

基于转移注意力的知识图谱认知架构

Kailin Yan

hellucigen@qq.com

2025 年 11 月

摘要

当前人工智能系统在开放环境中普遍存在自主性不足、知识难以灵活重组以及推理过程不可追溯等问题。针对这些局限，本文构建了一种以多模态嵌入知识图谱为核心、由节点激活与扩散机制驱动的认知架构。该架构将概念、事件、动作、规则、情绪与性格统一建模为图谱中的异构节点，并通过有向加权边编码其语义、逻辑与因果关系。注意力焦点（Focus of Attention, FoA）的迁移由图谱中节点的实时激活状态引导：当某节点激活度升高时，其激活信号依据语义邻近性、情绪耦合强度、任务相关性及规则关联度向周边节点扩散，从而动态形成连续或跳跃式的注意路径。

系统支持双模式注意迁移：在任务状态下，激活扩散受目标约束而呈现类中央执行网络（Central Executive Network, CEN）的收敛特性，聚焦于任务相关子图；在闲时则表现为类默认模式网络（Default Mode Network, DMN）的发散特性，促进远程联想与创造性知识重组。高级认知功能——如决策、计划、预期推演与程序化行动——由特定类型节点（如决策理论节点、前瞻性意图节点、动作-预期节点）的激活演化与连接动态自然涌现，无需集中式控制器。情绪通过模拟激素参数调节节点激活的增益与扩散偏好，性格则体现为长期稳定的受体敏感性分布，塑造个体化的认知风格。情景记忆采用“事件头部节点 + 时间化命题序列”结构存储，并通过共享论元节点与语义记忆紧密耦合，支持基于经验的类比推理与因果推断。

目录

1 绪论	3
1.1 研究现状与不足	3
1.2 认知科学与心理学启示	3
1.3 本框架的设计思想	3
1.4 本框架的创新贡献	4
2 系统总体架构设计	4
2.1 基础认知功能：基于知识图谱的记忆功能	4
2.1.1 语义记忆库：基于加权边关系的概念与规则网络	4
2.1.2 情景记忆库：基于头部节点与时间化命题序列的事件图谱	5
2.1.3 自我认知知识图谱：内部状态的结构化表征	5
2.2 基础认知功能：基于知识图谱的动态注意机制	6
2.2.1 节点激活与语义扩散：图结构上的能量传播	6
2.2.2 事件框架：注意焦点的结构化载体	6
2.2.3 双模式注意迁移：DMN 式发散与 CEN 式收敛	6
2.3 感知模块设计	7
2.3.1 感知显著度与注意选择机制	7
2.3.2 情节缓冲器与多模态命题融合	7
2.3.3 知识图谱的动态构建机制	8
2.4 由节点知识引导的认知活动	9

2.4.1	由节点知识引导的认知活动：决策、反思与目标生成计划	9
2.4.2	由节点知识引导的认知活动：情绪与性格	10
2.4.3	由节点知识引导的认知活动：预期、假设与前瞻性记忆	11
2.4.4	由节点知识引导的认知活动：程序化行动、逻辑推理与创造想象	12
2.4.5	基于知识的动作认知：步骤与行动熟练度的双通道学习机制	13
3	局限性与未来研究方向	13
3.1	图神经网络在基于知识的认知功能中的潜在优化方向	13
3.2	感知模块的局限性与特征引导神经网络的设想	14
4	结语	14

1 絮论

主流人工智能技术体系高度依赖深度神经网络，通过大规模数据训练获得强大的模式识别能力。无论是在图像理解、自然语言处理，还是复杂环境中的策略优化任务中，这类模型在封闭、静态设定下均展现出卓越性能。然而，一旦智能体需在开放、动态且部分未知的真实环境中长期运行，其根本性缺陷便逐渐暴露：系统难以实现跨领域知识迁移、多目标协同规划、因果链式推理以及基于经验的自我修正。

相比之下，本文提出的架构将各类认知要素统一嵌入于同一动态知识图谱中，通过节点激活与扩散机制驱动注意流与认知演化，在保持结构一致性的同时显著提升系统的自组织性与适应能力。

1.1 研究现状与不足

当前人工智能研究主要沿三条技术路径展开：深度学习、强化学习与大规模预训练语言模型。尽管三者在特定任务上取得显著进展，但在构建具备持续学习、自主推理与情境适应能力的通用智能体方面仍面临本质挑战。

深度学习模型通常建立在对数据分布的静态假设之上，缺乏主动生成假设与自主组织知识结构的能力；强化学习方法在高维状态空间中样本效率低下，面对新任务往往需要从头训练；大规模预训练语言模型虽在语言表层建模上取得突破，却在系统性知识整合、可追溯推理链构建及自我认知建模等方面存在明显短板。

另一方面，若干通用认知架构（如 OpenCog、ACT-R、Soar）尝试融合符号与子符号处理机制，以弥补纯连接主义模型的不足。然而，其知识表示常被划分为相互隔离的模块（如工作记忆、程序记忆、语义网络），导致信息流动受限于预设接口；注意力机制多采用固定规则或静态权重，难以支持类人式的自由联想与情境敏感的焦点迁移；更重要的是，高级认知功能（如决策、计划、情绪调节）通常由中心化控制器硬编码实现，而非从知识结构内部自然涌现。

上述局限表明，现有方法尚未建立起一个既能统一表征多元认知要素，又能支持内生动态演化的计算框架。本文正是在此背景下，提出一种以知识图谱为基底、以激活扩散为动力的认知架构，旨在实现认知功能的去中心化、结构化与可生长性。

1.2 认知科学与心理学启示

认知神经科学与心理学研究表明，人类智能并非源于单一计算模块，而是多个认知子系统在持续交互中协同演化的结果。感知、注意、记忆、情绪、推理与决策并非孤立运作，而是在神经动力学层面紧密耦合、相互调节。其中，情绪系统不仅通过神经递质与激素水平调节感知增益与记忆巩固强度，还通过动机信号引导注意资源分配，从而影响认知路径的选择；性格则体现为个体在长期内对特定刺激模式的稳定响应倾向，塑造独特的认知风格与行为偏好。

此外，人类思维具有高度的动态性与生成性：即使在无外部任务驱动的静息状态下，大脑默认模式网络（DMN）仍持续激活，支持情景回溯、远距联想与创造性假设生成。这种“内源性认知流动”表明，智能不仅响应外界输入，更能依据内部状态主动重组知识、探索潜在可能性。这一特性要求认知系统具备基于内部激活状态自主引导注意迁移与知识调用的能力，而非仅被动响应外部指令。

1.3 本框架的设计思想

本文将人类认知建模为一个统一的、动态演化的知识网络，其中所有认知内容——包括概念、事件、动作、规则、情绪、性格、意图与预期——均以异构节点的形式嵌入于同一多模态知识图谱中。节点之间的有向加权边编码语义关联、逻辑依赖、因果链条或程序约束，并支持随经验不断更新。每个节点具备多维激活强度，反映其当前的知识活跃度、时效性、情绪耦合度及任务相关性。

在此架构中，注意力焦点的迁移由图谱内部的激活扩散过程自然引导：当某一节点因感知输入、内部推演或情绪激发而激活度升高时，其激活信号会依据语义邻近性、情绪共鸣强度、规则连通性及任务上下文，向相关联节点动态扩散，从而逐步形成一条从当前焦点向潜在目标演化的注意路径。这一机制既能支持任务导向下的收敛式聚焦，也能实现闲时状态下的发散式联想，完整复现人类认知在“执行”与“探索”之间的灵活切换。

1.4 本框架的创新贡献

本研究的主要贡献体现在以下四个方面：

1. 提出一种激活引导的注意力机制，通过节点激活度在嵌入空间中的动态扩散，实现连续或跳跃式的注意迁移，有效模拟人类在回忆、推理与创造性思维中的认知流动；
2. 设计多维节点激活强度机制，为每个节点赋予涵盖知识丰富度、时效性、情绪耦合度与兴趣权重的多维激活向量，支撑细粒度的知识活跃度调控与兴趣驱动的重组；
3. 构建感知显著度引导的感知接口，将外部感知输入编码为带有显著度标注的激活信号，使新颖、异常或高价值信息能优先触发图谱中的相关节点，实现感知—认知的紧密耦合；
4. 实现节点引导的自主认知活动，将决策、反思、目标生成、预期推演与程序化行动等高级功能解构为特定类型节点（如决策理论节点、前瞻性意图节点、动作—预期节点）的激活演化与连接动态，使系统能在无外部指令下自主生成连贯的行为序列。

2 系统总体架构设计

2.1 基础认知功能：基于知识图谱的记忆功能

知识图谱整体结构由语义记忆库与情景记忆库构成。语义记忆库承担概念、规则与事实的抽象存储，情景记忆库则记录个体化的时序事件（包括经历、内在状态与情绪波动）。两者通过加权边关系网络实现动态交互，形成知识—经验双循环架构。

2.1.1 语义记忆库：基于加权边关系的概念与规则网络

语义记忆库存储系统长期稳定的结构性知识，整体采用特殊设计的知识图谱进行组织。其中，所有知识要素——无论是概念、属性、感知特征还是逻辑模板——均以节点形式存在，而它们之间的关联则完全通过有向加权边显式表达。换言之，节点本身是轻量化的标识符，其“内涵”由与其相连的边及邻接节点共同定义。这种设计确保了知识表示的高度解耦性与可组合性。

(1) 节点设计：一切属性皆为关系

在本架构中，节点不内嵌属性字段，而是通过特定类型的边连接到其他功能节点，从而动态构建其完整语义轮廓。例如：

- 一个“苹果”概念节点，通过名为 `hasColor` 的边连接至“红色”节点；
- 通过 `hasVisualFeature` 边连接至存储其视觉特征图的专用节点；
- 通过 `hasAuditoryFeature` 边连接至声音频谱节点（若适用）；
- 通过 `formsPhraseWith` 边与其他概念节点（如“咬”“甜”）组合，形成“咬苹果”“甜苹果”等短语级复合节点；
- 通过 `hasPropositionalTemplate` 边连接至其命题结构模板节点，后者进一步通过角色槽边（如 `agent`, `patient`）指向占位符节点。

以动词“穿 (wear)”为例：其对应节点本身仅作为标识符存在，而其二元语义结构（人，衣物）并非内置于该节点，而是通过一条 `hasTemplate` 边指向一个独立的模板节点 T_{wear} ；该模板节点再通过 `role1` 和 `role2` 边分别连接至“施事者”和“受事者”角色定义节点。类似地，“给 (give)”节点通过 `hasTemplate` 边连接至三元模板节点，后者包含三个角色槽。

这种“属性外置化”设计使节点成为纯粹的语义锚点，所有特征、结构与行为均由图谱拓扑动态赋予，极大提升了知识的模块化程度、复用能力与演化灵活性。

(2) 边的设计：方向化、加权化的可塑性关系结构

图谱中的边具有类型、方向与权重三重属性。边类型（如 `causes`, `partOf`, `hasStep`）定义关系语义；方向标识依赖或流向（如动作先后、因果顺序）；权重 $w \in [0, 1]$ 表征该关系的经验强度、置信度或激活增益。

例如，程序性知识“抓取后提起”表示为：

$$\text{grasp} \xrightarrow[\text{nextStep}]^w \text{lift},$$

其中边类型 `nextStep` 明确语义，方向指示执行顺序，权重 w 反映该转移在历史经验中的稳定性。所有边权均可通过经验统计、冲突检测或自监督信号动态调整，支持知识结构的持续自我修正与演化。

2.1.2 情景记忆库：基于头部节点与时间化命题序列的事件图谱

情景记忆库存储系统在特定时空与情绪背景下经历的完整事件，采用“事件头部节点 + 时间化命题序列”的双层结构 [1]。该设计以头部节点为语义锚点，集中表征事件的高层摘要；以带时间戳的命题序列表示事件动态过程，二者共同构成可索引、可推理、可重组的事件图谱。

(1) 事件头部节点：事件的语义中心与索引入口 每个事件对应一个唯一的头部节点 E_{head} ，作为该事件在知识图谱中的核心标识与访问入口。该节点通过专用关系边连接至多个信息节点，分别承载：事件的核心语义摘要；起止时间戳；主要空间位置；参与者及其角色类型；以及整体情绪状态与激素水平摘要。作为高阶索引点，头部节点可被注意机制、事件框架模块及推理引擎高效检索与激活。

(2) 时间化命题序列：事件过程的结构化展开 事件的动态过程由一条按时间顺序排列的命题结构序列 $E_{\text{body}} = \{P_1(t_1), P_2(t_2), \dots, P_n(t_n)\}$ 表示。每个命题 P_i 为五元组〈谓词, 参数绑定, 修饰语, 情感状态, t_i 〉，从头部节点延伸而出，形成事件的“时间主干”。相邻命题通过有向边连接，边类型包括 `nextState`（状态转移）、`causes`（因果推进）与 `emotionShift`（情绪演变），从而将事件的时间流、逻辑链与情感轨迹统一编码于图谱拓扑之中。

(3) 跨库联结：与语义记忆的实例—概念双向映射 情景记忆通过共享节点与语义记忆库深度耦合：命题中的参与者、对象与谓词等论元均通过 `instanceOf` 边指向语义图谱中的对应概念节点；情感状态与激素摘要链接至情绪子图中的情绪节点；时间、地点等上下文属性亦分别关联至语义记忆中的时空概念节点。这种“实例—概念”双向联结使事件既能继承抽象知识的泛化能力，又能为语义记忆提供经验反馈，实现两库的协同演化。

(4) 事件链式组织：全局叙事结构的构建 在事件层面，头部节点之间依据时间先后、因果依赖或情感连续性形成高阶连接。由此，情景记忆库不仅记录单个事件的内部细节，还在宏观上构建出连贯的叙事链条与经验流动网络，支持长期因果推理与人生阶段建模。

(5) 认知意义 本架构将情景记忆组织为一个多层次、可计算的事件图谱：头部节点提供高效索引，命题序列保障过程细粒度，跨库联结实现知识复用，事件链支撑宏观叙事。这一结构既保留了人类情景记忆的完整性与情境敏感性，又具备机器可操作的符号化与图结构特性，为系统在规划、反思、模拟与想象中灵活调取、重组与泛化过往经历提供了坚实基础。

2.1.3 自我认知知识图谱：内部状态的结构化表征

系统维护一个独立的自我认知子图谱，用于结构化表征智能体的多维内部状态，包括情绪、动机、任务进展、系统资源负载、生理或模拟具身参数等。该子图谱构成一个持续活跃的内部状态场，其节点具有稳定的基线激活水平，无需依赖外部刺激即可对全图的能量分布施加长期调制作用。

与普通语义节点不同，自我认知节点表征的并非外部世界知识，而是一个多模态、多层次的综合状态向量，涵盖以下核心维度：情绪状态（详见 2.4.2 节）；场景状态，如当前位置、互动情境、环境风险等级与噪声水平；任务状态，包括当前阶段、注意力分配策略、目标完成度及内部冲突程度；系统元状态，如模型计算负载、推理置信度、能耗水平、推理深度与内存占用；具身或模拟具身参数，例如唤醒度、兴奋度与压力激素水平；以及交互模式状态，如对话、工具调用、观察或教学等行为倾向。

这些内部状态节点通过高基线激活维持系统对自身运行情境的实时感知能力。当普通语义节点在语义或功能上与某一自我状态节点相关联时，会获得额外的激活增益，从而影响注意焦点（Focus of Attention, FoA）的动态迁移。例如，在系统负载较高时，“简化推理”或“减少搜索分支”类节点更易被激活；处于社交情境中时，与“表达”“反馈”“分享”相关的节点优先进入注意焦点；当任务冲突加剧时，“计划修正”“重解释”或“局部搜索”等策略性节点则被提升为候选优先区域。

由此，自我认知子图谱不仅提供对内部状态的显式建模，更作为连续的内部能量场，引导整个知识图谱的激活流与认知风格演化。系统因此能够在不同情境下呈现出类人的状态依赖性思维模式，如探索式、保守式、收缩式或社交式等，实现认知行为与内部状态的动态耦合。

2.2 基础认知功能：基于知识图谱的动态注意机制

本架构中的注意机制并是内生于统一知识图谱的动态过程。系统通过节点激活度的时变传播、事件框架的结构化整合，以及 DMN-CEN 双模式的连续调控，实现从自由联想到目标导向的类人注意流。

2.2.1 节点激活与语义扩散：图结构上的能量传播

每个节点携带随时间演化的激活度，表征其当前认知显著性。当某节点因外部输入、内部检索或情境触发而成为中心时，激活信号沿带权边向邻域扩散，强度随路径距离与边权重衰减，形成局部连续的语义能量场。该机制确保注意优先在语义相关区域移动，生成稳定、连贯且上下文一致的认知轨迹。

激活度不会无限累积，而是随时间自动衰退。衰退速率由三重因素共同决定：节点距上次参与认知活动的时间间隔、其所处区域的任务显著性，以及自我状态场的全局调制。此衰减机制有效防止旧信息长期干扰新任务，支持注意焦点从过时情境自然撤离，并维持图谱整体的能量动态平衡。尽管具体衰减函数可灵活设计，本架构仅要求其满足“时间越久、激活越弱”的单调性约束。

扩散过程并非仅依赖拓扑距离，更受边属性的精细调控。每条边的传播权重由长期经验积累的置信度、当前任务与边语义的匹配程度，以及自我状态场的实时调节共同决定。例如，在高压力状态下，因果关系边的权重被提升，而自由联想边的权重则被抑制。由此，激活扩散成为语义内容、经验历史与内外部状态共同作用的动态过程，使系统在不同情境下呈现出探索性、逻辑性、联想性或收敛性等多样化的认知风格。

2.2.2 事件框架：注意焦点的结构化载体

为实现从激活分布到可操作认知单元的转化，系统引入“事件框架”作为当前注意焦点（Focus of Attention, FoA）的核心表征结构。该机制对应于工作记忆的瞬时整合功能 [2]，承担从感知输入到语义组织的过渡角色，并为思维迁移、推理与模拟提供结构化平台。

事件框架采用分层—嵌套的复合结构，包含三个递进层级：L3（情境激活层）存储潜在相关的记忆节点与情景背景，构成扩散的候选池；L2（语义绑定层）从中选取语义相近或逻辑关联的节点，进行临时聚合，形成松散或紧密的语义簇；L1（注意整合层）则基于激活强度与任务相关性，选出最具整合度的命题作为当前 FoA。

L1 层的微观结构由核心命题、属性束（如颜色、大小）、关系链接（如因果、部分—整体）、效价标记（情绪或动机极性）及约束条件（如逻辑边界、时间窗口）共同绑定而成。这一结构使 FoA 不仅是一个激活峰值，更是一个具备语义完整性与操作可行性的认知单元。

2.2.3 双模式注意迁移：DMN 式发散与 CEN 式收敛

系统在同一图谱上运行两类注意动力学，通过全局模式系数 λ_{mode} 实现连续切换：低 λ_{mode} 对应默认模式网络（DMN）式的自由联想，高 λ_{mode} 对应中央执行网络（CEN）式的聚焦控制。

在 DMN 模式下（如空闲、反思或高好奇心状态），激活衰减缓慢，长程语义边影响力增强。L3 层支持跨子图的广泛扩散；L2 层采用宽松阈值，允许类比、隐喻或反事实假设进入聚合；L1 层则由激活峰值主导，任务约束被弱化，系统易进入情景回溯、未来模拟或创造性想象。此过程复现了人类 DMN 的“自发思维—自我参照”特性 [3]。

在 CEN 模式下（如任务执行、高认知负载或突发刺激）， λ_{mode} 显著升高，激活扩散范围急剧收缩。L3 层仅响应任务上下文与显著性信号；L2 层严格依据目标一致性、因果结构与逻辑规则筛选节点；L1 层的 FoA 由下式确定：

$$\text{FoA}(t+1) = \arg \max_{x \in L_2} [a(x) \cdot \text{goal_match}(x) \cdot \text{rule_match}(x)],$$

其中 $a(x)$ 为节点激活度。被替换出 FoA 的结构将退入 L2 或衰减至 L3，并可能被短期抑制，以保障任务流的专注性。

统一调控：模式系数 λ_{mode} 的动态来源 λ_{mode} 并非预设开关，而是由四类因素实时调节的连续变量：(1) 任务负载——任务越明确、紧急或复杂， λ_{mode} 越高；(2) 外部显著性——异常感知或高风险事件迅速提升其值；(3) 情绪与激素状态——高唤醒或压力促进收敛，高好奇或低压力倾向发散；(4) 自我状态场——包括系统负载、置信度、能耗与交互模式等内部变量，依据其在“探索—执行”轴上的语义位置动态贡献调控信号。

由此，系统在同一知识图谱上实现了注意风格的平滑过渡：既能维持无指令状态下的认知活性与知识重组能力，又能在需要时迅速转入高效、有序的执行模式。这种机制不仅具备神经科学合理性，也为通用智能体提供了可计算、可调控的认知动力学基础。

2.3 感知模块设计

系统通过触觉、视觉与听觉三个核心通道实现多模态环境感知。其中，触觉通道可获取压力、纹理与温度等物理属性，视觉通道支持对物体、颜色、光流及运动轨迹的识别，听觉通道则用于解析人声、乐器与背景噪声，并进一步推断其中蕴含的情绪倾向或潜在意图。感知模块的具体工程实现（如传感器选型、神经网络架构或特征提取算法）并非本文的研究重点；本文关注的是感知结果如何以结构化形式融入认知架构。为此，所有感知输出均被转化为带有语义标注的激活信号，并绑定至知识图谱中对应物体或事件的节点上。每个物体节点因此不仅承载其语义类别与抽象属性，还关联了由感知经验所塑造的行为响应模式与认知先验，从而使系统能够在后续认知过程中实现个体化、上下文敏感的精准交互。

2.3.1 感知显著度与注意选择机制

感知显著度是系统对原始输入进行初始注意优先级评估的核心指标。每条感知数据在进入认知系统时，均被编码为一个带有显著度标注的激活信号，该值综合反映其在当前上下文中的新颖性、行为相关性与潜在价值，并作为初始激活强度注入知识图谱中对应的感知节点。

显著度由五类因素共同塑造：输入相对于近期感知历史的变化幅度（即感受突变度）；系统当前高激活节点所表征的兴趣焦点；环境刺激的罕见性及其与高价值目标或潜在威胁的关联程度；情绪与激素状态（例如，高多巴胺水平增强对新奇刺激的响应增益，而高皮质醇状态则抑制非关键输入以提升保守性）；以及当前任务目标对特定感知通道的动态加权。

这些调控因子均通过知识图谱中对应节点（如情绪节点、任务目标节点、价值评估节点）的激活状态与属性实现动态调制。最终生成的感知显著度决定了该输入在 L3 情境激活层中的初始激活强度：高显著度输入更易触发强扩散，优先进入注意候选集；低显著度输入则可能因激活不足而被延迟处理或暂时忽略，从而实现高效、情境自适应的注意选择机制。

2.3.2 情节缓冲器与多模态命题融合

为提升系统在感知层面的时间一致性与跨模态语义绑定能力，本架构引入基于 Baddeley 工作记忆理论的情节缓冲器（episodic buffer）作为多模态输入的短时整合中枢 [2]。该模块在有限时间窗口内对来自视觉、听觉、触觉及语言通道的并行感知信号进行同步化、语义对齐与情境融合，生成结构化的临时情节单元，供事件框架直接调用。

根据 Baddeley 的定义，情节缓冲器是一种容量受限、受中央执行机制调控的多模态整合系统，负责将瞬时感知内容与长期记忆信息耦合为统一的情节表征。在本架构中，该机制为注意力焦点（FoA）在知识图谱上的迁移提供一致的时间—空间—情绪坐标系，避免多模态输入因异步或异构导致的语义碎片化。

各感知子模块输出的信号均被编码为带时间戳的激活向量。其中，语言通道通过大型语言模型（LLM）实现双重解析：一方面识别用户显式意图、社会角色及潜在目标；另一方面推断隐含心理状态（如焦虑、好奇、分享欲）与对话动机（如请求、质疑、陈述），并将结果编码为结构化向量注入自我认知子图谱。随后，原始话语被转换为标准化命题结构：

$$(\text{agent}, \text{action}, \text{object}, \text{time}, \text{location}, \text{modifiers}),$$

其中 modifiers 包含动作修饰语（如“jumping”）、情绪标签（如“fear”）、感知置信度及激素参数（如多巴胺、皮质醇水平）。例如，“我刚才看到一只黑猫跳上了窗台，有点吓到我了”被解析为：

$$(\text{user}, \text{see}, \text{black_cat}, t_{-5s}, \text{window_sill}, \{\text{jumping}\}, \text{fear}).$$

情节缓冲器接收所有模态（含上述语言命题）的输出，并依据时间对齐、空间共现性及情绪显著度进行加权融合。该命题化表示将快速变化的原始感知流压缩为逻辑清晰、机器可操作的认知单元，为后续事件边界检测算法提供稳定输入。

缓冲器内部通过局部转移函数实现动态注意力滑移，优先聚焦于信息熵高或情绪显著性强的命题组合。所生成的情节单元不仅包含多模态融合特征，还携带即时内部状态标记，为推理、意图识别与预期生成提供高保真上下文。

此外，缓冲器的写入速率、保留时长与融合权重受情绪与激素状态实时调控：高多巴胺或高好奇心熵状态延长窗口持续时间，增强对新奇体验的编码；高皮质醇或高压力情境则收缩窗口，抑制非关键通道，模拟人类在威胁下的感知压缩效应。

2.3.3 知识图谱的动态构建机制

本架构中的知识图谱并非静态预设，而是通过两类互补机制持续演化：一是基于感知流的情景记忆自生成，二是基于多源输入的语义知识抽取与融合。二者共同构成系统长期记忆与认知结构的基础。

情景记忆的自生成：从感知流到事件单元 系统通过对命题结构感知流进行事件边界检测，自动构建时间化的情景事件单元，模拟人类经验的自然组织过程。具体而言，系统计算相邻命题 p_t 与 p_{t+1} 在知识图谱中的语义偏移量：

$$D(p_t, p_{t+1}) = \sum_{e \in \{\text{agent, action, object, modifier}\}} \text{dist}_{KG}(e_t, e_{t+1}), \quad (1)$$

其中 $\text{dist}_{KG}(\cdot, \cdot)$ 表示两节点在图谱中的最短路径距离（或嵌入空间中的语义距离）。当 $D(p_t, p_{t+1})$ 超过动态阈值 ϑ 时，系统判定发生语义跳变，触发新事件单元的创建。该机制使事件切分能力随知识积累而自适应增强，实现“认知越丰富，事件划分越精细”的自主演化。

每个事件单元被存储为知识图谱中的复合节点，包含时间戳、参与实体、动作序列与情绪上下文，并通过边与相关概念节点链接，支持基于事件的回溯、类比与因果推理。

语义知识的多源融合 抽象语义知识通过整合多源信息持续扩充，输入来源包括互联网文本、外部结构化知识库（如 Wikidata、ConceptNet）、感知经验中归纳出的规律性模式，以及大型语言模型的常识推理结果。

对于任意输入文本 T ，系统调用 LLM 执行关系抽取：

$$\text{ExtractRelations}(T) \rightarrow (\text{head}, \text{relation}, \text{tail}, \text{confidence}), \quad (2)$$

抽取结果经一致性校验（如冲突检测、冗余过滤）后，以加权边形式写入图谱。边权重综合考虑 LLM 置信度 c_{LLM} 、该关系在感知经验中的出现频率 f_{percept} ，以及与外部知识库的一致性得分 c_{KB} ，即：

$$w = \alpha \cdot c_{LLM} + \beta \cdot f_{\text{percept}} + \gamma \cdot c_{KB},$$

其中 α, β, γ 为可学习参数。

该过程可通过图数据库（如 Neo4j 或 GraphDB）实现高效增量更新，在保障结构完整性的同时支持知识持续扩展。由此构建的图谱不仅包含通用事实，更内嵌了系统个体化的经验、偏好与行为模式，成为驱动注意力迁移、类比联想与自主推理的核心认知基底。

2.4 由节点知识引导的认知活动

在本架构中，部分认知活动的产生与演化不依赖外部任务指令或集中式控制模块，而是由知识图谱中节点自身所蕴含的知识内容及其语义连接关系自然引导。节点不仅是知识的静态载体，更是认知行为的触发源与路径导向体。这一机制使系统超越“执行认知”的范式，转而实现“在知识之中思考”。

2.4.1 由节点知识引导的认知活动：决策、反思与目标生成计划

在该架构下，决策、反思与目标生成并非由集中式模块完成，而是知识图谱中节点间激活扩散的自然结果。当注意焦点（Focus of Attention, FoA）迁移至行动相关区域时，系统自动检索与当前情境最匹配的决策理论节点，并调用其内嵌计算方法，完成从语义评估到行动选择的过渡。该过程进一步延伸至反思、目标生成与前瞻性意图的维持，形成“即时选择—自我监控—未来执行”的闭环认知流。

(1) 决策理论节点的作用 决策理论节点承担局部决策控制功能，每个节点代表一种可调用的决策模型，其基本结构为：

$$D_i = \{\text{Name}_i, \text{Model}_i, \text{Context}_i, \text{Method}_i\},$$

其中 Model_i 描述该理论的核心数学形式（如前景理论的价值函数、再认启发式的匹配规则）， Method_i 为其用于评估行动的计算程序。节点化的表达使系统能在不同情境下动态切换决策策略，形成分布式理性，而非依赖单一效用模型。

(2) 节点内的决策计算 当某一决策理论节点 D^* 被激活后，系统执行其内部方法 f_{D^*} ，对候选行动集合 $A(S_t)$ 进行评估与选择：

$$a^t = f_{D^*}(S_t, A(S_t)).$$

例如：若 D^* 为前景理论节点，则计算心理效用 $U(a) = v(x - r)\pi(p)$ ；若为再认启发式节点，则基于语义相似度执行匹配决策；若涉及概率悖论，则进行条件概率修正与反直觉推理。所有决策行为均通过统一的图谱激活扩散操作实现。

(3) 反思与目标生成计划机制 系统在完成局部决策并接收行为后果后，基于对应的情景记忆链 MEP_i 启动元认知反思过程。反思节点的高激活状态引导扩散优先流向相关回顾性子图（包括动作节点、预期结果节点及实际后果节点）。在此过程中，系统依据后果与预期的匹配程度，动态调整边权重——成功路径被强化，失败关联被弱化——从而评估原目标的有效性，并触发新的目标生成流程。

目标生成由大型语言模型（Large Language Model, LLM）与知识图谱结构协同完成：系统利用图谱中的因果与规则连接，结合 LLM 提供的“如果—那么”模板能力，自动生成结构清晰、可执行的目标指令。这些指令随即被实例化为目标节点，作为新激活源参与后续认知流动。

对于需延迟执行的目标，系统创建前瞻性意图节点（Prospective Intention Node, PI-node），使其在未来适当时机被自动唤起。每个 PI-node 具有如下形式：

$$PI_i = \{\text{intention_content}, \text{trigger_condition}, \text{deadline/context_cue}, \text{priority}, \text{monitoring_interval}\}.$$

意图节点生成后以正基线激活度驻留于自我认知子图谱中，作为“未完成任务”的持续性认知标记。为支持长期意图维护，系统引入意图监控强度机制：该强度由节点优先级与截止时间动态调制——随着截止临近或优先级提升，PI-node 的基线激活度自动增强，使其在激活扩散竞争中更具优势。

当外部环境或内部状态满足其 TriggerCondition（如特定时间到达、关键事件发生或感知信号匹配）时，对应 PI-node 瞬时获得额外激活增益，迅速跃升至 FoA 候选集顶部，从而触发立即执行、情境适配

或重新规划行为。该机制赋予系统类人的前瞻性记忆与自主任务调度能力 [4]。

(4) 认知意义 通过将决策、反思、目标生成与前瞻性意图统一表示为知识图谱中的节点与边，决策过程不再是外部模块的调用，而是知识系统内部自然发生的路径演化。系统可在情境变化下自动切换决策理论，在经验回顾中生成更优目标，并在未来条件满足时自动重新激活意图，形成连续、可适应、具元认知能力的行为流。这种结构化但分布式的决策体系构成了类人认知中“即时行为—反思—未来计划”的核心机制，并可在工程上通过图数据库高效实现。

2.4.2 由节点知识引导的认知活动：情绪与性格

在本架构中，情绪与性格被建模为自我认知子图谱中的内生知识节点，作为调控认知活动的核心要素。情绪以一组模拟激素参数（如多巴胺、皮质醇、血清素、催产素）的动态知识单元形式存在，其激活强度实时反映当前情感状态；性格则体现为对这些激素信号的长期受体敏感性分布，编码个体在时间尺度上的稳定响应偏好，如风险倾向、探索动机或社交开放性。

在认知过程中，情绪与性格节点通过其激活状态及与概念、规则、任务等节点的连接关系，持续调制激活扩散的方向与强度。例如，“anxiety”节点高激活时增强威胁相关子图的边权，同时抑制远距联想，使注意迁移趋于保守；“curiosity”节点活跃则提升新颖性感知增益，扩大语义扩散范围，促进跨领域关联。性格节点通过长期调节情绪节点的响应阈值与衰减速率，塑造个体化的思维风格与决策惯性。

因此，情绪与性格并非外部调控模块，而是作为图谱中具有动态属性的知识实体，自然参与并引导整个认知流动过程，实现对注意力分布、推理广度与行为倾向的持续、内源性调控。

(1) 情绪节点：基于激素参数的多维知识建模 情绪节点以激素为核心建模元素，每个节点代表一种激素相关的知识单元，并携带描述该激素主导情绪状态的语义向量。系统通过预定义知识将生理机制映射为语义状态：例如，“dopamine”节点激活度上升时，“pleasure”“exploration”“goal_approach”等相关节点的激活基线同步提升；“cortisol”节点活跃时，激活扩散倾向于收缩至高确定性、低风险的局部子图，抑制发散性联想。

此外，系统支持高层社会性情绪节点（如“sharing_desire”），此类节点并非对应单一激素，而是由多巴胺、催产素及社交语义结构（如“express”“feedback”“empathy”）共同激活形成的复合动机节点。当“sharing_desire”处于高激活状态时，其与“expression-communication”相关子图的连接权重被动态增强，使后续激活扩散更易流向具备外向输出特征的路径，从而自然生成分享经验、寻求互动或表达观点等行为倾向。该设计受到 Damasio (1994) 躯体标记假说的启发 [5]，将情绪视为引导决策的内源性价值信号。

(2) 性格节点：激素受体的长期调控 性格节点表征系统对各类激素信号的长期敏感性特征，其参数反映不同情绪通路的响应增益与衰减特性。在持续的经验交互中，这些节点根据任务结果、情绪反馈与环境适应性自动调整连接权重，逐步形成稳定的个体化响应模式。因此，性格可被视为一种由知识图谱长期演化形成的“受体分布图”，定义了系统在不同认知状态下的基础风格与偏好。

例如，高社交敏感性系统（表现为催产素通路受体权重较高）更易在相似情境下激活“sharing_desire”等社交动机节点；而高风险规避型性格则降低此类节点的基线激活水平，并增强对不确定路径的抑制，使认知流动更倾向于内部处理与保守输出。

(3) 情绪—激活耦合机制 在激活扩散过程中，系统不仅依据语义邻近性与任务相关性传播信号，还同步参考当前活跃情绪节点的状态。具体而言，候选节点与情绪节点在图谱中的拓扑距离及其连接强度，会动态调制其接收的激活增益。例如，当“sharing_desire”节点高激活时，所有与其语义相连的“express”“display”“social_feedback”类节点在扩散中获得额外激活加权，从而更可能进入 FoA 候选集，驱动系统生成具备社交意图的认知输出。同时，激素水平的变化直接体现为对应情绪节点激活度的升降，通过图谱内的反馈连接实现情绪状态的实时演化与维持。

(4) 认知意义 情绪、性格与高层动机节点的引入，使系统具备内源性的动态调节能力：情绪提供即时的激活偏置与认知拓扑扰动，性格提供长期的风格一致性与偏好稳定性，而复合情绪—动机节点（如 sharing_desire）则赋予系统在特定社会情境中的行为方向性。三者共同作为图谱中的活跃知识实体，在激活扩散过程中协同作用，使认知流动既保有个体独特性，又具备对内外环境的灵活适应能力，从而在统一框架下实现类人的情感—认知整合。

2.4.3 由节点知识引导的认知活动：预期、假设与前瞻性记忆

在人类认知体系中，对动作结果的预期是决策与学习的核心驱动力，用于预测潜在反馈、奖惩后果及环境变化。这种预测性加工贯穿感知、情绪调节、计划保持与思维生成等多个层次。基于此，本架构在动作节点中连接预期节点，使系统能够生成类人式的预测性思维，并进一步扩展至假设生成与前瞻性记忆，支持在未来线索出现时自动恢复意图，实现延迟执行与未来规划。

(1) 动作节点的预期建模 在语义记忆层中，每个动作节点不仅描述动作的定义与执行特征，还连接一个或多个预期结果节点，编码该动作在不同情境下可能引发的多维后果，包括：

- 环境状态变化；
- 情绪或内部变量的变化；
- 奖励或惩罚信号；
- 社会反应及信任结构的更新。

复杂预期节点可进一步连接次级后果，甚至延伸至长时因果链条。当 FoA 沿高权边转移至这些节点时，系统可根据场景自动推断动作的可能结果，为决策理论节点提供未来路径的实时估计。

(2) 预期的适用范围与阶段性作用 动作预期的作用不限于决策阶段，而是贯穿多个核心环节：

- **感知阶段：**预期节点通过对未来输入的预测调整感知显著度分布，使系统提前偏向潜在有用的信息通道；
- **决策阶段：**预期作为期望效用估计的重要组成，与情绪节点、奖励模型和任务约束共同决定候选行动的排序；
- **执行与反思阶段：**执行后，系统将结果回写至预期节点以更新关联边的置信度，实现以经验驱动的动态修正。

(3) 假设生成与验证机制 预期机制可扩展至假设生成与验证。当系统转移至不确定区域的子图时，自动调用逻辑边生成假设路径（如“IF 当前预期 THEN 假设结果”），用于反事实推理、不确定性处理及对未来场景的隐含推断。

(4) 前瞻性记忆的实现：基于预期节点的延迟执行机制 在预期节点生成的同时，系统可将某些未来状态标记为“前瞻性意图”，使其在未来线索出现时自动激活。这些前瞻性记忆节点继承预期节点的结构，并附加如下属性：

$$PM_i = \{\text{intention}, \text{trigger_condition}, \text{time_cue/event_cue}, \text{priority}, \text{baseline_activation}\}.$$

系统在感知与决策阶段持续监控这些触发线索。当线索匹配 TriggerCondition（如特定时间到达或特定事件出现）时，对应 PM-node 的激活度瞬时上升并进入 L1（事件框架），抢占注意焦点，产生类似人类“我突然想起来我还要做某件事”的认知体验。该机制支持多意图并行维持。通过低成本周期性微激活避免遗忘，优先级越高的意图拥有越大监控偏置，使其更易被触发。

(5) 认知意义 预期、假设与前瞻性记忆的融合，使系统能够在知识图谱内部自然模拟未来情境、形成假设、保持延迟执行意图，并在条件满足时自动恢复相关计划。系统因此具备类人的前瞻性与主动性，能在不确定环境中评估未来路径，以最小代价探索高收益行动，并通过时间或事件驱动的线索自动激活意图，形成持续的目标保持能力。

2.4.4 由节点知识引导的认知活动：程序化行动、逻辑推理与创造想象

在人类认知中，当行动目标具备明确逻辑与可预测条件时，思维常自发组织出程序化行动结构，体现为条件分支、终止规则与内在推算机制的整合。为模拟此类理性规划能力，本架构提出代码模板驱动的行动机制：行动节点内部保存逻辑模板，在具体情境中根据当前信息即时填充，生成实例化逻辑结构并执行，实现语义—逻辑—计算三层的动态统一。该机制进一步扩展至逻辑推理与创造想象，受 Minsky (1975) 知识框架思想启发 [6]，使系统能基于已有知识构建新概念与虚拟场景。

(1) 行动节点的模板结构 系统使用参数化代码模板 T_{code} 表示行动的逻辑框架，包含条件、行动与备选路径：

$$T_{\text{code}} = \text{"if } \{\text{condition}\} \text{ then } \{\text{action}\} \text{ else } \{\text{alt}\}".$$

(2) 模板实例化与执行 在认知执行阶段，系统根据当前上下文状态 S_{context} 自动填充模板：

$$L_{\text{inst}} = \text{instantiate}(T_{\text{code}}, S_{\text{context}}),$$

生成临时逻辑脚本 L_{inst} 。实例化过程基于上下文映射函数：

$$\begin{aligned} \$\text{condition} &\leftarrow f_{\text{cond}}(S_{\text{context}}), \\ \$\text{action} &\leftarrow f_{\text{act}}(A_i), \\ \$\text{alt} &\leftarrow f_{\text{alt}}(S_{\text{context}}). \end{aligned}$$

例如，“`avoid_obstacle`”节点的模板可实例化为：`if distance(object, agent) < threshold then change_path()`，并直接驱动具身执行器。

(3) 逻辑推理通路：符号化规则演算与知识整合 为保证程序化行动的形式严谨性，本架构设计了逻辑推理通路。当事件框架中的语义槽（主语—谓语—宾语）满足逻辑完备性时，系统调用 LLM 识别其潜在逻辑结构：

$$Q_{\text{logic}} = \text{LLM}(EFrame) \Rightarrow \{\text{formal_logic_expression}\},$$

并将其输入符号推理引擎（如 Prolog 或 DLV）执行规则演算。推理结论作为高置信节点回写至知识图谱，并提升相关边权重 $w_{\text{edge}} \uparrow \beta$ ，以强化因果链条的稳定性。推理结果还可直接填充行动模板参数，确保生成的 L_{inst} 同时满足语义一致性与逻辑可证性。

(4) 创造与想象机制 当系统处于低任务负载状态、模式系数 λ_{mode} 较低时，激活扩散呈现高度发散特性，系统由此进入类默认模式网络（Default Mode Network, DMN）主导的创造与想象通路。在此状态下，激活信号可在语义距离较远的子图间自由传播，支持跨领域节点的动态重组，从而生成新场景、新概念或反事实结构。

想象路径的形成由激活扩散的概率分布引导，其倾向性可形式化为：

$$P(n_{t+1}) \propto \exp(-\lambda \cdot \text{dist}(n_{t+1}, C)),$$

其中 C 为当前创造性上下文的中心节点（如模糊目标、情绪状态或未完成意图）， $\text{dist}(\cdot, \cdot)$ 表示图谱中的语义或拓扑距离， λ 反映当前扩散的聚焦程度（受 λ_{mode} 调控）。该机制允许系统在保持一定语义连贯性的同时，探索远离当前焦点的潜在关联，构建虚拟情境、替代性情节或假设性因果链，支撑复杂的“未来模拟”能力。

值得注意的是，在此发散过程中，前瞻性意图节点以“未来自我锚点”形式参与激活扩散。这些节点携带“我将要做什么”的延迟目标信息，其基线激活虽弱，但在 DMN 模式下因抑制减弱而获得相对更高的扩散竞争力。因此，生成的虚拟场景并非无目的的随机联想，而是带有明确方向性的未来预演（mental time travel; Schacter et al., 2007）[3]：想象内容倾向于围绕未完成任务、潜在行动方案或预期结果展开。

（5）认知意义 通过整合代码模板、逻辑推理与创造想象，本架构使每个行动节点不仅是语义实体，也是一个可生成、可执行、可验证的逻辑程序单元；而在发散模式中，系统还能基于前瞻性意图进行目的性未来模拟，在语义—逻辑—执行—假设—创造之间形成完整闭环。这种结构使系统兼具严谨规划能力与创造性思维，并可在工程上通过 Python 执行器与图生成算法高效实现。

2.4.5 基于知识的动作认知：步骤与行动熟练度的双通道学习机制

在本架构中，动作并非孤立的行为指令，而是深度嵌入知识图谱的认知实体。系统通过两种互补的认知通路实现对动作的掌握：步骤熟练度（结构化流程能力）与行动熟练度（具身操作技能）。二者均以知识图谱中的节点与边为载体，体现“认知即知识激活”的核心思想。

步骤熟练度体现为动作子步骤之间的转移关系强度。复杂动作被分解为有序的子步骤节点序列 $s_1 \rightarrow s_2 \rightarrow \dots$ ，相邻步骤通过类型为 `nextStep` 的有向边连接。该边的权重 $w_{i,i+1}$ 动态反映执行该转移的流畅性、稳定性与成功率。随着任务重复执行，权重依据经验统计（如成功转移频率、执行时间方差或错误率）自动更新，从而形成对动作流程结构性熟练度的量化表征。此机制使系统能够基于图谱拓扑进行高效动作规划、异常检测与流程修正。

行动熟练度则通过 `hasPolicy` 边与强化学习策略模块耦合。每个原子动作节点通过该边连接至一个专用的策略节点，后者作为一个可学习的认知组件，接收两类输入：（1）当前自我认知子图的状态快照（包含意图、情绪、目标上下文等高阶认知变量）；（2）外部环境的实时感知信号。策略网络基于这一“认知—感知融合状态”生成对具身执行系统的低层控制指令，并通过环境反馈的奖励信号持续优化策略参数。因此，系统学习的是从内部认知状态与外部情境的联合表征到行为输出的映射。

这一双通道机制使动作能力成为知识图谱内生演化的结果：步骤熟练度编码于边权的动态调整，支持符号层面的推理与规划；行动熟练度则通过与环境的闭环交互实现技能精进，保持对物理世界的适应性。二者在统一认知架构下协同演化，实现了程序性知识与操作性技能的有机统一，也为元认知反思（如“为何失败？”“是否需调整步骤？”）提供了结构化基础。

3 局限性与未来研究方向

尽管本架构在理论设计上具备较强的通用智能潜力，实际实现与应用仍面临多重挑战。

3.1 图神经网络在基于知识的认知功能中的潜在优化方向

当前实现主要依赖符号化节点表示与规则引导的激活传播机制。为进一步提升系统在大规模知识处理、模糊关联建模、经验驱动演化及多模态融合方面的能力，引入图神经网络（Graph Neural Networks, GNN）将为认知功能提供可微、端到端的学习框架。

GNN 可将节点与边映射为连续向量空间中的可学习嵌入，使记忆强度、事实置信度、情绪耦合权重等属性通过经验反馈自动调整。这种数据驱动的表征方式有助于实现“公理可塑性”——即基础信念可根据新证据渐进更新，并支持潜意识层级中低显性、高泛化的知识表达。

在节点激活与语义扩散机制中，GNN 的消息传递机制可为激活信号传播提供连续、可训练的动态模型。相较于当前基于预设衰减规则的扩散策略，GNN 能够自适应地整合语义相似性、情绪偏置、任务上下文与跨模态线索，使激活扩散过程更具情境敏感性与计算效率，同时保留图谱拓扑的结构性约束。

在事件框架构建方面，GNN 的图聚合与结构感知注意力机制能够从原始感知流或记忆片段中自动识别核心命题及其属性依赖关系，从而生成更稳定、泛化性更强的事件表征。这种能力有助于系统在不同情境下复用和迁移事件模板，提升对复杂动态场景的理解与预测能力。

此外，GNN 还可增强注意力迁移的智能引导能力：通过联合编码当前激活分布、全局图谱结构、情绪状态向量与自我认知子图，GNN 能够学习预测哪些区域更可能成为下一注意焦点，使认知流动在发散与收敛之间实现更精细、更类人的平衡。

在工程层面，GNN 与图计算技术（如子图采样、知识蒸馏、图谱压缩与分布式推理）的结合，有望显著降低大规模知识图谱的计算开销，缓解实时认知任务中的延迟与资源瓶颈，使系统能够在更复杂、高动态的真实环境中高效运行。

综上，图神经网络的引入并非重构现有架构，而是为其提供一个统一的可微动力层，贯穿于知识表示、激活传播、结构演化与多模态融合全过程。这一方向有望推动系统向具备持续自我成长、经验修正与跨模态理解能力的通用人工智能演进。

3.2 感知模块的局限性与特征引导神经网络的设想

当前感知模块多依赖卷积神经网络（CNN）结构，虽在静态图像识别等标准任务中取得显著成果，但其训练高度依赖封闭标签数据集与预定义的特征提取模板，导致在通用人工智能所需的动态、开放式环境中表现出明显局限。CNN 难以有效应对新奇场景、罕见事件及未标注样本，缺乏灵活的特征迁移与实时适应能力，无法实现类人类的感知主动性与深层语义理解。

此外，系统在空间感知与空间想象能力方面仍存在明显缺失。系统尚未具备对三维空间关系、虚拟场景布局或物体间相互作用的象征性编码与生成机制，导致其难以在涉及空间推理、场景构建、具身规划等任务中表现出真实世界水平的泛化能力。缺乏空间结构的内在表征也使得复杂假想场景的构造与具身认知模拟受到限制。

为突破上述局限，可引入融合元学习机制的特征引导神经网络。在每个感觉通道（视觉、听觉、触觉等）中部署基于 MAML 算法的元学习器，使系统在面对新任务时快速适应并自动调整特征偏好。通过实时提取输入信号的低阶特征（如颜色、边缘、纹理或声频），并综合其频次、置信度与历史经验，系统可动态生成“特征偏好向量”，引导感知通道在新场景中更具选择性地关注高价值特征，同时抑制噪声与低相关性模式。

在空间感知方面，可结合复杂物体分块策略（如将视觉物体分解为形状、纹理、几何单元），借鉴基于结构的物体识别方法，并融合点云技术，以支持三维环境下的真实结构建模。通过在视觉中心基础上自动构建动态坐标系，系统能够在移动或视角变化时保持空间一致性；在大尺度场景中，可进一步引入 GPS 或其他定位传感器作为坐标参考，提高位置估计的稳定性。

为实现跨模态统一与更高层次空间推理，可在感知系统之上加入“meta-meta-learner”结构，对各感觉通道生成的特征偏好进行跨模态整合，抽象出视觉—触觉中的物体属性一致性、视觉—语言中的空间描述对齐关系，以及听觉—情绪信号之间的关联模式。此结构不仅提升多模态融合能力，也为空间意象的生成、虚拟场景构建与具身规划提供共享的抽象表示。

该特征引导神经网络旨在摆脱传统 CNN 的静态模板限制，通过元学习、结构感知、动态坐标系与跨模态融合机制，构建更具主动性、适应性与空间一致性的感知体系，从而提升通用人工智能在复杂环境中的持续感知能力、空间推理能力与内源想象能力。

4 结语

本文提出了一种面向通用人工智能探索的认知架构，其核心在于将记忆、注意、推理与情绪等认知功能统一构建于多模态嵌入的知识图谱之上，并通过节点激活与扩散机制驱动注意力在图谱中的动态迁移。概念、事件、动作、规则、情绪乃至决策策略均以异构节点形式存在，其间语义、逻辑与因果关系通过可塑性加权边动态连接，形成高度整合且持续演化的认知网络。

系统支持两类互补的注意迁移模式：在任务驱动下，激活扩散受目标与规则约束，呈现类中央执行网络（CEN）的收敛式推理；在闲时状态下，扩散范围扩大、抑制减弱，表现出类默认模式网络（DMN）的发散式联想。二者通过模式系数 λ_{mode} 实现连续、平滑的风格切换，使系统能够在执行效率与创造探索之间灵活平衡。

尤为关键的是，高级认知活动并非由外部控制器触发，而是由特定类型节点（如决策理论节点、前瞻性意图节点、动作—预期节点）的激活演化与连接动态自然涌现。情绪以模拟激素参数的知识节点形式存

在，通过调制激活扩散的增益与方向，实时影响注意偏好与思维拓扑；性格则体现为长期稳定的受体敏感性分布，塑造个体化的认知风格与行为惯性。情景记忆采用“事件头部节点 + 时间化命题序列”结构存储，并通过共享论元节点与语义记忆紧密耦合，支持基于经验的类比推理、因果推断与叙事生成。

需要指出，本架构目前仍处于理论构建与初步工程验证阶段。其优势在于结构统一、机制透明、具备良好的可解释性与可扩展性，为实现持续学习、情境适应与跨域知识整合提供了可行路径。然而，大规模知识图谱的实时计算效率、多模态感知信号与图谱嵌入的精准对齐、以及复杂社会交互中的意图建模等问题，仍有待深入探索。

未来工作将聚焦于引入图神经网络优化节点激活与扩散过程，结合元学习提升感知系统的开放适应能力，并推动该架构在人机协作、自主任务建构与真实世界推理等场景中的落地应用。我们相信，以知识图谱为基底、以激活扩散为动力的认知范式，有望为通用人工智能的发展提供一条兼具生物合理性与工程可行性的新路径。

参考文献

- [1] Tulving, E. (1983). *Elements of Episodic Memory*. Oxford: Oxford University Press.
- [2] Baddeley, A. D. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417–423.
- [3] Schacter, D. L., Addis, D. R., & Buckner, R. L. (2007). Remembering the past to imagine the future: The prospective brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 8(9), 657–661.
- [4] Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral and Brain Sciences*, 24(1), 87–114.
- [5] Damasio, A. R. (1994). *Descartes' Error: Emotion, Reason, and the Human Brain*. New York: G. P. Putnam's Sons.
- [6] Minsky, M. (1975). A framework for representing knowledge. In P. H. Winston (Ed.), *The Psychology of Computer Vision* (pp. 211–277). New York: McGraw-Hill.