面向具身智能的传感网课程跨学科改革与实践*

汤战勇[1] 王薇[1] 杨文静[2**] 孟宪佳[1] 冯筠[1] 陈晓江[1]

1.西北大学计算机学院，西安 710071

2.西北大学电子信息学院，西安 710071

摘 要 《传感网原理及应用》是物联网工程、智能科学与技术专业的核心课程，针对课程内容滞后前沿、跨学科育人不足的新时代教学痛点，本文依托地方综合性大学学科交叉优势，结合具身智能多模态感知与课程内核的高度契合特性，以具身智能为改革牵引、超材料感知为融合抓手，重构基础、延伸、前沿三阶教学内容，搭建仿真为主、实物为辅的双轨实践体系，构建科研反哺教学的创新改革路径，破解课程内容陈旧与前沿人才需求脱节的问题。依托陕西省一流课程教学实践验证，该改革模式可有效培养学生跨学科思维，提升其工程实践与科技创新能力，可为物联网复合型创新人才培养提供实践借鉴。

关键词 传感网课程，具身智能，超材料感知，双轨实践

Interdisciplinary Reform and Practice of Sensor Networks Course for Embodied Intelligence*

Zhanyong Tang[1] Wei Wang[1] Wenjing Yang[2**] Xianjia Meng[1] Jun Feng[1] Xiaojiang Chen[1]

1. School of Computer Science, Northwest University, Xi'an 710071, China
2. School of Electronic Information, Northwest University, Xi'an 710071, China

Abstract—Principles and Applications of Sensing Networks is a core course for majors in IoT Engineering as well as Intelligent Science and Technology. To address the problems of both outdated content and insufficient interdisciplinary education, this paper restructures the course content into three tiers: foundational, extended, and frontier. To this end, the course reform leverages the interdisciplinary strengths of a local comprehensive university, regarding embodied intelligence as the reform driver and metamaterial perception as the interdisciplinary bridge. Based on this framework, the course also establishes a dual-track practical system that prioritizes simulation and supplements it with physical experiments. Furthermore, it builds an innovative reform path where research strongly supports teaching. This path effectively bridges the gap between outdated course content and the demand for frontier talent. Validated by practice in a first-class course of Shaanxi Province, this model cultivates students' interdisciplinary thinking as well as their engineering practice and innovation abilities. This study provides a practical reference for cultivating compound talents in the IoT field.

Keywords—Sensing Networks Course, Embodied Intelligence, Metamaterial Perception, Dual-Track Practice

1 引 言

《传感网原理及应用》是物联网工程、智能科学与技术专业的核心主干课程，主要承担传感技术、网络通信、数据处理等核心知识与能力的教学培养任务。该课程知识点具备更新迭代快、前沿性强、应用场景覆盖面广的特点[1]，大量新兴技术均源于前沿科研成果，致使现有教材内容难以跟上行业技术发展节奏。学生在学习新兴传感技术相关内容时普遍存在理解不透彻、认知滞后等问题，传统固化的教学模式已无法适配课程动态更新、与时俱进的教学需求。

当前，国家大力培育和发展新质生产力，持续推进人工智能技术与实体经济深度融合落地[2]。具身智能作为实现人机交互、智能体自主作业的核心技术方向，对全域环境感知、泛在网络互联、数据实时传输等底层基础技术与平台提出了全新标准和更高要求[3]。传感网是支撑环境感知与万物互联的基础技术体系，亟需对接国家战略发展需求，在课程教学体系中融入具身智能所需的感知层核心支撑技术[4]。传感网课程

*基金资助：本文得到以下项目支持：陕西省教师教育改革与教师发展研究项目（SJS2025YB008）；陕西省师德师风建设基地（西北大学）2024 年教师思想政治和师德师风建设研究课题立项项目（XD2024SD20）；教育部产学合作协同育人项目；西北大学 2025 年本科人才培养建设项目-专业建设项目；西北大学 2025 年本科人才培养建设项目-课程思政示范课程项目；西北大学第二批全英文教学课程提升项目。

**通讯作者：杨文静 yangwenjing@nwu.edu.cn

涵盖的节点部署、数据采集、组网传输、信息处理等核心知识点，恰好能够为具身智能体的环境感知、状态识别与自主行为响应提供底层技术支撑[5]。为此，本课程顺势开展教学改革，推动传统以组网、通信知识为主的教学体系，向服务于具身智能系统的感知底座设计与应用方向转型升级。

课程团队以超材料感知技术为核心切入点推进课程教学改革。超材料属于新型人工功能结构材料，在感知灵敏度、器件集成、感知驱动一体化等方面突破了传统传感器的性能瓶颈[6-7]，依托仿真教学模式，能够在低成本、零硬件损耗的条件下，将前沿新兴技术融入课堂教学。本课程通过融合材料科学、器件工程、网络系统等多学科知识，有效解决教材内容滞后、实践教学薄弱的双重教学难题，探索构建可推广、可复用的具身智能感知课程教学范式，为新质生产力发展背景下物联网领域复合型创新人才培养提供教学实践参考[8]。

2 课程的教学现状与核心问题

区别于既有研究聚焦于教材滞后与学生理解困难等普遍性问题[1]，《传感网原理及应用》课程改革还面临三个深层矛盾：

其一，知识体系更新滞后，难以适配新时代跨学科能力培养要求。当前课程教学多聚焦静态组网原理与通信协议内容，尚未将具身智能领域亟需的多模态感知融合、动态拓扑自适应等核心能力纳入培养体系[9]。教材滞后问题不仅体现在知识内容陈旧，更凸显为课程能力培养目标与行业前沿需求的脱节。

其二，实践教学场景单一，与真实工程应用场景脱节。传统实验教学多围绕固定节点的数据采集、信号传输开展验证性实验，缺少适配移动智能体、感知行动闭环的场景化实训设计[10]。导致学生无法建立传感网技术与机器人巡检、动态环境监测等具身智能典型应用的关联认知，制约了自身工程创新能力的培育。

其三，单一学科教学壁垒显著，与学科交叉融合的发展趋势相悖。传感网本身融合计算机、通信、电子等多学科知识，而具身智能、超材料感知等前沿内容的融入，进一步要求打破固有学科教学边界[11]。现有教学模式缺乏多学科协同教学设计，致使学生在传感器选型、系统集成实践中，无法建立从材料特性到网络部署的全局系统性思维。

综上，当前传感网课程的教学短板，要求课程改革突破单纯的知识内容更新，转向全方位的能力培养目标重构，依托前沿技术发展需求为导向，探索适配多学科融合的新型教学改革路径[12]。

3 改革理念与理论框架

传感网原理及应用课程的传统定位，侧重于无线传感器网络的组网协议与数据传输技术。从网络拓扑结构到 MAC 层协议，从路由算法到时间同步，这些知识固然构成了学科的核心基础，但在实际教学过程中，学生往往容易陷入协议细节而忽视了感知系统的整体观。更为关键的是，当前国家大力发展新质生产力，推动人工智能与实体经济深度融合，具身智能作为人机交互与自主作业的关键技术方向，对全域感知、泛在互联、实时传输等底层基础设施提出了全新需求[13]。传感网课程所讲授的节点部署、数据采集、组网传输等内容，恰好构成具身智能体实现环境感知与行为响应的基础[14]。因此，我们认为课程改革应当从孤立的组网通信教学向面向具身智能系统的感知底座设计转型，让学生不仅掌握传感网怎么组网，更能理解感知数据如何支撑上层智能决策。

基于上述分析，如表 1 所示，我们构建了“三阶递进、双轨融合”的教学改革框架。所谓三阶递进，是指将课程内容划分为基础层、延伸层和前沿层三个层次。基础层保留传感网的核心知识体系，包括传感器原理、网络拓扑、路由协议、数据融合等经典内容，确保学生建立扎实的学科根基。延伸层则将传感网知识迁移至具身智能应用场景，引入移动感知、动态拓扑维护、感知驱动控制等内容，完成从静态组网到动态感知的能力跃迁。前沿层则以超材料感知为跨学科融合窗口，介绍人工微结构如何突破传统传感器的物理极限，并借助仿真软件让学生初步体验超材料器件的设计与性能分析[15]。三个层次并非简单的知识堆叠，而是遵循打基础、拓视野、促创新的递进逻辑，尽可能在教学中使不同基础的学生都能找到适合自己的路径。

在实践环节，课程团队采用仿真为主、实物为辅的双轨融合策略[16]。仿真轨道利用 COMSOL、NS3、Gazebo 等开源工具，覆盖超材料结构设计、传感网协议验证以及具身智能集成仿真三个模块，学生可以在虚拟环境中完成感知系统从设计到验证的全流程训练，这种方式不仅降低了硬件投入成本，也便于学生反复调试和优化。实物轨道则依托低成本 ESP32 传感节点和机器人平台，完成关键环节的实物验证，让学生在真实硬件上体验数据采集、无线传输与运动控制之间的联动关系。仿真与实物两条轨道相互支撑、互为补充：仿真解决能不能做的设计训练，实物验证做得对不对的实际效果。整个改革框架以科研支撑教学、以工程创新组织内容，既沿袭了陕西省一流课程的建设经验[1]，也在改革中持续探索了适合地方综合性大学资源条件的差异化改革路径。

表 1 三阶递进与双轨融合的教学改革

维度	传统模式	改革后的方向
课程定位	传感网组网与协议技术	具身智能系统的感知底座
内容组织	按协议栈线性编排	从基础、延伸到前沿知识
实践方式	静态节点+验证性实验	将仿真设计与实物验证相结合
学科边界	单一学科（计算机/通信）	跨计算机、物理的材料学科
前沿对接	教材滞后，更新缓慢	具生智能与超材料联合
能力导向	知识掌握与协议理解	感知底座设计与系统集成能力

为进一步将科研资源系统转化为教学资源，课程构建了科研反哺教学的四条实施路径。第一，科研问题案例化。将具身智能、超材料感知与智能传感系统中的真实科研问题转化为课堂案例，使教学内容源于前沿、贴近实践。第二，科研平台教学化。将 COMSOL 等开源仿真工具和 ESP32 等系统平台纳入实验教学体系，打通科研工具与教学应用之间的壁垒。第三，科研成果任务化。将 CCF A 类论文中的前沿方法分解为本科生可完成的分层项目任务，使学生在完成任务的过程中接触科研前沿。第四，科研方法训练化。通过引导学生阅读论文、开展仿真实验、调整参数、设计对照实验并解释结果等，系统训练学生的科研思维与工程能力。各路径相互支撑、层层递进，构成了可持续的科研反哺教学运行机制。于潜移默化中点燃学生心中探索创新的火苗，培育其未来从事科学研究的潜质与志向。

4 课程教学改革实践过程

针对上文所描述的三个深层矛盾，课程团队从 2024 年开始，依托陕西省一流课程建设平台，逐步推进《传感网原理及应用》课程的教学改革。基本思路可以概括为“一条主线、两个抓手、三个重构”。一条主线，是指课程团队以具身智能的技术需求作为课程内容更新的牵引，让传感网教学从教组网转向教感知底座设计。两个抓手，一方面科研支撑教学，将 CCF A 类会议论文中的前沿成果转化为教学案例[17]；另一方面工程创新内容，从地方产业真实需求中提炼项目场景。三个重构，分别是教学目标重构、内容体系重构和实践方式重构。

在具体推进过程中，课程团队并没有采取推倒重来的激进方式，而是坚持增量渐进、试点先行的方法。先在大纲修订中增加具身智能和超材料感知的专题模块，再在实验环节补充仿真实验内容，最后在综合项目中要求学生完成跨学科的系统设计。整个过程持续了两个学期，涉及两个班级共 80 余名学生。

4．1 教学目标的重构

传统课程教学目标偏重理论知识记忆与原理理解，多聚焦掌握传感网体系结构、熟悉主流路由协议等基础理论要求，未明确界定学生完成课程学习后可独立完成的实操与工程任务。针对这一问题，本课程以能力产出为核心导向重构教学目标，围绕传感网系统基础部署、具身智能系统集成、跨学科前沿探索三个维度建立分层式培养目标体系[18]。

目标一：具备典型场景下传感网系统的独立设计与部署能力。学生可结合实际应用需求，完成传感器选型、节点部署方案设计、网络拓扑规划及路由策略配置，实现数据采集、无线传输与基础数据处理的完整流程。该目标侧重培养学生的系统性工程问题求解能力，摒弃单纯记忆协议规范的浅层学习模式。

目标二：具备传感网技术与具身智能平台的集成应用及感知驱动响应能力。学生可在机器人等具身智能平台上，完成传感节点的硬件搭载与软件适配，设计适配动态拓扑变化的网络传输方案，搭建传感器输入到执行器响应的闭环控制逻辑。该目标精准对接具身智能感知层技术需求，推动学生能力从静态组网适配向动态实时场景应用升级。

目标三：具备超材料感知前沿技术认知与跨学科仿真探索能力。学生可明晰人工微结构材料突破传统传感器物理性能局限的核心原理，能够依托 COMSOL 仿真软件完成超材料单元结构设计与性能分析，并有效关联仿真结果与传感网系统的整体设计优化。该目标不要求学生深耕材料专业理论，重在拓宽跨学科视野、提升前沿技术认知与探索能力。

重构后的教学目标形成基础部署、具身集成、前沿探索的递进式培养逻辑。课程教学层层递进，先夯实学生的传感系统搭建能力，再培育其依托传感网支撑具身智能应用的集成能力，最后引导学生认知新材料技术对传感系统性能的突破作用。该目标体系既保留了传感网课程的核心教学内容，又契合新工科交叉

融合育人要求，为复合型创新人才培养提供了清晰的能力培养框架。

4．2 教学内容的创新性重组

按照目标重构所确立的基础部署、具身集成、前沿探索递进逻辑，对课程内容进行了创新性重组，形成三个各有侧重又相互支撑的教学模块。

模块一：传感网系统设计与部署基础（对应目标一，约占 60% 学时）。保留传感器选型、拓扑结构、路由协议、数据融合等经典内容，同时精简工程中极少使用的协议细节和过度理论推导，增加从需求到方案的系统设计方法教学。学完本模块，学生应能独立完成典型场景下的传感网方案设计与节点编程调试。

模块二：面向具身智能的感知集成（对应目标二，约占 20% 学时）。设置三个案例驱动的教学单元：移动感知与传感器融合、动态拓扑与自适应传输、感知驱动的行为响应。将传感网知识迁移至四足机器人等移动平台，培养学生完成硬件集成、动态组网与感知-行动闭环设计的能力。

模块三：超材料感知与跨学科探索（对应目标三，约占 20% 学时）。以专题讲座结合仿真实验的方式，介绍超材料基本概念、前沿案例（如拉胀结构触觉传感器），指导学生用 COMSOL 完成简单超材料单元的建模仿真，并与传统传感器性能对比。本模块重在拓展跨学科视野，不追求材料理论的系统性。

课程团队通过一个贯穿学期的综合项目，将三个模块有机串联。以工业园区巡检机器人感知系统设计为例，课程团队将任务分阶段递进：第一模块完成传感网方案设计，第二模块在移动平台上部署验证，第三模块尝试用超材料仿真优化传感器性能。期末以演示答辩形式考核，确保教学内容的系统整合。

5 实践考核与评估反馈

实践教学是传感网课程改革落地的关键环节。如图 1 所示，课程团队构建了仿真与实物双轨并行的实践体系，并配套设计了过程性与结果性相结合的考核机制。

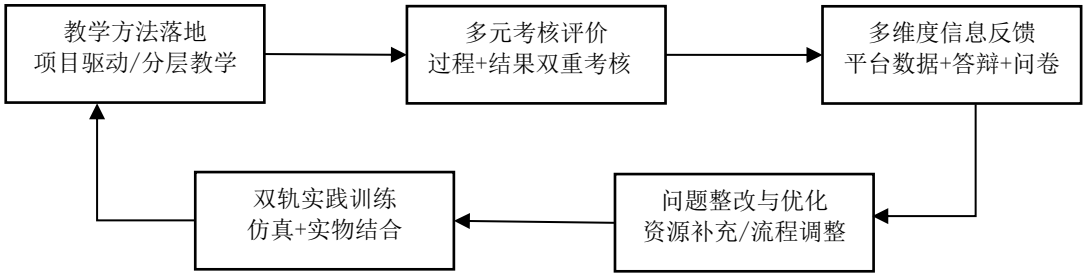


图 1 实践考核与评估反馈流程

5．1 实践体系的双轨设计

仿真轨道承担大部分设计训练任务，覆盖超材料结构仿真、传感网协议仿真和具身集成仿真三个层次。学生在机房使用 COMSOL 完成超材料单元的建模与参数分析，在 NS3 中验证动态拓扑下的路由协议性能，在 Gazebo+ROS 环境中搭建四足机器人模型并完成感知-行动闭环仿真。这一轨道无需硬件投入，便于学生反复调试、快速迭代，重点训练系统设计思维。

实物轨道则用于关键环节的验证。我们配置了 ESP32 开发套件，搭配温湿度、气体、IMU 等传感器和机器人平台。学生需将仿真中设计的传感网方案部署到真实硬件上，完成数据采集、无线传输，并在移动平台上验证感知-响应闭环。由于硬件数量有限，实物实验采用小组轮转方式，每组一周完成一个实验轮次。仿真与实物相互补充：仿真解决能不能做的设计问题，实物验证做得对不对的实际效果。

5．2 教学方法的配套调整

为支撑上述实践体系，我们在教学方法上做了三方面调整。一是项目驱动贯穿始终[19]。学期初布置综合项目任务，整个学期的学习和实验都围绕该项目展开，各模块学到的知识点直接应用到项目中，学期末进行演示答辩。二是分层教学照顾差异。每个实验任务设置必做和选做两个层次，必做任务保证所有学生完成基础训练，选做任务提供给学有余力的学生挑战自我。例如在超材料仿真实验中，必做任务是完成标准结构的仿真并记录数据，选做任务是调整参数寻找最优设计并分析原因。三是前沿论文导读。课程团队从 CCF A 类会议中挑选适合本科生阅读的最新论文，在课堂上进行导读，引导学生关注论文解决的问题、采用的新方法以及对课程知识的启发，以此启蒙科研思维。

5．3 考核与评估反馈机制

在考核体系构建上，课程团队坚持以能力为导向，弱化记忆性题目，加大设计分析与综合应用权重。具体构成如下：平时表现（包括课堂互动、论文导读讨论、实验过程记录等）占 20%，仿真实验报告（包括超材料仿真、协议仿真、集成仿真三个阶段）占 30%，综合项目成果（包括设计方案、实物演示、答辩汇报等）占 30%，期末开卷考试（以场景分析和系统设计题为主）占 20%。

在整个教学周期积极推动评估反馈。围绕过程性评估，课程团队利用超星学习通平台记录学生的仿真实验数据、代码提交、讨论区发言等，教师每周查看学习进度，对滞后学生进行个别提醒。每个模块结束后安排一次小测验或项目阶段性汇报，及时发现问题并调整后续教学。终结性评估在期末进行，综合项目答辩邀请部分企业工程师现场或者远程参与评审，从产业应用角度提出改进意见。

课程结束后，我们通过问卷调查和座谈收集学生反馈。近两学期共回收有效问卷 187 份，其中约 86% 的学生认为仿真与实物结合的实践方式有助于理解传感网系统设计流程，79% 的学生表示超材料仿真模块拓展了他们的技术视野。同时，部分本科学生通过基础知识的积累，积极参与到科研工作中，并发表高水平 CCF A 类论文。当然，部分学生也提出了仿真软件学习曲线较陡、实物实验轮转周期偏长等问题，我们在后续教学中通过增加仿真操作指导视频、优化小组轮转安排等方式进行了改进。这种持续迭代的反馈机制，保证了课程改革能够不断贴合学生实际和行业发展[20]。

6 结束语

本文以陕西省一流课程建设为契机，提出以具身智能为牵引、超材料感知为跨学科窗口的改革路径。重构了基础部署、具身集成、前沿探索三阶教学内容，通过仿真与实物双轨实践和科研反哺教学的实施路径实现从知识学习到系统创新能力的转化，并配套设计了过程性与结果性相结合的考核机制。两年来的教学实践表明，这一改革方向是可行的。学生不仅掌握了传感网的系统设计方法，还能够将所学知识迁移至不同的具身智能平台，部分学生在超材料仿真实验中表现出浓厚的跨学科兴趣。课程的综合项目优秀率较改革前有所提升，学生参与学科竞赛的积极性也明显增强。当然，改革仍处于探索阶段，跨学科师资不足、实物实验设备有限等问题尚未完全解决。后续将在深化与物理、材料学科的协同教学，以及开发更多低成本仿真案例方面继续努力，力争形成可复制、可推广的地方高校传感网课程改革范式。

参 考 文 献

[1] 汤战勇, 王薇, 牛进平, 等. 传感网原理及应用一流课程改革与实践[J]. 计算机教育, 2025(9): 27-32.

[2] 苏庆华, 宋燕星, 黄红亮, 等. AI 赋能新工科背景下的“物联网技术实践”探索[J]. 教育进展, 2025, 15(12): 1086-1091.

[3] 陈乃建, 门秀花, 陈鑫. 具身智能视域下智能制造领域人才培养的需求转型与范式重构[J]. 中国大学教学, 2025(7): 46-53.

[4] 胡建平, 李涛. 具身智能 —— 从智能感知到生态共生的进化[J]. 中国计算机学会通讯, 2025, 21(8): 34-41.

[5] 孙长银, 袁心, 王远大, 等. 具身智能自主无人系统技术[J]. 自动化学报, 2024, 51(4): 762-777.

[6] 崔铁军, 刘硕, 郑义宁, 等. 时空编码超表面集成感知与通信[J]. Nature Communications, 2025, 16(1): 1234.

[7] 游检卫, 张嘉男, 刘彻, 等. 智能计算电磁学及其超材料智能设计应用[J]. 现代应用物理, 2025, 16(1): 9-33.

[8] 张金晶, 赵文旻, 耿铭慈, 等. 价值引领、知识传授与能力培养相融合 —— 物联网专业教学改革路径研究[J]. 职业教育发展, 2026, 15(1): 81-86.

[9] 刘华平, 郭迪, 孙富春, 等. 基于形态的具身智能研究：历史回顾与前沿进展[J]. 自动化学报, 2023, 49(6): 1131-1154.

[10] 陶永, 万嘉昊, 王田苗, 等. 构建具身智能新范式：人形机器人技术现状及发展趋势综述[J]. 机械工程学报, 2025, 61(15): 121-147.

[11] 姜庆玲. “岗课赛证”融合模式下物联网应用技术专业课程体系建设——以铁岭师范高等专科学校为例[J]. 辽宁师专学报（自然科学版）, 2025, 27(2): 39-45.

[12] 杨晨, 张洪欣, 高小榕, 等. 跨学科融合与实践导向：新时代高校脑机接口课程教学模式改革探索[J]. 高等工程教育研究, 2026(3): 71-78.

[13] 沈甜雨, 陶子锐, 王亚东, 等. 具身智能研究的关键问题：自主感知、行动与进化[J]. 自动化学报, 2025, 51(1): 43-71.

[14] 谢晓川, 张东升. 基于物联网的工业具身智能体演示学习系统[J]. 机器人技术与应用, 2025(6): 53-56.

[15] 徐一花. 新质生产力背景下物联网专业拔尖创新人才培养模式探究[J]. 农机使用与维修, 2025(9): 145-148.

[16] 赵小阳. 物联网通信技术教学改革新探：项目实践与生成式 AI 的协同创新[J]. 电脑与电信, 2025(1): 87-92.

[17] 王牧华, 刘恩康. 基于创客空间的本科拔尖创新人才培养：为何与何为[J]. 高等工程教育研究, 2021(4): 188-194.

[18] 于倩, 原续波, 孙涛, 等. 新工科教育背景下本科跨学科人才培养模式的探索与实践——以天津大学“未来智能机器与系统”培养平台为例[J]. 高等工程教育研究, 2026(2): 47-52.

[19] 朱艳, 李卫民, 洪明虎, 等. 基于现场工程师理念的“传感器与检测技术”课程教学改革研究[J]. 物联网技术, 2026, 16(8): 141-144.

[20] 曾志宏, 黄婷. 基于 OBE 理念的物联网工程专业人才培养模式改革实践[J]. 科教导刊, 2024(30): 19-21.