

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2章 智慧旅游系统架构的理论基础

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

- 2.1 系统架构设计的基本理论
- 2.2 智慧旅游系统架构的经典模型
- 2.3 S.M.A.R.T. 框架的理论构建
- 2.4 智慧旅游系统架构设计的评价标准
- 国际比较与经验借鉴
- 实践案例深度分析
- 理论深化与前沿探讨
- 技术经济学分析
- 社会文化影响
- 监管框架与政策环境
- 前沿研究方向
- 产业化路径与商业模式创新
- 实践案例深度分析（补充）
- 理论深化：架构模式的形式化描述

- 通过本章学习，读者应能够：
- 识记：分层架构模式、SOA、微服务架构的基本概念与设计原则
- 理解：智慧旅游系统架构经典模型的核心思想与适用场景
- 应用：运用 S.M.A.R.T. 框架对既有智慧旅游系统进行架构分析
- 分析：比较 S.M.A.R.T. 框架与经典架构模型的异同及各自优势
- 评价：评估不同架构模式在特定智慧旅游场景中的适用性

- 创造：基于 S.M.A.R.T. 框架设计一个智慧旅游系统的总体架构方案

- 2015 年，Gretzel、Sigala、
- Xiang 和 Koo 在 *Electronic Markets* 期刊上发表了 "Smart tourism: foundations and developments" 一文，
- 这是智慧旅游领域最具影响力的奠基性文献之一。
- 该论文提出了智慧旅游的系统化定义，并用一张分层架构图（Figure 1）清晰描绘了智慧旅游的核心组件与层次结构。
- 在该模型中，智慧旅游架构自底向上包括：IT 基础设施层（传感器、网络、服务器）、数据层（旅游大数据的采集与存储）、信息交换层（跨平台数据共享与互操作）、

- 服务层（面向不同用户的智能服务）、应用层（具体的旅游应用场景）和体验层（游客的旅游体验）。
- Gretzel 等（2015）强调，"智慧旅游明确依赖于不仅收集海量数据，而且智能地存储、处理、组合、分析和使用大数据以指导商业创新、运营效率和体验创造的能力"[1]。
- 这一模型的影响深远——后续的智慧旅游系统架构研究几乎都以此为参照或起点。
- Khan 等（2017）在研究迪拜案例时指出，"Koo 等解释了智慧旅游架构由六层组成：IT 基础设施、数据资源、信息集成平台、服务生成、应用和体验"[3]。
- 然而，Gretzel 模型也有其局限——它主要描述了技术层次，对安全治理和生态系统层面的关注不足。本书提出的 S.M.A.R.T. 框架正是对这一不足的回答。

01

2.1 系统架构设计的基本理论

2.1.1 分层架构模式与设计原则

- 分层架构（Layered Architecture）是最经典的软件架构模式，其核心思想是将系统功能按职责划分为若干层次，每层只与其相邻层交互。这种模式在智慧旅游系统架构中得到了广泛应用。
- 石红姣（2018）在设计智慧旅游系统时采用了三层架构模式——表示层、逻辑层和数据层 [5]。表示层负责用户界面展示和交互，逻辑层处理业务规则和流程，数据层管理数据的持久化存储。
- 这种三层架构简单清晰，适用于中小型智慧旅游系统。
- 丁勇（2019）在更宏观的层面提出了智慧旅游系统架构设计，构建了一个 "宽覆盖和深互连" 的系统，为游客提供吃、住、行的智能旅游体验，为旅游管理和公共服务提供智能决策依据 [4]。
- 该架构在三层基础上扩展为多层体系，增加了服务层和接口层，以适应更复杂的业务场景。
- 分层架构的设计遵循以下核心原则：
 - 关注点分离（Separation of Concerns）。每层只负责一类特定的功能，各层之间通过明确的接口通信。在智慧旅游系统中，感知层负责数据采集，不关心数据如何被使用；
 - 应用层负责业务逻辑，不关心数据如何被采集。这种分离使得各层可以独立演进，互不影响。

2.1.1 分层架构模式与设计原则

- 单向依赖。上层依赖下层提供的服务，但下层不依赖上层。这意味着感知层的变化不会直接影响应用层，只要接口契约保持不变。
- 这一原则在智慧旅游系统中尤为重要——传感器设备的升级换代不应导致应用系统的重构。
- 可替换性。每层的实现可以被替换而不影响其他层。例如，数据平台层可以从关系数据库切换到 NoSQL 数据库，只要对外接口不变，应用层无需修改。这种可替换性为技术演进提供了灵活性。

2.1.2 面向服务架构（SOA）理论

- 面向服务架构（Service-Oriented Architecture, SOA）是一种通过松耦合的服务组合来构建系统的架构范式。
- SOA 的核心思想是将应用程序功能分解为可重用的服务，这些服务通过标准化的接口进行通信。
- 王艳军等（2014）在研究面向服务架构的智慧旅游信息系统时，设计了总体框架并重点实现了旅游专题的景点管理、景点搜索、全景影像关联和三维景观导引等服务功能 [6]。
- 该实践验证了 SOA 在智慧旅游中的适用性——通过将旅游服务分解为独立的、可组合的服务单元，实现了服务的灵活编排和快速交付。
- SOA 在智慧旅游中的优势体现在：
 - 服务复用。一个 " 景点信息查询 " 服务可以同时被游客 App、管理系统和营销平台调用，避免功能重复开发。
 - 平台异构性。不同服务可以使用不同的技术栈实现，只要遵循统一的通信协议（如 SOAP 或 RESTful API），就能实现互操作。
 - 业务灵活性。新增旅游服务时，只需开发新的服务组件并注册到服务总线，无需修改现有系统。

2.1.2 面向服务架构（SOA）理论

- 然而，传统 SOA 也存在局限——企业服务总线（ESB）容易成为性能瓶颈，服务粒度较粗导致部署和扩展不够灵活。这些问题在微服务架构中得到了改善。

2.1.3 微服务架构理论

- 微服务架构是 SOA 理念的演进和细化，其核心是将应用程序构建为一组小型、独立、松耦合的服务。每个微服务围绕特定的业务能力构建，可以独立部署、扩展和维护。
- García 等（2018）在 "Smart Tourism Platform Based on Microservice Architecture and Recommender Services" 中首次系统性地将微服务架构引入智慧旅游平台设计 [7]。
- 他们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，每个服务拥有自己的数据库，通过 API 网关统一对外提供服务。
- 肖荣和高全亮（2019）在研究智慧景区平台时深入分析了微服务架构的技术特点 [8]。
- 他们指出，国内景区在节假日大客流冲击时面临系统性能瓶颈，而部署在云平台上的智慧景区平台可以通过快速启动大量 Docker 容器，实时调度服务资源，水平扩展相应的应用服务，达到迅速扩容、
- 提高系统访问性能的目的。
- 陈伍香等（2023）以桂林智慧旅游管理系统为例，提出了基于微服务架构的设计方案 [9]。

2.1.3 微服务架构理论

- 该方案结合 5G 技术、AR/VR、人工智能等技术的融合需求，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，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。
- 微服务架构与 SOA 的关键区别在于：

02

2.2 智慧旅游系统架构的经典模型

2.2.1 Gretzel 六层架构模型

- Gretzel 等（2015）提出的六层架构模型是智慧旅游领域引用最为广泛的架构框架 [1]。该模型从技术基础设施到游客体验，构建了一个完整的层次体系：
- IT 基础设施层：包括传感器网络、通信网络（WiFi/4G/5G）、云计算资源等物理和虚拟基础设施。这一层是智慧旅游系统的 " 地基 "，决定了系统的感知能力和计算能力上限。
- 数据层：汇聚来自 IoT 传感器、社交媒体、交易系统等多源异构数据，进行清洗、整合和存储。
- Gretzel 等特别强调大数据在智慧旅游中的核心地位—— " 智慧旅游明确依赖于不仅收集海量数据，而且智能地存储、处理、组合、分析和使用大数据的能力 "[1]。
- 信息交换层：实现跨平台、跨部门的数据共享和互操作。这一层是打破信息孤岛的关键，通过统一的数据交换标准和 API 网关，使不同系统之间能够无缝通信。
- 服务层：将数据和信息转化为可被调用的服务，如推荐服务、导航服务、预订服务等。服务层是业务逻辑的核心载体。
- 应用层：将服务组合为面向特定场景的应用，如智慧导览 App、景区管理后台、营销分析平台等。
- 体验层：最终面向游客的旅游体验，是所有技术和服务的价值终点。Gretzel 等强调，智慧旅游的终极目标不是技术先进性，而是游客体验的增强。

2.2.2 三层架构模式

- 三层架构是智慧旅游系统中最常见的基础架构模式。石红姣（2018）将其应用于智慧旅游系统设计，细分了系统核心层和服务层，并对服务层的四个功能模块进行了详细介绍 [5]：

- 表示层（Presentation

Layer）：负责用户界面的展示和交互。在智慧旅游系统中，表示层需要支持多终端适配——Web 端、移动端（iOS/Android）、小程序、智能穿戴设备等。

- 表示层的设计重点在于响应式布局、离线能力和弱网适配。

- 逻辑层（Business Logic Layer）：处理核心业务逻辑，包括推荐算法、路线规划、预订流程、支付处理等。逻辑层是系统智能化的核心所在，AI 模型和业务规则主要部署在这一层。

- 数据层（Data Layer）：负责数据的持久化存储和管理。

- 智慧旅游系统的数据层通常采用混合存储策略——关系数据库存储结构化业务数据（如订单、用户信息），NoSQL 数据库存储非结构化数据（如社交媒体内容、传感器数据），

- 图数据库存储关系型数据（如景点关联关系、用户社交网络）。

2.2.3 云 - 边 - 端协同架构

- 随着 5G 和边缘计算技术的发展，传统的云端集中式架构正在向云 - 边 - 端协同架构演进。
- Cepeda-Pacheco 和 Domingo （2022）在研究智慧城市中的旅游景点推荐系统时，提出了一个三层架构：设备层、雾层和云层 [10]。
- 设备层：包括各种 IoT 设备，如智能手机、笔记本电脑、智能手表和摄像头，这些设备收集用户数据并传输到雾层。
- 雾层（边缘层）：负责实时数据处理和分析，提供低延迟的景点推荐服务。雾层的引入使得对时延敏感的应用（如实时导航、紧急疏散）可以在边缘节点完成处理，无需回传云端。
- 云层：存储用户资料、旅游数据库、监控数据库和天气数据数据库，并通过智能学习算法提供更深层的个性化推荐。
- Bujari 等（2020）在 5G 时代背景下提出了支持智慧旅游发展的地理分布式架构方法 [11]。
- 该架构利用 5G 网络的低延迟和高带宽特性，将计算任务在云、边、端之间动态分配，实现最优的用户体验和资源利用效率。
- Taleb 等（2017）在 IEEE Communications Magazine 上提出 "Follow Me Edge" 概念，通过移动边缘计算支持智慧城市中的视频流应用 [12]，

2.2.3 云 - 边 - 端协同架构

- 为智慧旅游中的实时视频导览和慢直播场景提供了技术基础。

03

2.3 S.M.A.R.T. 框架的理论构建

2.3.1 S.M.A.R.T. 框架的设计逻辑与维度划分

- S.M.A.R.T. 框架的设计基于对现有智慧旅游架构模型的系统性反思。Gretzel 六层模型虽然全面，但主要聚焦于技术层次，对安全治理和生态系统层面的关注不足。
- 三层架构虽然简洁，但难以应对智慧旅游系统的复杂性和多维性。云 - 边 - 端架构关注网络层面，但缺乏对应用和治理层面的系统设计。
- S.M.A.R.T. 框架吸收了上述模型的优点，同时弥补了它们的不足，从五个维度构建了智慧旅游系统架构的完整图景：
- S（Sensing Infrastructure，感知基础设施层）：对应 Gretzel 模型的 IT 基础设施层和设备 - 雾层，关注多源异构感知设备的部署、数据采集和融合。
- M（Middleware & Data Platform，中间件与数据平台层）：对应 Gretzel 模型的数据层和信息交换层，关注云计算平台、大数据处理和数据治理。
- A（Application & Service，应用与服务层）：对应 Gretzel 模型的服务层和应用层，关注 AI 驱动的智能应用和微服务架构设计。
- R（Resilience & Security Governance，韧性与安全治理层）：这是 S.M.A.R.T. 框架的创新维度，传统架构模型中安全治理往往作为附加组件，而 S.M.A.R.T. 将其提升为独立维度，强调安全治理应贯穿架构的各个层次。

2.3.1 S.M.A.R.T. 框架的设计逻辑与维度划分

- T （Tourism Experience & Ecosystem ， 旅游体验与生态层）： 对应 Gretzel 模型的体验层， 但进一步扩展到生态系统层面， 关注价值共创、 多方协同和可持续发展。

2.3.2 S.M.A.R.T. 与经典架构模型的比较分析

- S.M.A.R.T. 框架的差异化价值体现在三个方面：一是安全治理的独立维度化，将数据安全、隐私保护、区块链信任和系统韧性提升到与感知、数据、应用同等重要的层面；
- 二是生态系统的显性化，将旅游体验和价值共创从技术架构的附属品提升为独立的设计维度；三是设计方法论的完整性，不仅描述架构的静态层次，还提供各维度的设计原则、技术选型指南和评估方法。

2.3.3 S.M.A.R.T. 框架的创新贡献与理论价值

- S.M.A.R.T. 框架的理论创新可以从以下三个层面理解：
- 本体论层面： S.M.A.R.T. 框架重新定义了智慧旅游系统架构的构成要素。
- 传统模型将安全治理和生态系统视为技术架构的 " 外部环境 " 或 " 附属组件 " ，而 S.M.A.R.T. 框架将其内化为架构的有机组成部分。
- 这一重新定义反映了智慧旅游系统从纯技术系统向社会 - 技术系统（ Socio-Technical System ）演进的趋势。
- 认识论层面： S.M.A.R.T. 框架提供了一种多维度的架构分析方法。通过五个维度的独立分析和交叉分析，可以更全面地诊断智慧旅游系统的架构问题。
- 例如，一个系统在 S 和 M 维度表现优异但在 R 维度存在短板，则说明其安全治理设计需要加强。
- 方法论层面： S.M.A.R.T. 框架不仅是一个描述性框架，还是一个规范性框架。
- 它为智慧旅游系统架构设计提供了可操作的方法论指导——从需求分析到技术选型，从架构设计到评估优化，每个阶段都有对应的 S.M.A.R.T. 维度作为设计参照。

04

2.4 智慧旅游系统架构设计的评价标准

架构评价维度

- 基于 S.M.A.R.T. 框架，智慧旅游系统架构的评价可以从以下五个维度展开：
- 感知覆盖度（S 维度）：评估感知设备的部署密度、数据采集的完整性和感知精度。一个优秀的智慧旅游系统应实现景区全域感知覆盖，包括人流、车流、环境、设施等多维度的实时监测。
- 数据平台成熟度（M 维度）：评估数据平台的处理能力、数据治理水平和数据共享程度。关键指标包括数据延迟、吞吐量、数据质量评分和 API 开放度。
- 应用智能化程度（A 维度）：评估 AI 算法的应用深度、服务个性化和微服务架构成熟度。关键指标包括推荐准确率、客服自动应答率和服务响应时间。
- 安全治理完备度（R 维度）：评估数据安全防护、隐私保护机制和系统容灾能力。关键指标包括安全事件发生率、合规审计通过率和系统可用性（SLA）。
- 生态协同度（T 维度）：评估多方协同机制、价值共创水平和可持续发展能力。关键指标包括数据共享参与方数量、游客满意度评分和 ESG 评估得分。

架构成熟度模型

- 借鉴 CMMI（能力成熟度模型集成）的思想，可以将智慧旅游系统架构成熟度划分为五个等级：
- 这一成熟度模型为旅游目的地和景区评估自身智慧旅游架构水平提供了参考工具，也为架构优化指明了提升路径。

05

国际比较与经验借鉴

架构设计理念的全球比较

- 全球智慧旅游系统架构设计呈现出多元的发展路径，不同国家和地区基于各自的技术传统和产业特征形成了差异化的架构设计理念。
- 北美的技术驱动型架构。以美国为代表，智慧旅游系统架构主要由大型科技企业（如 Google、Amazon、Booking.com）主导，特点是技术先进、数据驱动、商业化程度高。
- 这些企业拥有强大的云计算基础设施和 AI 算法能力，构建了高度个性化的推荐系统和服务平台。Gretzel 等（2015）的理论框架即诞生于这一学术 - 产业生态之中 [1]。
- 北美架构的优势在于创新速度快、用户体验好，劣势在于数据垄断和隐私保护不足。
- 欧洲的规范驱动型架构。欧洲智慧旅游架构设计深受 GDPR 等法规框架的影响，强调 "Privacy by Design" 原则。
- Masseno 和 Santos （2018）的研究系统分析了智慧旅游目的地的隐私风险 [13]，推动了欧洲智慧旅游系统在架构层面内嵌隐私保护机制。
- Gajdosík （2018）对中欧智慧旅游的研究揭示了欧洲模式注重生态系统整体构建的特点 [2]。
- Sabbioni 等（2022）提出的服务集成架构进一步体现了欧洲对个性化和标准化并重的理念 [14]。

架构设计理念的全球比较

- 亚洲的政策驱动型架构。中国、新加坡、日本等亚洲国家的智慧旅游架构设计普遍由政府主导，特点是顶层设计强、覆盖范围广、推进速度快。
- Peng 等（2020）在研究 5G 智慧旅游 IoT 时提出的三层架构（用户层、网络层、服务层）体现了中国学者对系统性架构设计的偏好 [15]。

架构标准化进展

- 国际标准化组织在智慧旅游架构标准化方面已开展了一系列工作。ISO/TC 228（旅游及相关服务技术委员会）正在制定智慧旅游相关标准，ITU-T 也发布了智慧城市框架下的旅游应用指南。
- 然而，现有的国际标准主要聚焦于服务层面和数据交换层面，对系统架构层面的标准化关注不足。
- 在国内，全国旅游标准化技术委员会已发布多项智慧旅游标准，但同样缺乏系统性的架构设计标准。
- S.M.A.R.T. 框架的提出为填补这一空白提供了理论参考——通过统一的概念框架和维度划分，为不同机构和地区的智慧旅游架构设计提供可比性和互操作性基础。

06

实践案例深度分析

案例一：基于微服务架构的智慧景区平台

- 肖荣和高全亮（2019）研究的智慧景区平台是国内微服务架构在智慧旅游中应用的典型案例 [8]。
- 该平台部署在云平台上，采用 Docker 容器化技术，在节假日大客流时可以快速启动大量容器实例进行水平扩展。平台架构分为基础设施层、数据服务层、业务服务层和接入层，每层包含若干独立微服务。
- 该案例的架构亮点在于弹性伸缩能力——通过容器编排（Kubernetes）实现服务的自动扩缩容，当客流激增时自动增加服务实例数量，客流回落后自动回收资源。
- 这种架构设计有效解决了景区“平时闲置、高峰过载”的资源利用困境。

案例二：面向服务的智慧旅游信息系统

- 王艳军等（2014）设计的面向服务架构（SOA）智慧旅游信息系统是早期 SOA 实践的代表性案例 [6]。该系统以地理信息服务为核心，实现了景点管理、景点搜索、全景影像关联和三维景观导引等功能。
- 虽然该系统使用的是传统 SOA 而非微服务架构，但其服务化设计思想对后续的架构演进产生了积极影响。

案例三：基于云服务的智慧旅游管理系统

- Gao 和 Li （ 2020 ） 设计的基于云服务的智慧旅游管理系统采用了四层逻辑架构：模块层、基础层、功能层和展示层 [16] 。
- 该架构将业务模块、技术基础、功能实现和用户展示分离，支持各层的独立演化和灵活组合。系统基于云计算平台部署，利用云的弹性计算和存储能力应对旅游业务的季节性波动。

07

理论深化与前沿探讨

架构决策的多目标优化

- 智慧旅游系统架构设计本质上是一个多目标优化问题。架构师需要在性能、成本、安全、可维护性、可扩展性等多个目标之间寻找平衡点。
- S.M.A.R.T. 框架提供了一种结构化的决策框架——将架构决策分解到五个维度，在每个维度内进行独立优化，再通过跨维度的权衡分析确定最终方案。
- 例如，在感知层（S）部署更多传感器可以提高数据采集精度，但也增加了数据平台层（M）的处理压力和安全治理层（R）的隐私风险。
- 这种跨维度的连锁效应要求架构师具有全局视野，避免局部最优而全局次优的陷阱。

架构债务与技术演进

- 软件架构中存在 " 架构债务 "（Architecture Debt）的概念，类似于技术债务——为了短期目标而做出的次优架构决策会在长期积累成维护和扩展的负担。
- 智慧旅游系统由于技术更新快、业务变化频繁，尤其容易产生架构债务。
- S.M.A.R.T. 框架的模块化设计有助于控制架构债务——各维度可以独立演进，某一维度的技术升级不需要牵动其他维度的重构。
- 但这种独立性也是相对的，维度之间的接口契约一旦确定，修改成本会随系统规模增长而指数级上升。因此，接口设计是 S.M.A.R.T. 框架应用中最需要审慎对待的环节。

08

技术经济学分析

架构选型的成本效益框架

- 智慧旅游系统架构选型不仅是技术决策，更是经济决策。不同的架构方案在建设成本、运维成本和扩展成本上存在显著差异。以下基于 S.M.A.R.T. 框架的五维度，构建架构选型的成本效益分析框架。
- 感知层（S）的成本结构：感知设备的初始采购成本与部署密度成正比。一个 5A 级景区若实现全域感知覆盖，需要部署数千个传感器节点，涵盖人流计数器、环境监测仪、视频摄像头、RFID 读卡器等。
- 设备成本之外，布线、供电、防水防尘安装等工程成本往往占总投资的 40% 以上。在运维方面，户外设备的故障率较高，年均维护成本约为初始投资的 15-20%。
- 数据平台层（M）的成本结构：云计算平台采用按需付费模式，成本与数据处理量正相关。对于省级智慧旅游平台，年均云资源费用在百万级。
- 大数据处理平台的开发成本较高，但一旦建成，边际成本很低——增加一个数据源的接入成本远低于初始建设成本。
- 应用层（A）的成本结构：微服务架构的初始开发成本高于单体架构（约高出 30-40%），因为需要设计服务拆分、API 网关、服务注册发现等基础设施。
- 但长期运维成本显著降低——微服务支持独立部署和弹性伸缩，避免了单体架构中 "牵一发而动全身" 的运维困境。
- García 等（2018）的实践表明，微服务架构在系统运行 3 年后即可实现总成本低于等效的单体架构 [7]。

架构选型的成本效益框架

- 安全治理层（R）的成本结构：安全治理的投入往往被视为 " 保险 " 而非 " 投资 "，在预算紧张时容易被削减。
- 然而，Masseno 和 Santos（2018）的研究揭示，智慧旅游数据泄露事件的平均成本远高于预防性安全投入 [13]。
- 从技术经济学角度看，安全治理的投入产出比在 1:5 到 1:10 之间——即每投入 1 元的安全防护成本，可避免 5-10 元的潜在损失。
- 生态层（T）的成本结构：生态系统建设的主要成本不在技术而在协调——多方利益相关者的协商、数据共享协议的谈判、治理机制的建立都需要大量的人力投入。
- 这种 " 软成本 " 容易被忽视，但往往是生态系统成败的关键。

架构投资优先级模型

- 在预算约束下，智慧旅游系统架构投资需要确定优先级。基于 S.M.A.R.T. 框架，可以构建以下投资优先级矩阵：
- 这一优先级模型并非固定不变——对于已有一定信息化基础的景区，可以从 A 维度切入；对于面向国际游客的目的地，R 维度可能需要提前到 P0。

09

社会文化影响

架构设计中的文化敏感性

- 智慧旅游系统架构不仅是技术架构，也是文化架构。不同文化背景下的游客对智慧旅游服务的期望和接受度存在显著差异，这种差异需要在架构设计层面予以考虑。
- 信息呈现的文化差异。高语境文化（如中国、日本）的游客更倾向于通过图像、视频和情境化信息获取旅游信息，而低语境文化（如美国、德国）的游客更偏好文字描述和数据化信息。
- 这要求应用层（A）的架构支持多模式信息呈现，并能根据用户文化背景自适应调整。
- 隐私观念的文化差异。Yu 和 Wang（2022）在研究智慧旅游生态系统治理时指出，不同文化对隐私的理解和容忍度不同 [23]。
- 东亚游客对数据共享的接受度普遍高于欧洲游客，这直接影响安全治理层（R）的设计策略——面向欧洲市场的系统需要更严格的隐私保护机制。
- 技术接受度的代际差异。老年游客对智能技术的接受度较低，更习惯传统服务方式。
- S.M.A.R.T. 框架的包容性设计要求在架构层面支持多渠道服务交付——智能 App 与传统热线并存，自助服务与人工服务互补。

架构的伦理维度

- 智慧旅游系统架构设计还涉及一系列伦理问题：

- 算法公平性。AI 推荐算法可能基于历史数据产生偏见，导致某些小众景点或低收入群体关注的旅游产品被系统性地忽视。架构设计应在应用层（A）内嵌算法审计和公平性评估机制。

- 数据主权。游客产生的数据（如位置轨迹、评价反馈）的所有权归属问题在法律和伦理上仍有争议。

S.M.A.R.T. 框架的数据平台层（M）应支持 "数据可携带权"——游客有权导出和删除自己的数据。

- 技术依赖风险。过度依赖智慧旅游系统可能导致传统服务能力的退化。一旦系统故障，景区是否仍有能力提供基本服务？这要求架构的韧性设计（R 维度）不仅关注技术容灾，还要考虑 "人 - 系统" 协同的降级方案。

10

监管框架与政策环境

架构合规性设计

- 智慧旅游系统架构必须满足多重监管要求。从 S.M.A.R.T. 框架的视角，合规性设计涉及多个维度：
- 数据合规（R 维度）：中国的《个人信息保护法》要求个人信息处理遵循 " 最小必要 " 原则，欧盟 GDPR 要求 " 默认隐私 "（Privacy by Default）。
- 这些法规要求数据平台层（M）在设计时就限定数据采集范围，安全治理层（R）建立数据主体权利响应机制。
- 网络安全合规（R 维度）：《网络安全法》要求关键信息基础设施履行等级保护义务。省级智慧旅游平台通常要达到等保三级要求，这影响感知层（S）的设备安全认证和数据平台层（M）的加密存储设计。
- 行业监管（A 维度）：文化和旅游部对在线旅游服务有专门的监管要求，如 " 在线旅游经营服务管理暂行规定 " 对信息真实性、价格透明度等有明确规定。应用层（A）的设计需要内嵌合规审查功能。

标准化对架构设计的影响

- 标准化是降低架构复杂度和提高互操作性的重要手段。当前与智慧旅游系统架构相关的标准包括：
- ISO/IEC 30182:2017 智慧城市概念模型——为智慧旅游提供了上位概念框架
- GB/T 30260-2013 公共服务平台信息描述规范——影响数据平台层（M）的数据标准设计
- LB/T 021-2014 旅游目的地信息描述规范——直接影响感知层（S）和应用层（A）的信息模型
- S.M.A.R.T. 框架在设计上兼容现有标准体系，各维度的接口设计遵循相关国家标准和行业标准，确保基于 S.M.A.R.T. 构建的系统能够通过合规审计和互联互通测试。

11

前沿研究方向

自适应架构

- 传统智慧旅游系统架构是静态设计的——一旦部署，架构结构就固定不变。然而，智慧旅游系统的运行环境是动态变化的——客流季节性波动、新技术不断涌现、监管政策持续更新。
- 自适应架构（ Adaptive Architecture ）研究如何使系统架构能够根据环境变化自动调整结构和行为。
- 在 S.M.A.R.T. 框架中，自适应能力体现在多个维度：感知层（ S ）的传感器网络可以根据客流密度自动调整采样频率；数据平台层（ M ）的计算资源可以根据负载自动伸缩；
- 应用层（ A ）的微服务可以根据流量自动拆分或合并。这些自适应能力的实现依赖于 AI 驱动的架构决策引擎——一种能够实时监测系统状态并自动做出架构调整决策的智能系统。

- 随着 " 双碳 " 目标的推进，绿色计算成为智慧旅游系统架构设计的新要求。绿色架构关注如何在不牺牲服务质量的前提下降低系统的能耗和碳排放。
- 感知层（S）的低功耗传感器设计、数据平台层（M）的数据中心能效优化、应用层（A）的计算任务调度优化，都是绿色架构的重要环节。
- Rahmadian 等（2023）在讨论数字孪生与可持续旅游的关系时指出，智慧旅游技术应 " 通过实时监测和预测分析实现旅游资源的精细化管理，从而在提升游客体验的同时降低环境影响 "[24] 。
- 这一理念同样适用于架构设计本身——智慧旅游系统不仅要用技术促进旅游业的可持续发展，其自身的架构也应该是可持续的。

12

产业化路径与商业模式创新

架构即服务（AaaS）模式

- 随着智慧旅游系统架构的复杂化，一种新的商业模式正在兴起——架构即服务（Architecture as a Service, AaaS）。
- 在这种模式下，技术供应商不再仅仅提供软件或硬件产品，而是提供完整的架构设计、部署和运维服务。
- 基于 S.M.A.R.T. 框架，AaaS 模式可以按维度分解为五个服务包：
 - 感知即服务（SensingaaS）：供应商负责传感器设备的采购、部署、运维和数据采集，客户按数据量或设备数付费。这种模式降低了景区的初始投资门槛，特别适合中小型景区。
 - 数据平台即服务（DPaaS）：基于公有云或混合云提供数据存储、处理和分析服务，客户按计算资源使用量付费。阿里云、腾讯云等云服务商已推出面向旅游行业的数据中台解决方案。
 - 应用即服务（AaaS）：以 SaaS 模式提供智慧旅游应用，如智慧导览、智能客服、客流分析等。客户按用户数或功能模块订阅，无需自建开发团队。
 - 安全即服务（SECaaS）：提供安全审计、漏洞扫描、合规咨询等服务，按服务周期或事件数收费。
 - 生态运营服务：帮助客户构建和运营智慧旅游生态系统，包括数据共享协议设计、多方协同机制建立等，通常以咨询费加运营分成模式收费。

平台经济的架构支撑

- 智慧旅游平台经济是近年来快速发展的商业模式，其核心是通过数据平台连接供需双方，实现资源的高效匹配。
- Gretzel（2021）在分析目的地管理组织（DMO）的数字化转型时指出，传统 DMO 正在从信息中介转变为平台运营商 [25]。这一转变对系统架构提出了新的要求：
 - 多租户架构。平台需要同时服务多个景区、旅行社和酒店，每个租户的数据需要逻辑隔离但物理共享。微服务架构天然支持多租户模式——每个租户可以拥有独立的服务实例或共享服务实例但通过数据层隔离。
 - 开放 API 生态。平台通过开放 API 吸引第三方开发者构建增值应用，形成平台生态。
 - Sabbioni 等（2022）在研究服务集成架构时提出，"为了全面支持新型个性化智慧旅游产品，需要一个能够集成多种服务的灵活架构"[14]。
 - 开放 API 的设计需要在开放性和安全性之间取得平衡——过于开放可能导致数据泄露风险，过于封闭则限制生态发展。
 - 数据货币化。平台积累的旅游大数据本身具有商业价值，可以通过数据产品（如旅游趋势报告、客流预测 API）实现货币化。
 - 但这涉及数据主权和隐私保护的复杂问题，需要在安全治理层（R）建立完善的数据交易和授权机制。

13

实践案例深度分析（补充）

案例四：新疆马文化智慧旅游平台的微服务实践

- 新疆农业大学（2023）设计的马文化智慧旅游平台是一个将文化 IP 与微服务架构融合的创新案例 [18]。
- 该平台以新疆独特的马文化为主题，通过微服务架构将文化展示、旅游服务、社区互动等功能解耦为独立服务。
- 该平台的架构特色在于文化维度的架构考量——不同于通用智慧旅游平台，马文化平台在应用层（A）专门设计了文化内容管理微服务，支持多媒体文化内容的组织和呈现；
- 在数据平台层（M）建立了马文化知识图谱，将历史文献、民俗故事、非遗技艺等文化资源结构化存储。
- 这一案例揭示了 S.M.A.R.T. 框架的一个重要应用原则：框架的五个维度提供的是设计骨架，具体的内容填充需要结合特定场景的文化特征和业务需求。
- 架构师不应机械地套用框架，而应根据实际需求在各维度内进行定制化设计。

案例五：基于 Web 的旅游度假地管理系统架构

- Yazdeen 和 Zeebaree （2022）对基于 Web 的旅游度假地管理系统的设计与实现进行了综合调研 [20]。
- 他们描绘的系统总体架构以服务器为核心，与移动端进行双向通信，支持度假地的全方位管理。
- 该调研涵盖了大量实践案例，总结出智慧旅游度假地管理系统的架构共性：前后端分离（前端框架 + RESTful API 后端）、多角色权限管理（管理员、运营人员、游客的差异化权限）、
- 实时数据可视化（仪表盘 + 图表组件）和多渠道通知（短信、邮件、App 推送）。
- 这些共性需求在 S.M.A.R.T. 框架中分别对应应用层（A）的前端设计、安全治理层（R）的权限控制、应用层（A）的数据可视化和应用层（A）的消息服务。

14

理论深化：架构模式的形式化描述

架构模式的形式化表达

- 为了提高 S.M.A.R.T. 框架的精确性和可操作性，可以对其进行形式化描述。设智慧旅游系统架构为一个五元组：
- $A = (S, M, A_service, R, T)$
- $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ 为感知设备集合，每个 $s_i = (\text{type}, \text{location}, \text{protocol}, \text{frequency})$
- $M = (\text{storage}, \text{processing}, \text{governance})$ 为数据平台三元组
- $A_service = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ 为应用微服务集合，每个 $a_j = (\text{function}, \text{API}, \text{dependency}, \text{SLA})$
- $R = (\text{security}, \text{privacy}, \text{resilience})$ 为安全治理三元组
- $T = (\text{actors}, \text{interactions}, \text{value_flows})$ 为生态系统三元组
- 各维度之间的关系可以表示为映射函数：

架构模式的形式化表达

- $f_1: S \rightarrow M$ （数据采集映射：感知设备产生的数据流入数据平台）
- $f_2: M \rightarrow A_service$ （数据服务映射：数据平台为应用提供数据服务）
- $f_3: A_service \times R \rightarrow T$ （安全应用映射：安全治理约束应用服务，共同支撑生态系统）
- $f_4: T \rightarrow S$ （反馈映射：生态系统需求驱动感知设备的调整和扩展）
- 这种形式化描述虽然简化了实际的架构复杂性，但有助于清晰地表达各维度之间的依赖和交互关系，为架构设计和分析提供了一种结构化的思考工具。

架构质量属性的可量化评估

- 基于 S.M.A.R.T. 框架的形式化描述，可以定义一系列可量化的架构质量属性：
- 感知覆盖率： $\text{Cov}(S) = \text{被感知区域面积} / \text{总区域面积} \times 100\%$
- 数据延迟： $\text{Lat}(M) = \text{数据从产生到可用的平均时间 (秒)}$
- 服务可用性： $\text{Avail}(A) = \text{系统正常运行时间} / \text{总时间} \times 100\%$
- 安全事件率： $\text{SecRate}(R) = \text{安全事件数} / \text{月}$
- 生态参与度： $\text{EcoPart}(T) = \text{活跃参与方数} / \text{注册参与方数} \times 100\%$
- 这些量化指标为架构评估和持续改进提供了客观依据，避免了凭主观感受判断架构好坏的随意性。

- 本章从系统架构设计的基本理论出发，系统梳理了分层架构、SOA 和微服务架构三大架构范式在智慧旅游中的应用。
- 在此基础上，深入分析了 Gretzel 六层模型、三层架构模式和云 - 边 - 端协同架构等经典模型，并提出了 S.M.A.R.T. 五维框架作为本书的核心理论工具。
- S.M.A.R.T. 框架的创新在于将安全治理（R）和旅游生态（T）提升为与感知（S）、数据（M）、应用（A）同等重要的独立维度，
- 反映了智慧旅游系统从纯技术系统向社会 - 技术系统演进的趋势。
- 框架的五个维度既相互独立又相互关联，共同构成了智慧旅游系统架构的完整分析框架和设计方法论。
- 本章还提出了基于 S.M.A.R.T. 的架构评价标准和成熟度模型，为智慧旅游系统的架构评估和优化提供了实用工具。后续章节将分别深入阐述 S.M.A.R.T. 框架的每个维度。

- （识记） S.M.A.R.T. 框架的五个维度分别是什么？请简述各维度的核心职责。
- （理解） 比较分层架构、 SOA 和微服务架构在智慧旅游系统中的适用场景，分析各自的优劣势。
- （应用） 运用 S.M.A.R.T. 框架分析一个你熟悉的智慧旅游平台，评估其在五个维度上的表现。
- （分析） 分析 Gretzel 六层模型与 S.M.A.R.T. 框架的对应关系，讨论 S.M.A.R.T. 在哪些方面做了扩展和改进。
- （评价） 评估架构成熟度模型（ L1-L5 ）的实用性，这一模型是否足以全面评价智慧旅游系统架构的质量？
- （创造） 基于 S.M.A.R.T. 框架，为一个新建的 5A 级景区设计智慧旅游系统总体架构方案，包括各维度的技术选型和接口设计。

- [1] Gretzel U, Sigala M, Xiang Z, Koo C. Smart tourism: foundations and developm
- [2] Gajdosík T. Smart Tourism: Concepts and Insights from Central Europe[J]. Cen
- [3] Khan M S, Woo M, Nam K, Chathoth P K. Smart City and Smart Tourism: A Case o
- [4] 丁勇 . 智慧旅游系统架构设计 [J]. 万方数据 , 2019.
- [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.

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