

摘要

随着电子信息技术的快速发展，自主机器时代也随之到来。本文主要列举了自主机器中值得关注的技术与非技术挑战，为研究者和从业者提供一定参考。本文主要内容提炼于文章《Rise of the Autonomous Machines》，加上了一些我个人的想法；

文章链接：<https://arxiv.org/abs/2106.13987>

0. 自主机器时代：第六层信息技术



Figure 1: The Layers of Information Technology

文章作者认为信息技术可以分为六个层级：

1. 微处理器；
2. 个人电脑；
3. 搜索引擎；
4. 社交平台；
5. 互联网现实生活应用；
6. 自主机器；

虽然文章作者的认知是这样，但我对第六层持有保守意见。如果用数学语言来描述的话，前面五层可以构造成一条平滑且连续的曲线，但是第六层与这条曲线之间的关系还有待商榷，我认为自主机器人应该是平行于搜索引擎、社交平台 and 互联网现实生活应用。

1. 机载计算系统

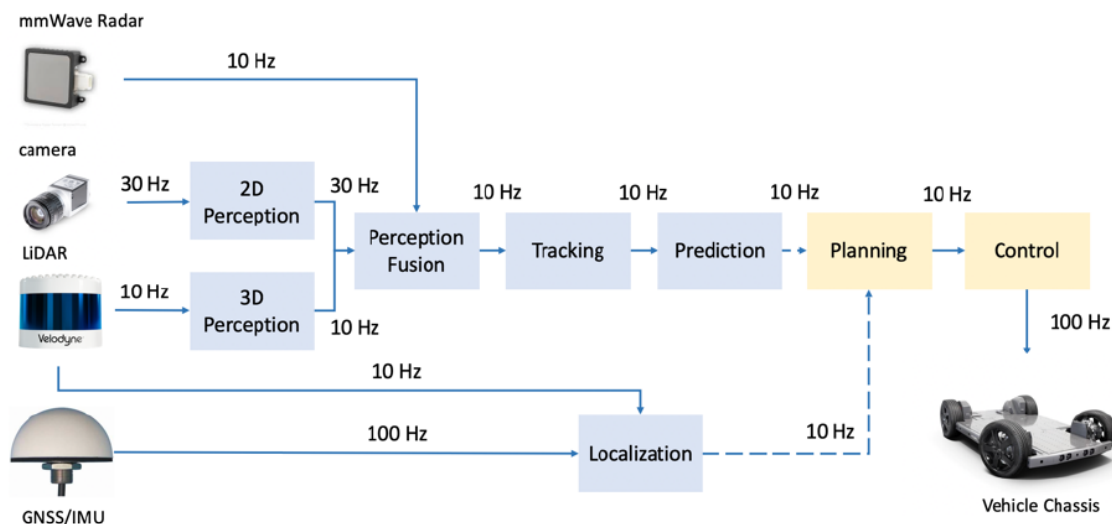


Figure 2: The processing pipeline of an autonomous vehicle

- 上面这个图只是个示意图，并不完整和准确，比如视觉也可以用来定位。
- 作者在这里主要提到了**延时**对整个系统的影响，以及现在业界没有一个对所有类型自主机器都好使的架构，从而导致成本居高不下。
- 作者认为**关键技术挑战**是开发一个合适的计算机架构，以及一个软件堆栈，允许将不同类型的自主机器的各种计算图映射到相同的计算基板，同时满足实时性能，成本和能源限制。
- 我认为端到端的学习可能是一个解决延时的方法，但是在无法说明或证明安全性的情况下依然无法在业界大规模使用。
- 同时，冯·诺依曼架构下的计算机系统（计算与内存是分离的，计算单元从内存中读取数据，计算完成后再存回内存）在人工智能等对性能要求极高的场景下暴露了很多问题。**AI算力需求的大幅提高 >> 单位时间内的芯片计算能力提升 > 内存的性能提升速度**。为了解决这一问题，提出了**存算一体**（将数据存储单元和计算单元融合为一体，大幅减少数据搬运，从而极大提高计算并行度和能效）。（具体可以见参考资料1）

2. 传感系统

- 为了获得准确、可靠以及全面的环境信息，往往需要用到多模态传感器融合，其中有很多问题，比如：
 - 时间和空间上的同步；
 - 传感器校准，并且通常我们认为校准完了之后保持不变，但实际情况中，随着自主机器的运行，往往需要定期校准；
- 作者认为**关键技术挑战**是提供一个标准框架，方便已有传感器和新加入的传感器时空同步，做到即插即用。

3. 感知系统

- 感知是自主机器中很重要的一部分，其作用就是从传感器获取到数据中提取出空间与语义信息。
- 这一部分也是人工智能领域特别关注的地方。
- 主要方法分类：
 - 基于深度学习的方法

- 瓶颈：需要在感知效果、计算和能源利用之间权衡
 - 基于几何的方法
 - 主要用于提取目标对象的位置和维度信息
 - 作者认为**关键技术挑战**是开发一个通用框架，以实时生成可靠和准确的环境理解，其中不仅设计软件算法，还包括硬件加速等。
-

4. 定位系统

- 是自主机器人的基础，准确的定位（六自由度，包括平移和旋转）在很大程度上决定了自主机器人的性能；
 - 定位系统采用的传感器和算法很大程度取决于工作环境，比如户外和室内；
 - 不同的定位算法导致不同的延迟，并且这个延迟也不是固定的，比如 VIO 的延迟就受到了从图像中提取的特征点数量影响；
 - 作者认为**关键技术挑战**是开发一个标准框架，统一不同定位算法中一些核心点，然后适配不同的环境，无缝切换不同的算法；同时，这个框架应该为加速提供一个不错的软件基准，以减少处理延迟和延迟变化。
-

5. 规划和控制系统

- 传统的规划和控制系统主要包含行为决策、运动规划和反馈控制三部分，其中每一部分都不简单。以运动规划为例，其至少包含三个步骤，即路图构造，避障和图搜索，当构型空间维度比较高的时候（如机械臂），其计算的复杂度会指数级别增加。
 - 传统的规划和控制系统需要人参与其中，或需要人调参，或需要人编写规则等，这都在一定程度上降低了其鲁棒性，并且当遇到复杂的情形，失败的概率比较高。
 - 大家对 DRL 的研究热情比较高，认为其规避了传统的规划控制方法的很多缺点，但是其现在也有着自身的问题，首当其冲的就是模型的训练问题。
 - 作者认为**关键技术挑战**是开发云基础设施，为 DRL 模型训练提供足够的计算能力和生成高质量数据。首先，需要开发仿真器生成可以用来训练的**准确数据**；其次，改进算法的效率。
 - 这一部分也是我重点关注的方向，虽然学习类方法使用起来比传统方案看起来简单，但是传统方案也有其优点，如数据流明确，架构简洁。学习类方法内部复杂度非常高，不容易定位错误。**我认为当前比较合适的方案是在传统架构的基础上用学习类方法去帮助其解决之前不是很好解决的地方，如干扰的观测和预测。**
-

6. 通信系统

- 自主机器人之间、自主机器与基础设施之间的通信对整个系统的性能、安全性和可靠性都非常重要；
- 实验结果表明，现实世界的无线网络是不稳定和不可靠的，这可能会显著影响基础设施端的数据到达时间；
- 以 C-V2X 框架为例，它包括两种通信方式：
 - 自主机器人、基础设施和行人之间的直接通信；
 - 延时问题较少，但是通信宽带问题却需要解决。
 - 机器与互联网之间的通信（商用 LTE 或 5G 蜂窝网络）；
 - 通信宽带问题较少，但是通信延时变化问题缺需要解决。

- 作者认为**关键技术挑战**是开发一个高可靠的、具有带宽保证和最小延迟变化的自主主机通信网络，并且提供了几个可以参考的方向：
 - 调整商业通信网络中的优先级，为自动机器连接提供最高优先级，因为它们是安全关键的；
 - 智能调度 LTE 或 5G 商用网络和直连通信网络，提高自主主机通信的可靠性；
 - 在自主机器上开发智能融合引擎，动态地决定融合基础设施侧数据是否可靠和安全；

7. 云系统

- 自动机器，尤其是具有移动性的机器需要云计算的支持，用于离线计算任务（深度学习模型训练、高精地图生成等）和在线计算任务，如汇集所有交通信息并将信息广播给所有交通参与者。
- 现有的云系统都比较局限，只能适用于某一类应用。如果我们要为每个应用程序定制基础设施，我们将不得不维护多个基础设施，这可能会导致低资源利用率、低性能和高管理开销。解决这个问题的一个有效方法是开发一个统一的自主机器云基础设施，并提供统一的分布式计算和存储服务。
- 自主机器的仿真就是一个很适合放入云端的，这样可以显著的降低成本和提高测试效率。
- 随着自主机器的发展，作者认为**关键技术挑战**是需要不断开发和细化分布式计算和存储服务，以适应各种自主机器应用程序的需求，特别是提供基础设施支持，以满足自治机器不断增长的计算和存储需求；同时，因为不同自主机器需要的仿真服务不同，所以需要在云基础设施上部署和优化基本仿真服务，以满足各种自主机器模拟需求。
- 我也认为云系统是自主机器不可或缺的，因为短时间内嵌入式的计算机的性能很难有巨大的提高。但是，云系统面临着通信方面的问题。

8. 自主机器之间的协同

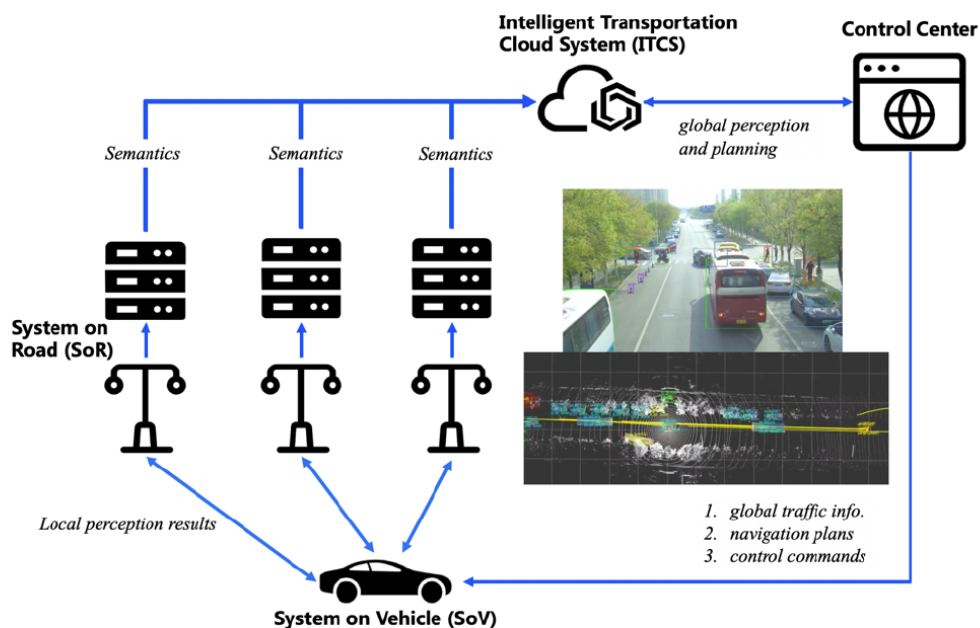


Figure 4: An infrastructure-vehicle cooperative autonomous driving system

- 传统的自主机器只利用机器上的计算资源，而协作式自治机器除了依赖于基础设施之外，还依赖于自主机器之间的协作。以自动驾驶为例，基础设施-车辆协同自动驾驶方式依赖于智能道路与智能车辆的协同。与传统的车载自动驾驶相比，这种方法不仅更安全，而且更经济。发展包括三个阶段：
 - **IAAD（基础设施增强自动驾驶）**：自动驾驶汽车融合车辆侧和基础设施侧感知输出，以提高自动驾驶的安全性。
 - **IGAD（基础设施引导的自动驾驶）**：自动驾驶汽车可以将所有主动感知任务卸载给基础设施，以降低每辆车的部署成本。

- **IPAD（基础设施规划的自动驾驶）** 基础设施兼顾感知和规划，从而实现最大的交通效率和成本效率。
- 作者认为**关键技术挑战**是标准的指定，因为这一部分用到的技术都是前面介绍过的，只需要集成即可，但是需要明确的技术规范和标准。

9. 人才培养

- 自主机器的快速发展导致了对应人才需求的大量增加，但在供需两侧存在问题：
 - 学校方面，许多学生实际上对自动机器技术有很高的兴趣，但发现他们的大学没有提供足够的教育，以准备进入这个领域。
 - 公司方面，自主机器公司很难雇佣合格的工程师来填补空缺职位，因此许多公司不得不开发内部培训项目来准备未来的工程师。然而，由于这一领域的许多公司都是资源有限的初创公司，为新入职的工程师提供培训的需求给他们的财务状况增加了额外的负担，导致宝贵的资金资源的低效配置。
- 为了解决供需不平衡的问题，我们需要在以下几个方面努力：
 - 改革学校的工科教育，创建跨学科的项目，为学生提供计算机科学、计算机工程、电气工程和机械工程方面的技术背景；
 - 公司与学校加强合作，提供工程实践的机会，为学生提供使用真正的自主机器的实践经验。
- 人才的培养不是一个短期过程，是需要学术界和工业界一起长期努力，这里面政府的作用很关键，需要政府牵头，并且提供资助来鼓励合作。

10. 社会影响

- 自主机器的快速发展和部署可以增加社会运转的效率，并且降低成本。但是，任何东西都不是免费的，这些自主机器的研发、制作以及部署都需要花费巨大的成本。
- 除了对经济的影响，随着自主机器的激增，还将面临越来越多的道德、隐私和安全挑战，人们对它的接收程度也是不一样的，如何去平衡这些问题也是需要思考的。
- 作者认为**一个非技术但关键的挑战**是，整个行业要彻底了解各种自主机器对我们经济的潜在影响，以及各种自主机器的大规模部署成本。只有有了准确的预测和估计，我们才能向政策制定者和技术公司提供全面的信息。这样决策者和技术公司能够以自主机器技术改善人类社会为最终目标做出政策和技术投资决策。一旦我们对自主机器的社会效益有了清晰的认识，我们的社会就应该制定道德准则、标准和立法来引导自主机器的健康发展。因此，经济学家、政策制定者和自主机器工程师的下一步就是紧密合作，定义经济影响和政策路线图，将自主机器整合到我们的日常生活中。

11. 安全

- 这一部分是原文里面没有详细说明的，但是却是我们不得不去思考和担忧的，下面我以**汽车**为例来说明。
- 2021年芯片短缺导致的汽车产量下降，让很多人意识到这个传统的机械四轮已经和我们印象中有很大的不同了，汽车中的**软件**部分越来越多，几乎所有的汽车制造商都开始在汽车里**堆砌**越来越多的软件，而软件天生就伴随着**漏洞**这一不稳定的因素，进而导致的影响有：
 - 信息安全；
 - 整个汽车系统复杂性显著提高；
 - 测试的难度提高；
 - 维修成本增加；
 - ...

- 一个软件系统往往随着功能的增加而变成一座**垃圾山**，管理起来也越来越难。
- 这些问题并不仅仅是汽车行业，几乎所有的**机器**行业都会碰到，而如何去平衡这个问题将会是现在以及未来一个重要的议题。

参考资料

1. https://mp.weixin.qq.com/s/0_uwuCuKnMiuZM_jvYnaw 新型存算一体芯片