

物联网架构与技术 *IOT-A-3*

第三章 物联网体系架构(IoT-A)

北京交通大学计算机学院网络管理研究中心 刘峰
fliu@bjtu.edu.cn

2023年10月9日

本章主要内容

一、物联网体系架构意义

- 1、 发展现状：缺乏相关相关研究与标准，国际上正在积极制定；
- 2、我国现状：国家发展规划中标准体系相关内容

二、体系架构概念

- 1、体系架构基本概念：
- 2 网络体系架构、软件体系架构内涵及其作用

物联网体系架构应用案例（参见上讲内容）

- 1、参考教材内容：智慧城市IOT-A
- 2、国内内容外相关研究：SMART-CITY

三、物联网体系架构研究内容

一、物联网体系架构意义

- 物联网架构对促进物联网健康规模发展具有重要的意义，是全球研究和关注的焦点，在全球有多个研究项目并且已经形成了很多研究成果。

物联网体系架构意义（续）

- 1、明晰的物联网概念模型和参考体系架构，为物联网众多行业应用提供顶层指导和科学设计依据；
- 2、为解决行业应用系统和接口标准混乱现象，促进物联网多层次、多领域的协同应用服务奠定重要基础；
- 3、围绕新型信息服务、信息共享的信息消费时代特征，从系统架构设计层面，引导、推动新的物联网应用服务和商业模式产生，促进我国物联网产业健康、有序的发展。

国际

- 欧洲IOT-A 项目专注于物联网架构研究并引起了业界较大关注，该项目为期3 年，已于2013 年结束。
- IoT-A 主要成果之一：物联网架构参考模型。

国内

- 缺乏应用
- 国家规划（参见2012-2015年规划）
- 开始起步（参见报道）
- 重点实践具体应用（智慧城市-参见教学参考书）

IOT-A挑战

- 物联网涵盖许多应用领域，如智慧家庭、智慧城市、智能电网等等，不同应用领域的功能、服务模型存在很大的差异。如何定义一个通用的物联网架构参考模型是一个巨大的挑战。
- 为此，针对通用物联网架构设计也涌现了很多新的理念和方法。

欧洲IOT-A项目

IoT-A ARM 并不定义具体的物联网架构，而侧重给出构建物联网架构的方法，如模型、视图、看法、最佳实践等，基于这些方法可以导出具体的物联网架构。

二、体系架构概念

- 1、体系架构基本概念:
- 2、网络体系架构、软件体系架构内涵及其作用

架构 Architecture

- 构架不仅是结构；IEEE Working Group on [Architecture](#) 将其定义为“系统在其环境中的最高层概念”【IEEE98】。构架还包括“符合”系统完整性、经济约束条件、审美[需求](#)和样式。它并不仅注重对内部的考虑，而且还在系统的用户环境和开发环境中对系统进行整体考虑，即同时注重对外部的考虑。
- 在 [Rational Unified Process](#) 中，[软件系统](#)的构架（在某一给定点）是指系统重要[构件](#)的组织或结构，这些重要构件通过接口与不断减小的构件与接口所组成的构件进行交互。

软件架构、软件架构师

- 从和目的、主题、材料和结构的联系上来说，[软件架构](#)可以和建筑物的架构相比拟。一个[软件架构师](#)需要有广泛的软件理论知识和相应的经验来实施和管理软件产品的高级设计。[软件架构师](#)定义和设计软件的模块化，模块之间的交互，用户界面风格，对外接口方法，创新的设计特性，以及高层事物的[对象](#)操作、逻辑和流程。

架构设计目标

- 正如同[软件](#)本身有其要达到的目标一样，[架构设计](#)要达到的目标是什么呢？一般而言，[软件架构设计](#)要达到如下的目标：
- ·可靠性（Reliable）。[软件系统](#)对于用户的商业经营和管理来说极为重要，因此软件系统必须非常可靠。
- ·安全性（Secure）。[软件系统](#)所承担的交易的商业价值极高，系统的安全性非常重要。
- ·可扩展性（Scalable）。[软件](#)必须能够在用户的[使用率](#)、用户的数目增加很快的情况下，保持合理的性能。只有这样，才能适应用户的市场扩展得可能性。
- ·可定制化（Customizable）。同样的一套[软件](#)，可以根据客户群的不同和[市场需求](#)的变化进行调整。
- ·可伸缩（Extensible）。在新技术出现的时候，一个[软件系统](#)应当允许导入新技术，从而对现有系统进行功能和性能的扩展。
- ·可维护性（Maintainable）。[软件系统](#)的维护包括两方面，一是排除现有的错误，二是将新的[软件需求](#)反映到现有系统中去。一个易于维护的系统可以有效地降低技术支持的花费。
- ·客户体验（Customer Experience）。[软件系统](#)必须易于使用。
- ·市场时机（Time to Market）。[软件](#)用户要面临同业竞争，软件提供商也要面临同业竞争。以最快的速度争夺市场先机非常重要。

架构师知识要求

- 系统[架构](#)的设计要求[架构师](#)具备[软件](#)和硬件的功能和性能的过硬知识，这一工作无疑是[架构设计](#)工作中最为困难的工作。

相关体系结构演进考察： 网络体系结构

1、OSI/RM（系统开放、结构分层、对等层通信）

分层（复杂网络简单化）

开放互联规范标准（该参考框架有利于分析、比较和评价不同网络系统）

从需求目标（异构互联）到体系结构设计原则（分层），再到网络实现（标准）

2、向TCP/IP演进（简单、有效、实用）：

从网络资源控制和用户管理

3、演进

1974 IBM SNA； DEC DNA

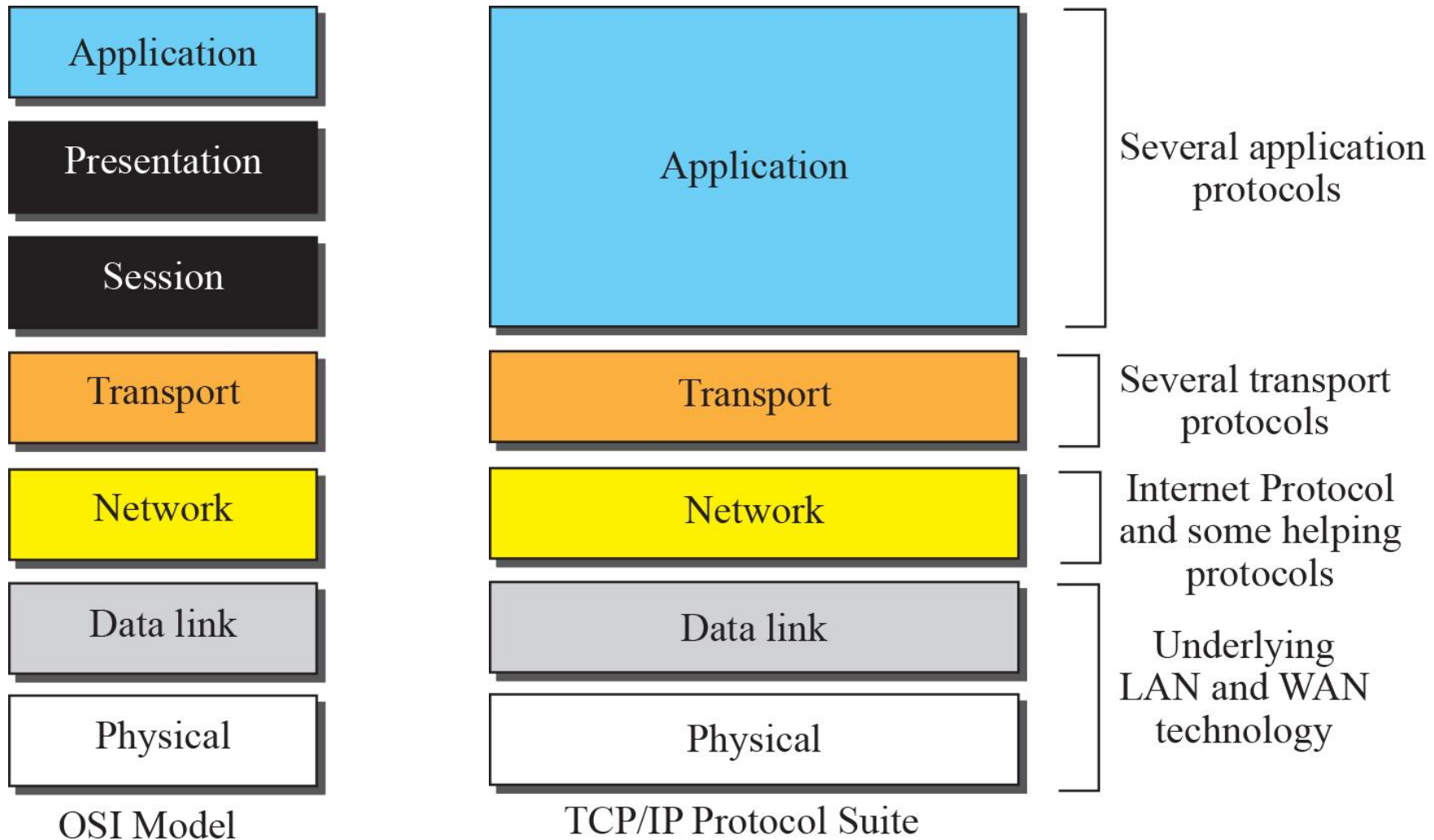
1977 ISO TC97 -SC16 OSI/RM

1983-85 TCP/IP 稳定发展期

1992 INTERNET 学会成立

1993 美国NII（National Information Infrastructure）

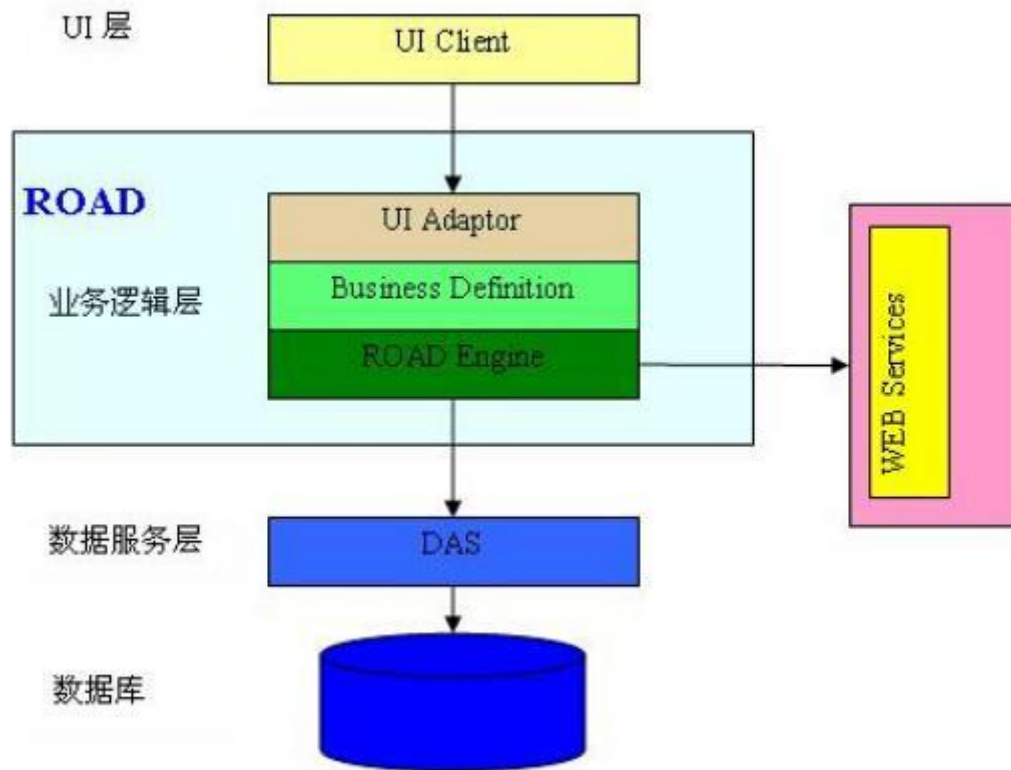
TCP/IP and OSI model



软件体系架构

- 软件体系的架构是具有一定形式的结构化元素，即构件的集合，包括处理构件、数据构件和连接构件。处理构件负责对数据进行加工，数据构件是被加工的信息，连接构件把体系结构的不同部分组合连接起来。这一定义注重区分不处理构件、数据构件和连接构件，这一方法在其他定义和方法中基本上得到保持。由于软件系统具有的一些共通特性，这种模型可以在多个系统之间传递，特别是可以应用到具有相似质量属性和功能需求的系统中，并能够促进大规模软件的系统级复用。

Software-A



发展历程

- 六十年代的软件危机使得人们开始重视软件工程的研究。起初，人们把软件设计的重点放在数据结构和算法的选择上，随着软件系统规模越来越大、越来越复杂，整个系统的结构和规格说明的显得越来越重要。软件危机的程度日益加剧，现有的软件工程方法对此显得力不从心。对于大规模的复杂软件系统来说，对总体的系统结构设计和规格说明比起对计算的算法和数据结构的选择已经变得明显重要得多。在此种背景下，人们认识到软件体系结构的重要性，并认为对软件体系结构的系统、深入的研究将会成为提高软件生产率和解决软件维护问题的新的最有希望的途径。

演进

- 自从[软件系统](#)首次被分成许多模块，模块之间有相互作用，组合起来有整体的属性，就具有了体系结构。好的开发者常常会使用一些[体系结构模式](#)作为[软件系统](#)结构设计策略，但他们并没有规范地、明确地表达出来，这样就无法将他们的知识与别人交流。软件体系结构是设计抽象的进一步发展，满足了更好地理解[软件系统](#)，更方便地开发更大、更复杂的[软件系统](#)的需要。

软件体系架构发展演进

- 软件体系结构虽脱胎于软件工程，但其形成同时借鉴了计算机体系结构和[网络体系结构](#)中很多宝贵的思想和方法。
- 最近几年软件体系结构研究已完全独立于软件工程的研究，成为[计算机科学](#)的一个最新的研究方向和独立学科分支。
- 软件体系结构研究的主要内容涉及软件体系结构描述、软件体系结构风格、软件体系结构评价和软件体系结构的形式化方法等。解决好软件的重用、质量和维护问题，是研究软件体系结构的根本目的。

架构与结构

- 软件构架是一个容易理解的概念，多数工程师（尤其是经验不多的工程师）会从直觉上来认识它，但要给出精确的定义很困难。特别是，很难明确地区分设计和构架：构架属于设计的一方面，它集中于某些具体的特征。

应用现状

- 形成研究热点，仍处于非形式化水平
- 自20世纪90年代后期以来，软件体系结构的研究成为一个热点。广大软件工作者已经认识到软件体系结构研究的重要意义和它对软件系统设计开发的重要性，开展了很多研究和实践工作。
- 从软件体系结构研究的现状来看，当前的研究和对软件体系结构的描述，在很大程度上来说还停留在非形式化的基础上。[软件构架师](#)仍然缺乏必要的工具，这种工具应该是显式描述的、有独立性的形式化工具。
- 在目前通用的[软件开发方法](#)中，其描述通常是用非形式化的图和文本，不能描述系统期望的存在于构件之间的接口，不能描述不同的组成系统的组合关系的意义。难以被开发人员理解，更不能用来分析其一致性和完整性等特性。

三、物联网体系架构研究内容

国内、国际

1、 [物联网白皮书\(2014年\).pdf](#)

2、 [中欧物联网架构共同声明2014.pdf](#)

1、《物联网白皮书2014》
工业和信息化部电信研究院
2014年5月

重点通过原创性地系统梳理，对物联网的内涵、关键要素、技术体系、产业体系和资源体系等内容进行了澄清。

2014版白皮书则重点从战略、应用、技术和标准、产业四个角度分析并归纳2012年以来物联网发展的整体特点和亮点，探寻物联网发展的内在规律，并对未来发展重点方向进行研判。

全球物联网发展状况

- 继美国政府提出制造业复兴战略以来，美国逐步将物联网的发展和重塑美国制造优势计划结合起来以期重新占领制造业制高点。
 - 1、美国竞争力委员会（Council on Competitiveness）指出“数字技术、纳米技术变革正在开辟美国制造业的广阔创新空间”。
 - 2、将以物联网技术为根基的网络物理系统（Cyber-Physical System, CPS）列为扶持重点，并引入企业与大学的技术专家共同制定其参考框架和技术协议，持续推进物联网在各行业中的部署。
- “工业互联网（Industrial Internet）”概念，新一代的可互操作、动态、高效的“智能系统”。

工业互联网

- 1、其内涵是基于物联网、工业云计算和大数据应用，架构在宽带网络基础之上，实现人、数据与机器的高度融合，从而促进更完善的服务和更先进的应用。
- 2、美国国家标准与技术研究院（NIST）组织其工业界和ICT产业界的龙头企业，共同推动工业互联网相关标准框架的制定，通用电气（GE）公司联合亚马逊、埃森哲、思科等企业共同打造支持“工业互联网”战略的物联网与大数据分析平台。

德国：工业4.0理念

德国联邦政府在《高技术战略2020 行动计划》中明确出了工业4.0 理念。工业4.0 作为未来十大行动计划之一，政府将投资超过2 亿欧元，从而巩固德国在工业制造领域的优势地位，引领未来全球的工业发展。在2013 年4 月汉诺威工业博览会上，德国正式发布了关于实施“工业4.0”战略的建议工业4.0 将软件、传感器和通信系统集成于CPS，通过将物联网与服务引入制造业重构全新的生产体系，改变制造业发展范式，形成新的产业革命。

物联网技术创新活跃，IP化和语义化成为技术标准热点

全球各国不断深化物联网技术研究，围绕物联网的技术研究和创新持续活跃，同时也加速了物联网国际标准化进程。

物联网体系架构对推动物联网规模和可持续发展具有重要意义而成为全球关注和推进的重点。

多种短距离通信技术互补共存并面向重点行业领域特殊需求加快优化和适配，无线传感网方面跨异构传输机制的网络层和应用层协议成为研发热点，语义技术作为推进物联网感知信息自动识别处理和共享的基础而受到普遍重视，物联网与移动互联网在端管云多层融合协同发展。

物联网体系架构设计依然是国际关注和推进重点

针对物联网的通用体系架构研究成为国际关注的重点，欧盟在FP7中设立了两个关于物联网体系架构的项目：

- 1、SENSEI项目目标是通过互联网将分布在全球的传感器与执行器网络链接起来；
- 2、IoT-A项目目标是建立物联网体系结构参考模型

韩国USN

韩国电子与通信技术研究所有（ETRI）提出了泛在传感器网络（Ubiquitous Sensor Network, USN）体系架构并已形成国际电信联盟（ITU-T）标准，目前正在进一步推动基于Web 的物联网架构的国际标准化工作。

物联网与移动互联网在终端、网络、平台及架构上融合发展

架构层面，互联网理念和Web 理念不断向物联网渗透，ITU-T 已经发布了基于Web 的物联网架构标准即Y.2063；

oneM2M 架构采用Web 化理念，一切可访问的**数据、对象、实体均抽象为资源（resource）**，由统一的URI 进行标识；IETF 制定的资源受限物体应用层协议（CoAP 协议），即是REST 风格面向资源受限网络的Web 协议。

全球物联网标准化稳步推进

为促进国际物联网标准化活动的协调统一，在七大标准化组织推动下oneM2M于2012年7月正式成立。

共同关注的领域，如业务需求、网络需求、**网络架构**、业务平台、标识与寻址、安全、终端管理等。

在行业应用领域，面向行业应用领域的特定无线通信技术、应用需求、**系统架构**研究成为重点。

2、《中欧物联网架构共同声明》 2014年11月

- 工业和信息化部电信研究院与欧洲物联网研究总体协调组联合牵头发表《中欧物联网架构共同声明》旨在与业界同仁分享在物联网架构方面的研究成果和共同看法。
- 中欧双方就物联网架构达成了一些共同看法，涉及物联网架构设计方法、水平化能力、标识解析、语义、安全，这五个方面在进行物联网架构设计时需要特别关注。物联网参考架构模型的研究还在持续，中
- 欧物联网咨询组将继续推进相关合作研究工作。

《中欧物联网架构共同声明》

- 关键词：中欧倡议、物联网、架构参考模型、互操作性
- 遵守IoT-A 项目所提出物联网参考架构ARM (Architecture Reference Model, ARM)

IOT-A中国研究情况

在中国，很多企业、研究机构、大学都针对物联网架构积极开展研究：

如工业和信息化部电信研究院（CATR）、中国电子科技集团公司（CETC）、无锡物联网产业研究所（WSN）。

中国也设立了一些国家专项项目来推进物联网架构研究：

如新一代宽带无线移动通信网络（简称：重大专项三）设立有“泛在网（U）架构研究和整体设计”（2009ZX03004-001）和“物联网总体架构及关键技术研究”工业和信息化部电信研究院 中欧物联网标识白皮书（2014） 欧洲物联网研究总体协调组（2011ZX03005-005）两个课题，并取得了一系列成果，、

同时针对M2M、WoT、车联网、智慧医疗等特定领域架构也开展了很多研究。物联网架构参考模型可以为具体应用领域物联网架构研究提供重要的参考。

随着物联网加速发展，很多领域已经开展了具体的系统架构设计和物联网系统部署。鉴于这种情况，中欧双方在物联网架构研究基础上形成了一些共识，并以共同声明方式发布，希望能够为架构师进行具体物联网架构设计提供参考和指导。

本共同声明的出台背景

物联网架构对促进物联网健康规模发展具有重要的意义，是全球研究和关注的焦点，在全球有多个研究项目并且已经形成了很多研究成果。

欧洲IOT-A 项目专注于物联网架构研究并引起了业界较大关注，该项目为期3 年，已于2013 年结束。

IoT-A 的一个主要成果就是物联网架构参考模型。 欧盟第七框架计划（FP7）下许多其他项目在各自研究主题下也涉及一些物联网架构研究。

“共同声明”主要内容

- (一) 物联网架构参考模型为物联网架构设计提供方法
- (二) 水平能力是构建物联网的基础
- (三) 标识解析系统及以标识为中心的寻址正在同步发展
- (四) 语义对资源共享和信息智能处理具有重要的意义
- (五) 物联网架构设计时需要特别关注安全和隐私保护

(一) 物联网架构参考模型为物联网架构设计提供方法

物联网涵盖许多应用领域，如智慧家庭、智慧城市、智能电网等等，不同应用领域的功能、服务模型存在很大的差异。如何定义一个通用的物联网架构参考模型是一个巨大的挑战。

为此，针对通用物联网架构设计也涌现了很多新的理念和方法，中欧双方对此也分别形成了一些研究成果。

IoT-A ARM

ARM是欧盟IoT-A 项目的一个主要研究成果。
IoT-A 为期3 年，是物联网架构研究的旗舰项目，
IoT-A ARM 是几十位欧洲学术界和产业界专家通力合作的研究结果。

IoT-A ARM 并不定义具体的物联网架构，而侧重给出构建物联网架构的方法，如模型、视图、看法、最佳实践等，基于这些方法可以导出具体的物联网架构，这是IoT-A项目和其他项目的最大区别。

IoT-A ARM 包含三个互相关联的部分： RM + RA + 实践指导

- 物联网参考模型（RM）

RM 提供了一系列的模型，用于定义架构视图的某个方面，其中最重要的一个模型就是物联网域模型（DM），它定义了物联网主要概念术语，如物理实体、虚拟实体、增强实体、设备、资源和服务，以及这些概念之间的相互关系。

为什么需要模型

- 1、缺少公认的专业术语的定义
- 2、没有统一标准的成分构成
- 3、研究结构/学术团体的背景、研究兴趣不同，观点不同
- 4、不利于系统和平台的发展



A commonly accepted reference model would alleviate this problem.

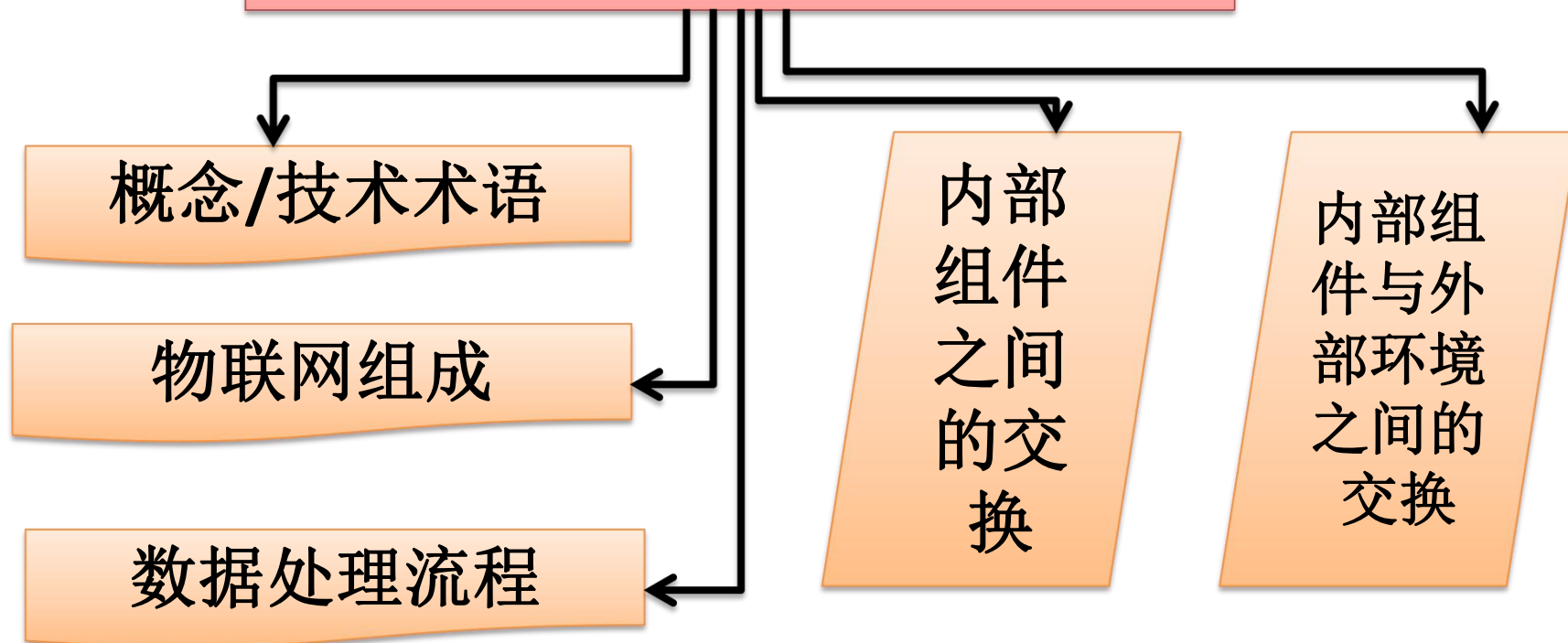


IoT-A
Internet of Things - Architecture

物联网参考架构（RA）

基于RM 模型部分，RA 基于Rozanski& Woods2的
软件工程最佳实践。RA 包括一系列视图和视角，
其中视图侧重于特定系统结构，视角侧重于跨多
个视图的参考架构，如安全、可扩展性。

物联网参考模型



描述了物联网技术领域的一个较高层次的抽象。

指导意见（也称为最佳实践）

- 指导意见定义了基于RA和RM开发具体物联网架构的方法，特别给出了需求处理过程。由于物理视图、上下文视图和应用紧密相关，虽然不是ARM的一部分，指导意见部分仍对如何利用这些视图生成架构视图给出了一般性的描述。指导实践部分给出了一些设计选择清单，可用于开发具体物联网架构。

(二) 水平能力是构建物联网的基础

由于物联网设备、采集数据、应用领域之间存在巨大差异，物联网架构设计应当特别关注水平化应用，以便为物联网架构师提供一个共同的技术基础，来尽可能实现不同系统之间的互操作性。

中欧物联网架构共同研究的目标，则更多地是聚焦于那些通用能力，以便促进“广域互联”而不是“局部互联”。在这种情况下，物联网应用系统就不再是一个垂直烟囱式应用系统，而是一个具有可互操作特性的垂直应用系统，不同系统之间拥有一个共同的“水平”基础，如具有兼容性的部件、协议等等。

针对互操作、安全等的共性能力还有许多方面需要深入研究，物联网论坛（IoT Forum Working Group）架构与互操作工作组正在考虑定义IoT-A ARM 属性清单，每个属性清单侧重于系统某个具体方面，如互操作性，属性清单将精确定义所需的部件和API，同时考虑所有相关的技术和设计选择。不同物联网系统的应用能力以及应用能力之间的交互也是物联网架构视图的重要方面。

物联网水平化能力的研究总体出发点

是降低架构设计的自由度，以便指导和帮助架构师做出正确设计，使这些共性能力能够在系统开发中得以实现。

模式驱动方法结合物联网参考模型，可以用于生成具体的物联网平台和应用。

IoT-A

欧盟FP7 框架下的 IoT-A 项目中引入了“标识层”的新概念，作为通信协议栈的第一个汇聚点。通过使用网络层提供的统一接口，标识层使得我们拥有了一个共同的物联网解析框架。而且其它的安全、验证和应用服务，也都可以利用这一层，为物联网中许多不同的设备和应用提供统一寻址。

(三) 标识解析系统及以标识为中心的寻址正在同步发展

- 近年来，基于标识的物联网应用发展迅猛。条形码和射频识别技术（Radio Frequency Identification, RFID）在供应链管理、物流管理、资产追踪、公共安全、车辆管理等领域都取得了广泛应用。与标识服务相关的核心技术主要包括标识的命名、寻址和发现。用于寻址和发现的标识解析服务对整个物联网架构而言，是一个重要的组成部分。

（四）语义对资源共享和信息智能处理具有重要的意义

随着越来越多的技术协助物联网资源进行自动化处理和共享，语义技术也得到了人们的关注。语义可以用来描述传感器、RFID 读取器、采集到的数据、网络能力，语义标注则让人们可以发现和使用物联网资源。

从物联网架构的角度来看，语义标注影响了几个部件。比如，传感器节点可以发送出带有语义描述的采集数据；数据处理部件就可以用语义标注，来分析和组合不同的数据；应用就可以找到合适的物联网数据或设备，通过查询语义信息来使用它们（这当然是在允许使用的情况下），并且根据不同的标准来找到和发现相关的资源。

语义标注以及在不同信息源之间采用共同元数据而带来的互操作性，将有助于建立一个开放的市场，让物联网数据和设备得到共享和使用。

语义研究

欧盟：包括W3C SSN Ontology、IoT-A 信息模型（包括物联网资源、服务和基于语义模型的实体描述）、IoT.est 服务描述模型以及关联数据模型等，可以用来描述自身的物联网数据以及其它一些研究成果中的针对特定应用领域的语义模型，比如智慧城市（CityPulse 中的关联数据模型）。

中国：“重大专项三”等研究项目，开发物联网语义说明。

语义技术

对于受限的物联网环境而言，语义技术有可能是复杂、耗资源的；我们应当设计一套通用的语义机制以及领域本体。

研究人员需要采取通用的模式和模型（比如id、时间、地点、类型）来定义一系列基本的属性和概念。从而使得这一通用模型可以促进不同平台和提供方之间的互操作性。

语义技术的作用

使用语义技术的另外一个重要的方面，就是提供工具和机制，来产生、发布、测试、查询和使用经过语义标注的数据。

有效的工具和API，可以让发布和使用语义数据变得简单。如此一来，能让大家在更广范围内采用和使用基础模型。

同时，使用关联数据的方法，也能让我们把外部描述和通用本体、知识基础包括进来，是一个有效的方法，能够把不同的资源互联起来，并利用网络获得更多的大数据集。

语义标注

是中间的内部描述，旨在让我们更加便捷的访问数据，在不同提供方和平台之间进行互操作。

因此，语义标注应当清晰明了、方便使用，而且可优化，并应当能够使用在资源受限的环境中，以及对大规模的数据进行标注。同时，它们也应当支持流标注，以及设备、实体和服务描述。

语义标注透明化：服务于消费者

我们也应当有相应的工具和机制，可以用来发布、存储、索引、查询和访问这些语义，并对其进行处理，以便从大量的数据来源中，抽取出来可以用来执行的信息，或者可以在一个分布式物联网框架内，发现相关的设备和服务。

不管语义标注有多复杂，它应该是透明的，不受终端用户和数据的影响，并最终服务于消费者。

（五）物联网架构设计时需要特别关注安全和隐私保护

物联网设备可以产生大量数据，包括大量的个人数据。物联网安全和隐私保护涉及物联网设备是否达到一定的安全级别、如何保证透明度、在没有用户交互界面的环境中如何提供用户选择、个人隐私保护等问题。近来，大数据潮流下个人数据商业化使用也成为物联网安全和隐私保护范畴下的重要问题。

SDS SOFTWARE DEFINED SECURITY, 软件定义安全

欧盟委员会：新的数据保护法案

欧盟委员会提交了一个新的数据保护法案。目前欧洲议会和欧洲理事会正在对该法案进行讨论，该法案将适用于涉及数据隐私和个人数据处理的物联网应用。

欧盟委员会的议案将通过不同途径强化数据控制方的责任，如施加问责制、隐私设计私、隐私影响评估以及安全违反通知。同时，该议案强化了数据主体的权利，尤其是关乎同意、信息、访问和删除的权利。

本章思考题

- 1、请简述体系架构概念、作用。
- 2、给出物联网体系架构（IoT-A）定义
- 3、软件体系架构概念、模型、方法
- 4、IoT-A的设计原则和方法
- 5、结合参考书第中的智慧城市物联网体系架构模型，简要描述其功能和作用。
- 6 小组学习“中欧物联网架构联合声明（中英文）”。