

数字文旅专业系列教材 · 教学课件

智慧旅游系统架构设计与实践

第3章 智慧旅游系统架构的演进范式

授课对象：安顺学院旅游管理学院 · 旅游管理专业本科生

主讲：祝刚

本章导览

- 3.1 智慧旅游系统架构演进历程
- 3.2 技术驱动下的架构变革
- 3.3 新兴架构范式
- 3.4 架构演进趋势与展望
- 国际比较与经验借鉴
- 技术经济学分析
- 社会文化影响
- 监管框架与政策环境
- 产业化路径与商业模式创新
- 前沿研究方向
- 实践案例深度分析
- 理论深化与前沿探讨
- 产业化路径补充

- 通过本章学习，读者应能够：
- 识记：智慧旅游系统架构四代演进的特征与标志性技术
- 理解：技术演进驱动架构变革的内在逻辑
- 应用：运用云原生和边缘原生架构范式设计智慧旅游系统
- 分析：分析不同代际架构在不同场景中的适用性
- 评价：评估架构演进路径的合理性与未来方向

- 创造：设计一个支持平滑演进的智慧旅游系统架构方案

- 某知名 5A 景区的信息化建设始于 2012 年，最初采用传统的 B/S 三层架构（表示层 - 逻辑层 - 数据层），使用 .NET Framework 技术开发，
- SQL Server 数据库存储数据 [16]。
- 系统功能包括电子票务、景区官网和简单的客流统计。
- 2015 年，随着移动支付的普及和游客对移动端服务的需求增长，景区启动了移动端改造，开发了基于微信公众号的智慧导览服务。
- 但由于原有架构未考虑移动端适配，移动服务与后台系统之间存在数据同步延迟和接口不一致问题。

- 2018 年，景区引入云计算平台，将系统迁移至阿里云，采用 SOA 架构重构核心服务。票务、导览、营销等模块被拆分为独立服务，通过企业服务总线（ESB）进行编排。
- 这一阶段解决了系统耦合度高的问题，但 ESB 逐渐成为性能瓶颈。
- 2021 年，景区启动微服务架构升级，引入 Docker 容器化和 Kubernetes 编排，实现了服务的独立部署和弹性伸缩。
- 在节假日大客流场景下，系统可以自动扩容票务和导览服务的容器实例数量，保障了系统稳定性。同时，5G 网络的覆盖为 AR 导览和实时直播提供了网络基础。
- 这一演进历程反映了智慧旅游系统架构从单体到分布式、从静态到弹性、从技术驱动到体验驱动的发展趋势。

01

3.1 智慧旅游系统架构演进历程

3.1.1 第一代：单体架构与 C/S 模式（2010 年前）

- 智慧旅游发展的早期阶段，系统架构以单体架构和客户端 / 服务器（C/S）模式为主。这一阶段的技术特征是：
- 技术栈。
- 马骞（2018）的研究典型地反映了这一时期的技术选择——基于 .NET Framework 3.5 技术架构，以 Microsoft SQL Server 2008 作为数据库，
- Microsoft Visual Studio 2013 为开发工具，Microsoft Windows Server 2008 作为 Web 服务器 [16]。
- 这一技术栈在当时的企业级应用中广泛使用，但存在平台锁定和扩展性不足的问题。
- 架构特点。单体架构将所有功能模块打包在一个应用中部署，包括用户界面、业务逻辑和数据访问层。优点是开发简单、部署方便、适合小规模应用。
- 缺点是随着功能增加，代码库膨胀，维护困难，任何修改都需要重新部署整个应用。
- 应用场景。这一阶段的系统主要面向景区内部管理，功能集中在电子票务、员工管理和简单的统计分析。游客端服务非常有限，主要通过景区官网提供基本信息浏览。

3.1.1 第一代：单体架构与 C/S 模式（2010 年前）

- 局限性。单体架构的最大局限在于无法应对业务规模的增长。当景区需要新增智慧导览、智能推荐等功能时，单体应用的代码复杂度急剧上升，开发效率和系统稳定性同步下降。

3.1.2 第二代： B/S 架构与三层架构（2010-2015）

- 随着 Web 技术的发展和移动互联网的兴起，智慧旅游系统架构进入第二代。B/S（浏览器 / 服务器）架构取代 C/S 成为主流，三层架构模式被广泛采用。
- 石红姣（2018）的三层架构设计是这一时期的代表性实践 [5]。该架构将系统分为表示层（用户界面）、逻辑层（业务处理）和数据层（数据存储），解决了单体架构中界面与逻辑混杂的问题。
- 石红姣特别细分了系统核心层和服务层，对服务层的四个功能模块进行了详细介绍，通过软件开发验证了系统的完善功能和良好用户体验。
- 姚国章（2012）在这一时期提出了更具宏观视角的智慧旅游建设框架 [17]，将智慧旅游的发展框架归纳为八大组成部分：制度体系、基础设施体系、信息资源体系、应用支撑体系、应用体系、服务体系、
- 法规与标准化规范体系和信息安全与运维保障体系。
- 这一框架虽然不是严格意义上的技术架构，但它为系统架构设计提供了全面的维度参考。
- 第二代架构的主要进步在于关注点分离——界面、逻辑和数据的分离使得各层可以相对独立地演化和扩展。但仍存在局限：三层架构是逻辑上的分离，物理部署上往往仍在同一服务器上，无法实现真正的分布式扩展。

3.1.3 第三代：云计算与 SOA 架构（2015-2020）

- 2015 年前后，云计算技术的成熟和 Gretzel 等（2015）智慧旅游理论的提出 [1]，推动了智慧旅游系统架构进入第三代。
- 石宇良和栗璞（2014）较早提出了基于云计算的智慧旅游云解决方案 [18]，借助计算机、移动设备、智能终端等工具，以智慧服务为主要表现形式，构建更加智慧的旅游架构体系。
- 这一方案将云计算引入智慧旅游架构，实现了计算资源的弹性分配和按需使用。
- Gao 和 Li（2020）进一步设计了基于云服务的智慧旅游管理系统 [19]，采用四层逻辑架构：模块层、基础层、功能层和展示层。
- 该架构在三层架构基础上增加了模块层和基础层，更好地支持了云环境下的模块化设计和基础设施抽象。
- 王艳军等（2014）的面向服务架构（SOA）实践是第三代架构的另一重要贡献 [6]。通过将旅游服务分解为独立的、可组合的服务单元，SOA 实现了服务的灵活编排和快速交付。
- 然而，传统 SOA 的 ESB（企业服务总线）模式存在单点故障风险和性能瓶颈，这为第四代微服务架构的兴起埋下了伏笔。
- 丁俊伟等（2016）在“基于云计算、物联网的智慧旅游系统关键技术研发及应用”项目中 [20]，展示了第三代架构的综合实践——将云计算和物联网技术结合，通过互联网和移动互联网，借助手机、

3.1.3 第三代：云计算与 SOA 架构（2015-2020）

- 电脑等便携设备主动感知旅游资源、旅游经济、旅游活动、旅游者等方面的信息，实现游客在旅游前、旅游中、旅游后的智慧旅游服务。

3.1.4 第四代：微服务与云原生架构（2020 至今）

- 2020 年以来，微服务架构和云原生技术的成熟推动了智慧旅游系统架构的第四次迭代。
- 陈伍香等（2023）以桂林智慧旅游管理系统为例 [9]，提出了基于微服务架构的设计方案，将系统按业务域拆分为游客服务、景区管理、营销分析、应急指挥等微服务集群。
- 该方案结合 5G 技术、AR/VR、人工智能等技术的融合需求，为提升旅游管理效率、优化用户体验和推动旅游业数字化转型提供了技术支持。
- 肖荣和高全亮（2019）的微服务架构智慧景区平台研究 [8]，展示了 Docker 容器化技术在应对节假日大客流冲击方面的优势。
- 通过快速启动大量 Docker 容器，实时调度服务资源，水平扩展相应的应用服务，系统达到了迅速扩容、提高访问性能的目的。
- García 等（2018）在国际上率先将微服务架构引入智慧旅游平台设计 [7]，将旅游平台分解为推荐服务、用户服务、内容服务、预订服务等独立微服务。
- 每个微服务拥有自己的数据库（Database per Service 模式），通过 API 网关统一对外提供服务。这种架构模式后来成为智慧旅游微服务设计的事实标准。
- 第四代架构的核心特征是云原生——容器化封装、微服务架构、动态编排和持续交付。

3.1.4 第四代：微服务与云原生架构（2020 至今）

- 云原生架构不仅是一种技术选择，更是一种设计哲学——它将分布式系统的复杂性作为既定条件接受，并通过自动化工具链来管理这种复杂性。

02

3.2 技术驱动下的架构变革

3.2.1 物联网技术对感知层的重构

- 物联网技术是驱动智慧旅游架构演进的核心力量之一。
- Rosário 和 Dias （2024）的系统性文献计量综述显示 [21]，IoT 在智慧旅游中的研究文献从 2015 年开始呈指数级增长，反映了 IoT 技术对智慧旅游架构的深刻影响。
- Guo 等（2014）在分析中国智慧城市与旅游物联网的融合时 [22]，描绘了一个多层次的旅游物联网平台架构：顶层是政府、旅游企业、社会组织、游客和工业化部门等参与方；核心是旅游物联网应用服务；
- 底层依赖地理空间基础框架和网络基础设施。这一架构将 IoT 从单纯的数据采集技术提升为连接各参与方的平台基础。
- Tang 等（2022）在研究智慧旅游导向的传感器网络构建与信息服务模式时 [23]，深入分析了 IoT 传感器网络的架构设计。
- 他们指出，IoT 和云计算对旅游业的影响是颠覆性的——通信技术触发了 IoT 领域的重大变革，而 IoT 的创新应用正在重塑旅游信息服务的模式和架构。
- Bi 和 Liu （2022）提出了基于机器学习的云 IoT 平台 [24]，将机器学习算法嵌入 IoT 数据处理流程，实现了智能旅游信息服务的自动化和智能化。
- 该平台的架构分为三层——用户层（IoT 终端设备）、网络层（5G/WLAN/ 有线网络）和服务层（云平台应用），是第四代架构的典型代表。

3.2.2 5G 技术对网络层的赋能

- 5G 技术的高带宽、低延迟和大连接特性为智慧旅游架构带来了根本性变革。
- Peng 等（2020）在研究 5G 智慧旅游 IoT 时 [25]，提出了三层架构：用户层（无线传感系统、RFID 系统、卫星遥感系统）、网络层（有线网络、互联网、无线 5G 网络）和服务层（云端智能应用）。
- 5G 网络在高速数据传输和低延迟通信方面的优势，使实时 AR 导览、4K/8K 直播等高带宽应用成为可能。
- Chen 等（2021）在综述旅游与酒店业的移动通信发展时 [26]，梳理了从 1G 到 5G 的演进历程及其对旅游服务的影响。
- 他们指出，5G 网络实现了汽车、道路和各种设备之间的信息交互，使 "万物互联"（Internet of Everything）在旅游场景中真正落地。
- 5G 网络切片技术是 5G 赋能智慧旅游架构的关键创新。通过网络切片，运营商可以为不同旅游业务定制专用网络——为 AR/VR 导览分配高带宽切片，为应急指挥分配低延迟切片，为传感器监测分配大连接切片。
- 这种网络资源的精细化分配使智慧旅游系统架构在网络层面获得了前所未有的灵活性。

3.2.2 5G 技术对网络层的赋能

- 张莉敏和夏托托（2023）阐述了 5G 和 AR 技术在智慧旅游中的应用方案 [27]，包括公有云与私有云部署、数据共享服务、数据库和数据支撑、边缘计算节点应用、AR 增强体验、切片网络的应用。
- 这一方案展示了 5G 技术对智慧旅游架构各层面的全面影响。

3.2.3 人工智能对应用层的智能化升级

- 人工智能技术的突破正在深刻改变智慧旅游系统应用层的架构设计。
- García-Madurga 和 Grilló-Méndez （2023）在综述旅游业中的人工智能时指出 [28]，智慧旅游集成了传感器、大数据处理、开放数据、开放 API 和多设备连接等多种先进技术，
- AI 是串联这些技术组件的 " 智能内核 "。
- AI 对应用层架构的影响体现在三个层面：
 - 算法层。推荐算法从传统的协同过滤升级为深度学习推荐模型，自然语言处理从规则匹配升级为基于 Transformer 的大语言模型，图像识别从特征工程升级为端到端深度学习。
 - 这些算法升级要求应用层架构支持 GPU 计算、模型推理服务和在线学习。
 - 服务层。AI 能力以微服务形式提供——推荐服务、NLP 服务、CV 服务各自独立部署，通过 API 被上层应用调用。
 - Du （2021）设计的基于数据挖掘算法的智能旅游信息系统 [29] 就是这种架构的典型实践。

3.2.3 人工智能对应用层的智能化升级

- 应用层。AI 驱动的应用场景不断扩展——从智能推荐到智能客服，从行程规划到 AR 导览，每个应用都在 AI 的加持下变得更加智能和个性化。
- Li 等（2022）在研究 AI 技术在智慧景区建设中的应用时 [30]，以南充市为案例展示了 AI 在景区管理、游客服务和营销推广中的全面应用。

03

3.3 新兴架构范式

3.3.1 云原生架构：容器化、DevOps 与持续交付

- 云原生架构（Cloud Native Architecture）是第四代智慧旅游系统架构的核心范式。它包含四个关键要素：
- 容器化。Docker 容器将应用及其依赖打包在一起，确保在不同环境中的一致运行。
- 肖荣和高全亮（2019）的实践验证了容器化在智慧景区中的价值 [8]——通过快速启动大量 Docker 容器应对节假日客流冲击，实现了弹性扩容。
- Kubernetes（K8s）作为容器编排平台，负责容器的调度、扩缩容和故障恢复，是云原生架构的 " 操作系统 "。
- 微服务。将应用拆分为小型、独立、松耦合的服务。García 等（2018）的智慧旅游平台设计 [7] 是微服务在智慧旅游中的开创性实践，他们将平台分解为推荐服务、用户服务、内容服务等独立微服务。
- DevOps。开发与运维的一体化实践，通过 CI/CD（持续集成 / 持续交付）流水线实现代码的自动构建、测试和部署。
- DevOps 将传统的 " 开发→测试→运维 " 线性流程转变为敏捷的循环流程，大幅缩短了智慧旅游系统的功能迭代周期。
- 服务网格。Istio、Linkerd 等服务网格技术为微服务间的通信提供了统一的管理层，包括流量控制、安全策略和可观测性。

3.3.1 云原生架构：容器化、DevOps 与持续交付

- 在智慧旅游系统中，服务网格可以实现灰度发布（如先向 10% 的游客推送新版本导览功能）、熔断降级（如当推荐服务超时时自动降级为热门景点列表）等高级流量管理能力。

3.3.2 边缘原生架构：边缘计算与雾计算

- 边缘原生架构（Edge Native Architecture）将计算能力从云端下沉到网络边缘，为对时延敏感的智慧旅游应用提供支撑。
- Taleb 等（2017）在 IEEE Communications Magazine 上提出 " 移动边缘计算 " 概念 [12]，探讨了边缘计算在智慧城市视频流应用中的潜力。
- 他们考虑了两种智慧旅游用例：高清视频流媒体和沉浸式 AR 体验，这两种场景都对网络延迟有极高要求——云端集中处理难以满足实时性需求，边缘计算将处理节点部署在靠近用户的位置，显著降低了延迟。
- Bujari 等（2020）提出了 5G 时代支持智慧旅游发展的地理分布式架构 [11]。该架构利用 5G 网络的低延迟特性，将计算任务在云、边、端之间动态分配。
- 中国联通广西分公司（2023）以 " 一键游广西 " 为实践案例 [31]，展示了 5G+ 分布式云渲染、5G+ 云导播、5G+ 采编、5G+VR、5G+ 慢直播等边缘计算应用功能。
- Khan 等（2020）在边缘计算赋能智慧城市的综合调研中 [32] 指出，移动边缘计算架构可以支持智慧旅游中的高清视频流和沉浸式体验，通过将计算任务卸载到边缘节点，
 - 既降低了延迟又减轻了云端的计算压力。
 - 边缘原生架构的设计原则包括：

3.3.2 边缘原生架构：边缘计算与雾计算

- 边缘优先。应用逻辑尽可能在边缘节点执行，只有需要大规模数据处理或全局协调时才回传云端。
- 数据就近。数据在产生地点附近进行处理和存储，减少网络传输开销。Cepeda-Pacheco 和 Domingo（2022）的设备层 - 雾层 - 云层三层架构 [10] 就是数据就近处理原则的典型实践。
- 弹性边缘。边缘节点的计算资源有限且动态变化，架构需要支持边缘节点的动态加入和退出，以及任务的自动迁移。

3.3.3 数字孪生架构：虚实映射与实时仿真

- 数字孪生（Digital Twin）架构是智慧旅游系统架构的前沿发展方向。
- Florido-Benítez（2024）在研究数字孪生应对智慧旅游目的地未来挑战时 [33] 指出，数字孪生技术可以将旅游目的地的实际情况与数字化仿真模型进行实时连接，
 - 为目的地管理提供前所未有的洞察和预测能力。
- 刘平等（2022）在石宝寨景区的数字孪生实践中 [34]，利用大数据、云计算、渲染引擎、VR 技术、物联网、区块链、智能感知、智能定位、3D 建模、元宇宙等高新技术，构建了数字孪生景区管理平台。
 - 该平台的架构包括物理层（景区实体与 IoT 设备）、虚拟层（3D 建模与实时渲染）、连接层（数据双向同步与实时映射）和应用层（智慧管理、智慧运营、品牌化营销）。
- Rahmadian 等（2023）将数字孪生与大数据治理和可持续旅游三者关联讨论 [35]，揭示了数字孪生架构在旅游可持续发展中的独特价值——通过虚实映射和实时仿真，
 - 管理者可以在虚拟空间中预演不同决策的影响，选择最优方案后再在物理空间中执行。

04

3.4 架构演进趋势与展望

趋势一：从技术架构到社会 - 技术架构

- 智慧旅游系统架构正在从纯技术架构向社会 - 技术架构演进。这意味着架构设计不仅关注技术组件的布局和交互，还要关注人与技术之间的协作关系、社会因素的影响和伦理约束的嵌入。
- S.M.A.R.T. 框架中 R 维度（韧性与安全治理）和 T 维度（旅游体验与生态）的独立设置，正是对这一趋势的回应。

趋势二：从集中式到分布式再到去中心化

- 架构演进呈现出从集中式到分布式再到去中心化的轨迹。第一代和第二代架构是集中式的——所有功能集中在单一服务器或服务器集群上。
- 第三代和第四代架构是分布式的——微服务部署在多个节点上，通过负载均衡和容器编排实现扩展。
- 明庆忠和韦俊峰（2021）探讨的“区块链 + 智慧旅游”[36] 预示了去中心化架构的方向——通过区块链的分布式账本技术，实现旅游数据的去中心化存储和信任建立。

趋势三：从预定义到自适应

- 传统架构是预定义的——架构师在设计阶段确定所有组件和接口，系统按预定义的结构运行。未来架构将更加自适应——系统能够根据负载变化、用户行为和环境影响自动调整架构结构。
- AI 驱动的架构决策引擎将使这种自适应能力成为可能。

趋势四：从功能导向到体验导向

- 早期架构设计以功能实现为导向—— " 系统能做什么 "。随着智慧旅游的深入发展，架构设计正在转向以体验为导向—— " 系统能为游客创造什么样的体验 "。
- Femenia-Serra 和 Neuhofer （ 2018 ） 的智慧旅游体验研究 [37] 为这一转向提供了理论支撑，他们将体验概念化为可设计、可测量、可优化的系统输出。

05

国际比较与经验借鉴

全球智慧旅游架构演进路径比较

- 全球智慧旅游系统架构的演进并非同步进行，不同国家和地区基于各自的技术基础和市场环境，呈现出差异化的演进路径。
- 美国的跳跃式演进。美国凭借硅谷强大的技术创新能力，在智慧旅游架构演进中呈现出跳跃式特征。许多新兴旅游科技企业直接从微服务和云原生架构起步，跳过了传统 SOA 阶段。
- Booking.com、Airbnb 等平台早在 2015 年前后就完成了微服务化改造，其架构实践为全球智慧旅游行业提供了重要参考。
- Gretzel 等（2015）的理论框架正是基于对美国智慧旅游实践的观察和总结 [1]。
- 欧洲的渐进式演进。欧洲智慧旅游架构演进更注重稳健和合规。
- Gajdosík（2018）对中欧智慧旅游的研究显示 [2]，欧洲的智慧旅游系统普遍经历了完整的四代演进——从单体到 B/S、到 SOA、再到微服务。
- 这种渐进式演进虽然速度较慢，但每一步都经过充分验证，系统稳定性较高。同时，GDPR 等法规框架的约束使欧洲在架构演进中始终将隐私保护作为核心考量。
- 中国的政策驱动型演进。中国的智慧旅游架构演进呈现出鲜明的政策驱动特征。2014 年 "智慧旅游年" 推动了第二代架构（B/S 三层）的广泛部署；

全球智慧旅游架构演进路径比较

- 2015 年 " 互联网 +" 战略加速了第三代架构（云计算 +SOA ）的落地； 2020 年 " 新基建 " 政策和 5G 商用推动了第四代架构（微服务 + 云原生）的普及。
- 新疆农业大学（ 2023 ）的马文化智慧旅游平台 [18] 就是政策驱动下第四代架构在区域特色场景中的实践。

架构演进中的技术转移

- 智慧旅游架构演进中的技术转移呈现出 " 从通用到专用 " 的特征——通用 IT 技术（如微服务、容器化）首先在互联网行业成熟，然后被移植到智慧旅游领域并做行业适配。
- García 等（2018）的微服务智慧旅游平台 [7] 就是将互联网行业的微服务最佳实践引入旅游领域的典型案例。
- 技术转移并非简单的技术搬用，而是需要结合旅游业务特征进行深度适配。
- 例如，微服务架构在电商行业的服务拆分通常按商品品类（服装、电子、食品等），而在智慧旅游中则按业务域（票务、导览、营销、应急等）拆分。
- 又如，容器化在互联网行业主要应对流量峰值（如双 11），而在智慧旅游中则应对客流峰值（如黄金周），两者的流量模式不同——电商流量是全国性的均匀分布，旅游客流则具有强烈的地域集中性。

06

技术经济学分析

架构迁移的投入产出分析

- 从一代架构迁移到下一代架构是智慧旅游系统面临的核心决策之一。以第三代（SOA）向第四代（微服务）迁移为例，投入产出分析如下：
 - 迁移成本。包括代码重构成本（将 ESB 编排的服务拆分为独立微服务）、数据拆分成本（将共享数据库按服务域拆分）、基础设施成本（引入容器平台和服务网格）和团队培训成本。
 - 总体而言，迁移成本约为原有系统年运维预算的 1.5-2 倍。
 - 迁移收益。包括运维效率提升（故障定位时间缩短 60-70%）、系统可用性提升（从 99.5% 提升到 99.9% 以上）、迭代速度加快（从月度发布变为周度发布）和弹性能力增强（支持秒级扩容）。
 - 肖荣和高全亮（2019）的实践表明 [8]，微服务架构在应对节假日大客流时的弹性扩容能力可以避免因系统过载导致的票务损失和游客投诉。
 - 投资回报周期。根据行业经验，第三代向第四代迁移的投资回报周期通常为 2-3 年。但这一周期受多种因素影响——系统规模越大、业务变化越频繁，迁移的收益越显著、回报周期越短。

技术债务的量化评估

- 架构演进中的技术债务可以用 " 架构债务指数 "（ Architecture Debt Index, ADI ）来量化。ADI 综合考虑以下因素：
- 代码耦合度：模块间的依赖关系数量和强度
- 测试覆盖率：自动化测试覆盖的代码比例
- 部署频率：从代码提交到生产部署的平均时间
- 故障恢复时间：从故障发生到恢复的平均时间
- 技术栈老化度：使用已停止维护或过时技术的比例
- 当 ADI 超过阈值时，表明架构债务已积累到危险水平，需要进行架构升级或重构。定期评估 ADI 有助于在技术债务变为技术危机之前采取预防措施。

07

社会文化影响

架构演进对旅游从业者的冲击

- 智慧旅游系统架构的每次升级都会对旅游从业者产生深远影响。从第二代到第三代的迁移使得许多传统旅行社的计调人员被在线预订系统替代；
- 从第三代到第四代的迁移正在使传统的景区运营人员被 AI 驱动的管理系统赋能甚至替代。
- 这种冲击要求架构设计者在追求技术先进性的同时，考虑人的因素——架构演进应支持渐进式过渡，为从业者提供适应和转型的缓冲期。
- S.M.A.R.T. 框架的 T 维度（旅游体验与生态）强调价值共创，这种共创不仅包括游客与企业之间的价值共创，也包括技术与从业者之间的协同演进。

数字鸿沟与架构包容性

- 架构演进可能加剧数字鸿沟——技术能力强的景区可以快速跟进新一代架构，而技术能力弱的景区则可能长期停留在旧代架构上。
- 这种分化如果持续扩大，可能导致 " 智慧旅游鸿沟 "—— 头部景区越来越智能，尾部景区越来越落后。
- 缓解这一问题的架构策略包括：开源共享（将成熟的架构方案开源，降低中小景区的技术门槛）、SaaS 化服务（将复杂架构以即服务模式提供，
- 中小景区无需自建技术团队）和标准化推进（通过行业标准降低架构复杂度）。

08

监管框架与政策环境

"新基建" 政策对架构演进的推动

- 2020 年国家提出 " 新型基础设施建设 " （新基建）战略，明确将 5G 、大数据中心、人工智能和工业互联网纳入重点建设领域。这一政策为智慧旅游架构从第三代向第四代演进提供了强有力的政策支持：
- 5G 基建为边缘原生架构提供了网络基础；大数据中心为数据平台层（ M ）提供了计算资源；人工智能为应用层（ A ）的智能化升级提供了算法基础；
- 工业互联网的理念（设备互联、数据驱动）为感知层（ S ）的 IoT 部署提供了方法论参考。

数据安全法规对架构设计的约束

- 《数据安全法》（2021 年实施）和《个人信息保护法》（2021 年实施）的出台，对智慧旅游系统架构设计提出了新的合规要求。这些法规要求：
 - 数据分类分级。智慧旅游系统涉及的数据需要按敏感程度分类分级存储和管理。游客的身份证号、人脸数据属于高敏感数据，需要加密存储并限制访问；
 - 客流统计、环境监测等数据属于低敏感数据，可以相对开放地共享。这种分类分级要求直接影响数据平台层（M）的存储架构设计。
 - 数据本地化。关键旅游数据应存储在境内服务器上，跨境数据传输需要通过安全评估。这一要求影响了云服务的选择——面向中国市场的智慧旅游系统应优先选择国内云服务商。
 - 数据可删除。游客有权要求删除其个人信息。在微服务架构中，这意味着每个持有用户数据的微服务都需要实现数据删除接口，并确保删除操作在所有服务副本中同步完成。

09

产业化路径与商业模式创新

架构演进催生的新型商业模式

- 每次架构演进都催生了新的商业模式。第四代架构（微服务 + 云原生）催生了以下新型商业模式：
- 旅游 API 市场。微服务架构将旅游能力封装为 API，这些 API 可以在市场上被交易和组合。例如，一个 " 景点推荐 API " 可以被旅行社、酒店和航空公司同时调用，API 提供方按调用量收费。
- 这种模式打破了传统旅游服务的垂直整合模式，形成了水平化的能力交易市场。
- 智慧旅游低代码平台。微服务和云原生技术降低了系统开发的门槛，催生了面向景区和旅游企业的低代码 / 无代码平台。用户通过拖拽组件和配置参数即可搭建智慧旅游应用，无需专业开发团队。
- 这种模式极大地降低了中小景区的智慧化建设门槛。
- 数据信托服务。随着数据安全法规的趋严，旅游企业面临越来越大的数据合规压力。数据信托服务作为一种新型商业模式，由专业机构代为管理和运营旅游数据，确保合规性的同时最大化数据价值。
- 这种模式对应 S.M.A.R.T. 框架中 R 维度（安全治理）和 M 维度（数据平台）的交叉领域。

架构演进对产业链的重构

- 架构演进正在重构智慧旅游产业链。传统产业链是线性的——技术供应商→系统集成商→旅游企业→游客。
- 微服务和云原生架构正在使这一线性链条变为网状——技术供应商直接通过云平台向旅游企业和游客提供服务，系统集成商的角色被云原生平台的自动化能力部分替代，
- 旅游企业从被动的技术采购者变为主动的平台参与者。
- 这种产业链重构对 S.M.A.R.T. 框架的 T 维度（旅游生态）提出了新的要求——架构设计不仅要支持当前产业链结构，还要能够适应产业链持续重构的动态环境。

10

前沿研究方向

架构可演进性研究

- 架构可演进性（ Architectural Evolvability ）是指系统架构在不中断服务的前提下持续演化的能力。
- 这一研究方向关注如何设计架构使其能够适应未来的技术变化和业务需求，而不需要大规模重构。
- 在智慧旅游领域，架构可演进性研究的关键问题包括：如何设计接口契约使其在向后兼容的同时支持功能扩展？如何组织微服务边界使服务拆分在面对业务变化时不需要频繁调整？
- 如何在架构中预留技术替换的 " 接缝 " 使新技术可以渐进式引入？
- S.M.A.R.T. 框架的模块化设计为架构可演进性提供了基础——五个维度的独立性使得单一维度的技术升级（如感知层从 4G 升级到 5G ）不需要牵动其他维度的重构。
- 但维度之间的接口设计是可演进性的关键——如果接口设计过于紧耦合，维度独立性就会名存实亡。

量子计算对智慧旅游架构的潜在影响

- 虽然量子计算距离实际应用还有相当距离，但理论研究表明，量子计算在组合优化（如旅游路线规划）、大规模数据分析和密码学方面具有革命性潜力。
- 前瞻性的架构设计应为量子计算的引入预留概念性空间——即使在当前阶段无法实际部署，也应在架构理论中考虑量子计算可能带来的范式转变。

11

实践案例深度分析

案例一：某省级智慧旅游云平台的架构演进

- 某省级文旅厅的智慧旅游平台始建于 2013 年，经历了完整的架构演进过程，是研究智慧旅游系统架构演进的典型案例。
- 第一阶段（2013-2016）：B/S 三层架构。平台采用 Java EE 技术栈，基于 SSH（Spring+Struts+Hibernate）框架开发，部署在物理服务器上。
- 功能包括旅游资讯发布、景区信息管理和简单的数据统计。系统面向 PC 端用户，未考虑移动端适配。这一阶段的架构简单实用，但随着功能增加，代码库迅速膨胀，部署时间从最初的 10 分钟延长到 40 分钟以上。
- 第二阶段（2016-2019）：云计算 + SOA 架构。平台迁移至阿里云，采用 IaaS 层虚拟机部署。
- 引入 Spring Cloud 微服务框架的早期版本，将系统拆分为资讯服务、景区服务、统计服务和用户服务。
- 通过 RESTful API 实现服务间通信，使用 MySQL 作为主数据库，Redis 作为缓存。
- 这一阶段解决了单体架构的扩展性问题，但 Spring Cloud 的 ESB 组件（如 Zuul 网关）在高并发下出现性能瓶颈。
- 第三阶段（2019-2022）：微服务 + 容器化。平台引入 Docker 容器化和 Kubernetes 编排，完成了全面的微服务化改造。

案例一：某省级智慧旅游云平台的架构演进

- 服务拆分更细——从 4 个粗粒度服务细化为 20+ 个微服务，包括票务服务、推荐服务、搜索服务、支付服务、通知服务等。
- 引入 Service Mesh （Istio）管理服务间通信，实现了灰度发布和熔断降级。数据库采用 " 每服务独立数据库 " 模式，按服务域拆分数据存储。
- 第四阶段（2022 至今）：云原生 + 边缘计算。平台引入边缘计算节点，将实时性要求高的功能（如 AR 导览、实时客流监测）下沉到景区本地边缘节点处理。
- 同时引入数据中台理念，统一管理全平台的数据资产，支持跨服务的数据分析和 BI 报表。这一阶段的架构已基本符合 S.M.A.R.T. 框架的五维结构。
- 该案例的演进历程揭示了几个重要规律：一是架构演进是非线性的——每代架构并非完全替代前一代，而是新旧并存、渐进迁移；
- 二是架构演进受业务需求驱动——每次架构升级都对应着新的业务需求（如移动端、弹性扩容、实时性）；
- 三是架构演进需要组织能力匹配——微服务架构要求团队具备 DevOps 能力，否则技术先进性无法转化为实际效益。

案例二：基于虚拟现实技术的智慧旅游系统设计

- 周子平（2021）提出了基于虚拟现实技术的智慧旅游系统设计思路 [38]，给出了智慧旅游信息系统设计总思路架构，对系统的表示层、逻辑层、数据层进行了分析。
- 该系统通过 VR 技术为用户呈现立体真实的旅游景区沉浸式体验，并可以针对用户提供个性化的旅游服务。
- 这一案例反映了架构演进中的一个重要趋势：新技术引入对架构层次的影响是全方位的。
- VR 技术不仅影响表示层（需要 3D 渲染引擎），还影响逻辑层（需要空间数据处理算法）和数据层（需要存储和管理 3D 模型数据）。
- 这意味着架构师在引入新技术时，不能仅考虑某一层的适配，而需要全盘评估对五维架构的影响。

案例三：基于广电异构组网的智慧景区管理平台

- 2025 年的一项研究提出了基于广电网络多业务承载的智慧景区分层异构组网方案 [39]。
- 针对山地型景区普遍存在的通信盲区、多源异构、应急响应滞后、业务承载能力不足等痛点，该方案依托广电省干网 MPLS VPN 核心节点，以及 " 双光纤环网 +700MHz 5G 广播补盲 " 的融合架构，
 - 突破了复杂地形限制。
 - 通过数字孪生运维平台实现全要素智能监测，形成预测性维护决策闭环。
 - 该案例的架构创新在于融合组网——将广电网络、光纤环网和 5G 三种通信技术融合使用，取长补短。
 - 这种融合架构在 S.M.A.R.T. 框架中属于感知层（S）和网络基础设施的范畴，它拓展了智慧旅游感知层的设计思路——不局限于单一通信技术，而是根据景区地理特征和业务需求，
 - 设计最优的融合组网方案。

12

理论深化与前沿探讨

架构演进的生命周期模型

- 借鉴产品生命周期的概念，智慧旅游系统架构的演进可以划分为四个阶段：
- 引入期。新一代架构概念被引入智慧旅游领域，少量先行者开始试点。此时技术不成熟、人才稀缺、成本高昂，但创新活力最强。当前，元宇宙架构和量子计算架构正处于引入期。
- 成长期。架构方案经过验证后开始规模化推广，技术生态逐步完善，人才供给增加，成本下降。云原生架构正处于成长期，容器化和服务网格工具链日趋成熟。
- 成熟期。架构方案成为行业事实标准，大量最佳实践和模式被总结和标准化。三层架构和 SOA 架构正处于成熟期（甚至已开始进入衰退期）。
- 衰退期。架构方案逐渐被新一代替代，但不会完全消失——遗留系统可能长期运行。单体架构正处于衰退期，但许多中小景区的系统仍在使用。
- 理解架构生命周期模型有助于架构师做出合理的技术选型决策——既不应过度追逐引入期的新技术（风险太高），也不应固守衰退期的旧架构（维护成本递增），而应主要采用成长期和成熟期的架构方案。

架构演进的路径依赖

- 架构演进存在显著的路径依赖（ Path Dependence ）——当前架构的选择受制于历史架构决策。一个从单体架构起步的系统，向微服务迁移时需要先经过 SOA 中间阶段，难以一步到位。
- 这种路径依赖于数据模型的惯性、团队技能的惯性和组织流程的惯性。
- 路径依赖的正面效应是渐进式演进降低了风险——每步演进都是可验证的小幅调整，而非颠覆性重构。负面效应是可能陷入次优锁定——系统架构被历史决策 " 锁定 " 在一个次优状态，即使更优方案存在也难以迁移。
- S.M.A.R.T. 框架的设计有助于缓解路径依赖的负面效应——五维度的独立性使得单一维度的技术升级不需要牵动其他维度，降低了迁移的连锁影响。
- 但维度间的接口设计仍然是路径依赖的潜在来源——一旦接口契约确定，修改成本会随系统规模增长而指数级上升。

人机协同架构

- 随着 AI 技术的深入应用，智慧旅游系统架构正在从 " 人设计、机器执行 " 向 " 人机协同设计、机器自主执行 " 转变。
- 人机协同架构（ Human-AI Collaborative Architecture ）探索如何将 AI 的自主决策能力嵌入架构的运行时（ Runtime ）中，
- 使系统能够根据运行状态自动调整架构参数。
- 在 S.M.A.R.T. 框架中，人机协同架构的可能应用场景包括：感知层（ S ）的传感器采样频率 AI 自动调整、数据平台层（ M ）的计算资源 AI 动态分配、应用层（ A ）的微服务实例 AI 自动扩缩容、
- 安全治理层（ R ）的安全策略 AI 自动响应。
- 人机协同架构的核心挑战是可解释性—— AI 做出的架构决策必须对人类架构师可解释、可审计、可回滚。
- 这要求 AI 决策引擎不仅输出决策结果，还输出决策依据和风险评估，使人类架构师能够在 AI 决策不当时进行干预。

13

产业化路径补充

架构即产品的标准化路径

- 智慧旅游系统架构的标准化是推动产业化的重要路径。通过将成熟的架构方案标准化为 " 架构产品 "，可以大幅降低单个项目的定制化成本。
- 目前，阿里云、腾讯云等云服务商已推出面向旅游行业的解决方案包，包含预配置的微服务模板、数据中台框架和安全合规模块。
- S.M.A.R.T. 框架为这种标准化提供了概念基础——五维度的划分为架构产品的模块化设计提供了清晰的边界。
- 一个标准的智慧旅游架构产品可以按维度组合：基础版包含 S+M 两维度，标准版包含 S+M+A 三维度，企业版包含全部五维度。这种分层产品策略可以满足不同规模和预算的景区需求。

架构人才培养

- 架构演进对人才提出了更高要求。第四代架构（微服务 + 云原生）要求架构师不仅掌握传统的软件设计技能，还要理解容器化、服务网格、分布式系统、CI/CD 等云原生技术栈。
- 当前智慧旅游行业的架构人才严重不足，这成为架构演进的主要瓶颈之一。
- 解决人才瓶颈的路径包括：高校课程更新（将云原生和微服务纳入计算机科学和旅游管理专业的课程体系）、企业内训（通过实际项目培养架构人才）和认证体系（建立智慧旅游架构师认证标准，推动人才专业化）。
- S.M.A.R.T. 框架可以作为架构师培训和认证的知识框架——五个维度对应五类核心能力域，为系统化的人才培养提供结构化路径。

- 本章系统梳理了智慧旅游系统架构的四代演进历程——从单体架构到微服务和云原生架构，分析了物联网、5G 和人工智能三大技术驱动力对架构变革的推动作用，并展望了云原生、
- 边缘原生和数字孪生三种新兴架构范式。
- 架构演进的核心逻辑是从简单到复杂、从静态到弹性、从技术导向到体验导向。
- S.M.A.R.T. 框架的五个维度在这一演进过程中逐步显现——感知层（S）随着 IoT 技术成熟而丰富，数据平台层（M）随着云计算普及而强化，
- 应用层（A）随着 AI 和微服务发展而智能化，安全治理层（R）随着数据安全法规完善而独立化，旅游生态层（T）随着价值共创理念深化而显性化。

- （识记）智慧旅游系统架构四代演进各有什么标志性技术特征？
- （理解）分析物联网技术如何从数据采集工具演变为智慧旅游架构的基础设施层。
- （应用）选择一个仍在使用第二代（B/S 三层）架构的智慧旅游系统，设计一个向第四代（微服务）架构迁移的方案。
- （分析）比较云原生架构与边缘原生架构在智慧旅游场景中的优劣，分析两者如何协同。
- （评价）评估数字孪生架构在智慧旅游中的应用成熟度，讨论其大规模落地面临的主要障碍。
- （创造）设计一个支持四代架构平滑演进的智慧旅游系统架构方案，说明如何兼容历史投资同时引入新技术。

- [1] Gretzel U, Sigala M, Xiang Z, Koo C. Smart tourism: foundations and developm
- [5] 石红姣. 基于三层架构的智慧旅游系统设计与实现 [J]. 万方数据, 2018.
- [6] 王艳军, 路立娟, 李朝奎. 面向服务架构的智慧旅游信息系统的设计与实现 [J]. 维普, 2014.
- [7] García L M, Aciar S, Mendoza R, Puello J J. Smart Tourism Platform Based on
- [8] 肖荣, 高全亮. 基于微服务架构的智慧景区平台关键技术研究与应用 [J]. 维普, 2019.
- [9] 陈伍香, 卢新宇, 蒋清红, 等. 5G 时代下基于微服务架构的桂林智慧旅游管理系统设计与实现 [J]. 万方数据, 2023.

谢谢聆听 · 下章再见

安顺学院旅游管理学院 · 数字文旅专业系列教材