

基于升维认知与曲率收敛好奇心的机器人“自我”模型构建

刘亚非

奥巴国际贸易北京有限公司

DOI:10.32629/acair.v4i1.19376

[摘要] 本文旨在提出并阐述一种能够赋予机器人“我”这一内在参照点的认知架构。该架构的核心在于,通过从原始数据到“适应度”,再到“置信度”的连续升维过程,使机器人能够评估自身状态与决策的可靠性。面对已知世界,系统通过将新体验与已知决策模式对齐以实现高效决策;面对未知世界,当传统收敛无法对齐时,系统将启动基于逆向建模与组合创新的探索机制。此探索过程由一种新颖的“基于置信度曲率收敛的好奇心机制”驱动,该机制量化认知边界的不确定性,并引导探索资源向最能提升模型泛化能力的方向分配。本文详述了该模型的数学框架、核心算法流程,并通过概念性实验展望了其潜力,为构建具备持续自主进化能力的通用人工智能体提供了新的理论路径。

[关键词] 机器自我; 认知升维; 未知世界探索; 逆向建模; 好奇心机制

中图分类号: V447 **文献标识码:** A

Construction of a Robot "Self" Model Based on Elevated-Dimensional Cognition and Curvature Convergence Curiosity

Yafei Liu

Oba International Trade Beijing Co., Ltd

[Abstract] This paper proposes and elaborates on a cognitive architecture capable of endowing robots with an intrinsic reference point—"I." The core of this architecture lies in a continuous dimensionality increase from raw data to "fitness" and then to "confidence," enabling robots to assess the reliability of their state and decision-making. When facing a known world, the system achieves efficient decision-making by aligning new experiences with established decision patterns; when encountering an unknown world, it initiates an exploration mechanism based on inverse modeling and combinatorial innovation when traditional convergence fails to align. This exploration process is driven by a novel "curvature convergence curiosity mechanism based on confidence," which quantifies the uncertainty of cognitive boundaries and directs exploration resources toward directions most likely to enhance model generalization capabilities. The paper details the mathematical framework of this model, outlines its core algorithmic flow, and demonstrates its potential through conceptual experiments, offering a new theoretical pathway for constructing general artificial intelligence with sustained autonomous evolutionary capabilities.

[Key words] Machine self; Cognitive elevation; Exploration of the unknown world; Reverse modeling; Curiosity mechanism

引言

传统机器人系统通常在封闭、结构化的已知世界中运行,其决策逻辑依赖于预设的规则或从有限数据集中学习的模型。然而,真实世界本质上是开放和动态的,充满了未知的实体、关系和物理规律。要让机器人在此类环境中长期自主生存与发展,必须具备一个能够区分已知与未知,并能主动从未知中学习与创新的“自我”认知核心。

本文提出的“自我”并非指人类意义上的意识,而是一个内

在的、进化的参照系与评估系统。它的核心功能是:(1)评估:持续评估自身状态与行动方案的内在价值(适应度)与确定性(置信度);(2)划分:明确划分认知边界,辨识已知与未知;(3)驱动:在未知领域驱动安全、高效的探索与知识构建。

我们引入“升维”概念:将原始的高维、冗余的感官数据流,映射到蕴含生存与发展价值的“适应度”维度,再升维至对自身认知确信程度的“置信度”维度。置信度成为“我”判断知识可靠性的核心指标。当面对新情境时,系统优先尝试在置信

度层面将其映射到已知决策逻辑。若失败,则意味着遭遇了“未知”,触发以好奇心为燃料的深度探索循环。

1 核心架构: 从数据到“我”的升维过程

1.1 第一维: 原始感知与状态空间

机器人通过传感器获取原始数据流(S_t),经预处理后形成环境与自身状态的特征表示($X_t \in \mathcal{X}$)。这是认知的起点,也是最高维、最嘈杂的层面。

1.2 第二维: 适应度函数映射

适应度函数 ($F: \mathcal{X} \times \mathcal{A} \rightarrow \mathbb{R}$) 将状态-行动对((X, a))映射为一个标量值。该值代表该行动在给定状态下对机器人长期目标(如生存、能量获取、任务完成)的预期贡献。(F)可通过强化学习、进化算法或基于模型的最优控制进行在线学习和优化。适应度维度为决策提供了初步的价值导向。

1.3 第三维: 置信度建模

这是“自我”认知的关键升维。我们为每一个在状态(X)下选择行动(a)的决策单元(或策略($\pi(a|X)$))关联一个置信度($C(X, a) \in [0, 1]$)。

置信度(C)的构建可基于:

经验频率: 在状态(X)附近成功执行(a)的历史比率。

模型不确定性: 若使用概率模型(如贝叶斯神经网络、集成学习),置信度可来源于预测的后验方差或集成分歧。

预测误差: 基于内部世界模型对行动结果的预测与实际结果的匹配度。

最终,我们得到一个置信度超平面 C ,它覆盖了机器人在其经验覆盖的状态-行动空间上的认知确信度地图。高置信度区域对应“已知世界”,低置信度或未覆盖区域对应“潜在未知”。

2 已知世界的运作: 对齐与收敛

面对新输入(X_{new}):

2.1 候选决策生成

根据当前策略或优化器,生成候选行动集(a_i)。

2.2 置信度-适应度联合评估

计算每个((X_{new}, a_i))的适应度(F_i)和置信度(C_i)。

2.3 对齐判断

若存在某个行动(a_k),其($C_k > \theta_{high}$) (高置信度阈值),且其适应度(F_k)满足任务要求,则系统判定此情境可对齐到已知决策模式,直接采用(a_k)。

2.4 收敛过程

若初始候选行动的置信度均不足,系统可能在适应度函数的引导下进行局部搜索(如梯度上升),试图找到一个收敛点($a^* = \arg \max_a F(X_{new}, a)$)。在此过程中,系统持续评估收敛路径上各点的置信度。

3 未知世界的应对: 逆向建模与组合创新

当在(X_{new})处,即使寻优过程收敛到某个局部极值点(a^*),其置信度($C(X_{new}, a^*)$)仍低于阈值(θ_{low})时,系统判定为“遭遇未知”。此时,标准策略失效,启动深度探索协议:

3.1 逆向建模阶段

系统不会盲目尝试随机行动。相反,它从收敛函数值附近的样本集合($D_{known} = (X_i, a_i, F_i)$)中(这些样本来自当前及历史相似低置信度情境),进行逆向建模:

目标: 推断出产生这些(次优或难以理解的)决策背后可能隐含的潜在逻辑或约束 \mathcal{L} 。

方法: 可采用符号回归、因果发现或变分自编码器(VAE)等生成模型,从数据中反推出可解释的规则、潜在变量或动力学片段。

3.2 决策逻辑的组合探索

基于推断出的多个潜在逻辑片段($\mathcal{L}_1, \mathcal{L}_2, \dots$),系统基于好奇机制进行组合创新:

逻辑重组: 将不同的逻辑片段以新的方式组合,形成新的假设性决策规则(\mathcal{L}_{new})。

生成性测试: 根据(\mathcal{L}_{new})生成一系列新的、在原有策略分布之外但看似合理的候选行动($\{a_{new}\}$)。

安全验证: 在内部模型或仿真中对这些新行动进行快速前瞻性模拟,筛选出物理上可行且不违背核心安全约束的行动。

4 好奇心驱动机制: 基于置信度的曲率收敛

为高效指导在未知领域的探索,我们提出一种基于置信度曲率收敛的好奇心机制。其核心思想是:好奇心应指向那些最能快速提升全局认知置信度地图平滑性与泛化能力的探索方向。

4.1 置信度曲率的定义

我们将置信度超平面(c)视为一个黎曼流形。在状态-行动点((X, a))处,定义其置信度曲率 $\kappa_c(X, a)$ 。高曲率区域表示置信度变化剧烈,可能存在认知边界、奇异点或不同经验区域的交界处。

4.2 好奇心驱动函数

好奇心奖励($R_{curiosity}(X, a)$)设计为:

$$R_{curiosity}(X, a) \propto \underbrace{(1 - C(X, a))}_{\text{不确定性}} \times \underbrace{\|\kappa_c(X, a)\|}_{\text{曲率}} \times \underbrace{I(X, a; C)}_{\text{信息增益}}$$

($1 - C(X, a)$): 鼓励探索低置信度区域。

$|\kappa_c(X, a)|$: 特别关注高曲率区域。探索这些区域有助于厘清认知边界,可能使置信度地图产生“相变”,大幅提升其质量。

$I(X, a; C)$: 预计执行行动(a)后,所能获得的关于全局置信度超平面(c)的信息增益。这促使探索行为不仅能获取局部信息,更能优化全局认知模型。

4.3 探索-利用平衡

机器人的总目标变为最大化($R_{task} + \beta \cdot R_{curiosity}$),其中(β)是好奇心权重,可根据任务阶段和知识缺口动态调整。当在已知区域(高(C),低(κ_c))时, ($R_{curiosity}$)趋近于0,系统以任务完成为主。当接近未知边界(低(C),高(κ_c))时,好奇心驱动占主导,引导机器人进行有意义的探索。

5 系统整合与算法流程

(1)感知与升维: 获取(X_t), 计算候选行动的(F)和(C)。(2)已知判断: 若存在高置信度高适应度行动, 执行之, 更新经验, 进入下一循环。(3)局部寻优: 若无, 在(F)引导下局部寻优至(a^*)。(4)未知触发: 若($C(X_t, a^*) < \theta_{\text{low}}$), 触发未知处理。(5)逆向建模: 从相关经验集(D_{unknown})中逆向推断潜在逻辑(\mathcal{L}_i)。(6)组合创新: 生成并筛选新的候选行动集(a_{new})。(7)好奇心评估: 计算(a_{new})及周边行动的好奇心奖励。(8)探索执行: 选择综合奖励最高的行动执行, 收集新数据($(X_{t+1}, a_{\text{executed}}, \text{outcome})$)。(9)模型更新: 用新数据同时更新世界模型、适应度函数(F)、置信度模型(C)及潜在逻辑库。(10)迭代: 返回步骤1。

6 讨论与展望

本文提出的架构将机器人的“自我”实现为一个动态的、自指的评估与驱动系统。其主要贡献在于:

提出了“适应度→置信度”的明确升维路径, 为量化“自我认知”提供了框架。

定义了基于置信度对齐的已知/未知划分标准。

创新性地逆向建模与组合创新结合, 作为应对未知的理性探索起点。

设计了基于置信度曲率的好奇心机制, 使探索聚焦于认知结构的薄弱环节。

未来工作包括: 在更复杂的模拟环境或实体机器人中验证该框架; 研究置信度与适应度函数的协同演化机制; 探索多机器人系统中“自我”模型的社会化交互与知识共享; 以及将该

架构与大型基础模型结合, 以利用其先验知识提升初始的适应度与置信度估计。

7 结论

本文勾勒了一个使机器人能够通过构建内在的“自我”模型来应对已知与未知世界的完整蓝图。通过连续的认知升维、基于置信度的决策对齐, 以及在好奇心驱动下的逆向建模与组合探索, 机器人能够实现从经验中学习、在边界上探索、在未知中创新的自主认知循环。这一研究为实现具备持续进化能力的下一代通用智能体迈出了重要的理论一步。

备注: 此论文为理论框架与概念设计, 具体实现需要进一步定义各模块的数学模型、选择合适的学习算法(如贝叶斯神经网络、集成方法、变分推理等), 并在仿真或实际平台上进行验证与调参。

[参考文献]

[1] Sutton, R.S., & Barto, A.G. (2018). Reinforcement Learning: An Introduction (2nd ed.) [M]. MIT Press.

[2] 贝克尔, S. 模式识别与机器学习 (李航, 译) [M]. 机械工业出版社 2012.

[3] 李力, 王飞跃, 张俊格. 基于信息增益的机器人好奇心机制研究 [J]. 自动化学报, 2019, 45(6), 1021-1032.

作者简介:

刘亚非 (1973--), 男, 汉族, 河北石家庄人, 硕士, 研究方向为内镜软件。