까지 설명한 Profile·Memory·Planning·Action + MAS 토폴로지 전체
3. **Environment**:
   * 실제 사용자, 비즈니스 시스템, 시뮬레이션 환경에서 로그·보상·실패 사례를 수집
4. **Optimisers**:
   * 프롬프트, 툴 셋, 메모리 구조, 에이전트 구성, 워크플로 그래프를 자동/반자동으로 개선하는 모듈

**| 4-2. 무엇을 진화시킬 것인가? (What to evolve)**

진화의 대상들.

텍스트, 스크린샷, 폰트이(가) 표시된 사진

AI 생성 콘텐츠는 정확하지 않을 수 있습니다.

* Foundation model (라벨·로그 기반 추가 파인튜닝)
* Agent prompts (역할/지침 최적화)
* Memory (저장 정책, 구조, 요약 방식)
* Tools (어떤 툴을 쓸지, 파라미터 템플릿)
* Workflows (step 순서, 분기 조건)
* Communication mechanisms (토론/투표/질문 전략)

**| 4-3. 언제·어떻게 진화시킬 것인가? (When / How to evolve)**

텍스트, 스크린샷, 폰트이(가) 표시된 사진

AI 생성 콘텐츠는 정확하지 않을 수 있습니다.

**When**

* 주기적(배치): 하루/주 단위 로그로 retraining 또는 offline optimisation
* 이벤트 기반: 실패율 급증, 특정 에러 패턴, 사용자의 강한 피드백 발생 시
* 온라인 소규모 업데이트: 메모리/프롬프트 수준의 빠른 patch

**How**

* Search / RL: 프롬프트·워크플로를 검색 공간으로 보고 성능 기반 탐색
  + 프롬프트나 워크플로의 여러 버전을 만들어보고, 그중 가장 잘 작동하는 조합을 자동으로 찾아낸다
* Gradient-based editing & model editing: 특정 지식/규칙을 파라미터 레벨에서 수정
  + LLM 내부의 파라미터를 직접 조금만 고쳐서, 특정 지식이나 규칙을 ‘주입·수정
* Multi-agent self-play & debate: 에이전트끼리 토론/자기비판을 통해 더 나은 정책 도출