

纳米物联网：架构、应用与挑战

钟 涛

重庆邮电大学通信与信息工程学院

具有通信能力的纳米机器的发展和它们之间通过纳米网络的互连，使得纳米物联网成为可能。纳米物联网将在我们社会的几乎每个领域都产生巨大影响，比如医疗保健、国土安全和环境保护等。本文作为一篇概述性文章，首先简述了纳米物联网的定义，然后简单介绍了它的网络架构，接着对它的应用前景及其面临的挑战进行了概述，最后简述了它的未来趋势。

1 什么是纳米物联网

纳米物联网（Internet of Nano-Things, IoNT）的概念是由乔治亚理工学院的 Ian F. Akyildiz 和 Josep Miquel Jornet 提出的。他们将 IoNT 定义为：“纳米级设备与现有通信网络以及最终的互联网的互连定义了一种新的网络范式，这种新的网络范式就称为纳米物联网”^[1]。IoNT 自 2010 年被提出以来，已经受到了相关学者的广泛关注与研究，从而得到了快速发展，并且衍生出生物纳米物联网^[2]（Internet of Bio-Nano Things, IoBNT）和多媒体纳米物联网^[3]（Internet of Multimedia-Nano Things, IoMNT）等新领域。总之，IoNT 是一种非常具有潜力的技术。根据专家目前的事实统计报告指出^[4]，IoNT 市场预计将从 2016 年的 42.6 亿美元增长到 2020 年的 96.9 亿美元，2016 年至 2020 年的正常复合年增长率（CAGR）为 22.81%。甚至有学者认为 IoNT 是下一个未来的科学技术革命，使用到 IoNT 技术的产品将极大地影响我们的经济和生活各个方面。

2 IoNT 的网络架构

若想实现纳米机器和现有通信网络以及最终互联网的互连，则需开发新的网络架构。图 1 展示了两种不同应用中的纳米物联网的架构，即用于远程医疗的体内纳米网络和未来的互连办公室^[1]。

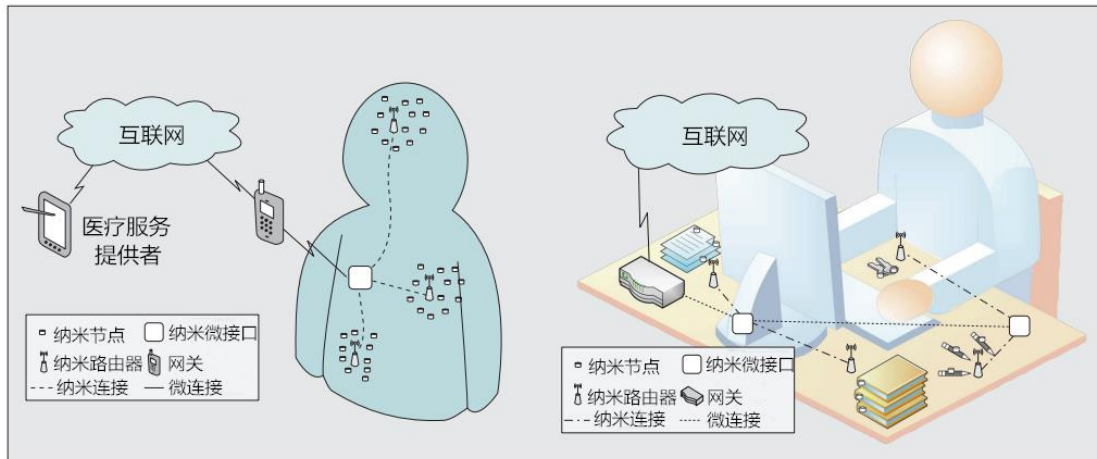


图 1 两种不同应用中的 IoNT 架构

在体内网络这个应用中，部署在人体内部的纳米机器（例如纳米传感器和纳米驱动器）是由外部用户（例如医疗服务提供者）从宏观上并且通过互联网进行远程控制的。纳米级是分子、蛋白质、DNA、细胞器和细胞主要成分的天然结构域。此外，现有的生物纳米传感器和纳米驱动器在生物现象和电子纳米设备之间提供了接口，这可以通过 IoNT 加以利用。

在互连的办公室这个应用中，通常在办公室中所发现的每个元素，甚至其内部组件都由纳米收发器提供，从而使它们可以永久地连接到互联网。结果，用户可以毫不费力地跟踪所有物品的位置和状态。此外，从环境中获取振动、机械甚至电磁能量的可能性、超低功耗和合理的计算能力，促使了在这些设备的开发中使用新的纳米材料。

虽然在各种不同的应用中，IoNT 的网络组件会有些许不同，但是 IoNT 的网络架构具有一些基本组件，它们分别是：

- (1) **纳米节点：**这些节点被认为是最小，最简单的纳米机器。由于它们的能量有限，内存不足和通信能力有限，它们可以执行简单的操作并在非常短的距离内传输信息。人体内部的生物纳米传感器节点和在各种类型的事物（例如书本，钥匙或纸质文件夹）中集成的具有通信功能的纳米机器就是纳米节点的好典范。
- (2) **纳米路由器：**与纳米节点相比，纳米路由器具有更大的计算资源，适用于汇集来自不同纳米机器的信息。此外，纳米路由器还可以通过传输简单的控制命令（例如睡眠，开/关，读取值等）来管理纳米节点的行为。不过增加这些功能会导致设备的尺寸增大，从而使其部署更加困难。
- (3) **纳米微接口设备：**这些设备用于汇集来自纳米路由器的信息，并将其传输到微尺度域，反之亦然。纳米微接口是一种混合设备，既可以使用纳米通信技术在纳米级进行通信，

又可以在传统通信网络中使用经典通信方法进行通信。

- (4) **网关：**该设备用于通过互联网远程控制整个系统。例如，在体内网络场景应用中，高级手机可以将从手腕中的纳米微接口接收到的信息转发给医疗服务提供者。而在互连办公室场景应用中，调制解调路由器可以提供此功能。

如图 2 所示，所设想的 IoNT 包括连接众多纳米传感器的底层纳米级网络、与纳米网络交互并以分布式方式处理其信息的设备以及上下文和服务管理系统。目前，相关研究人员已经提出了许多纳米通信方法，但分子通信和电磁通信是最为实用的两种方法^[5]。

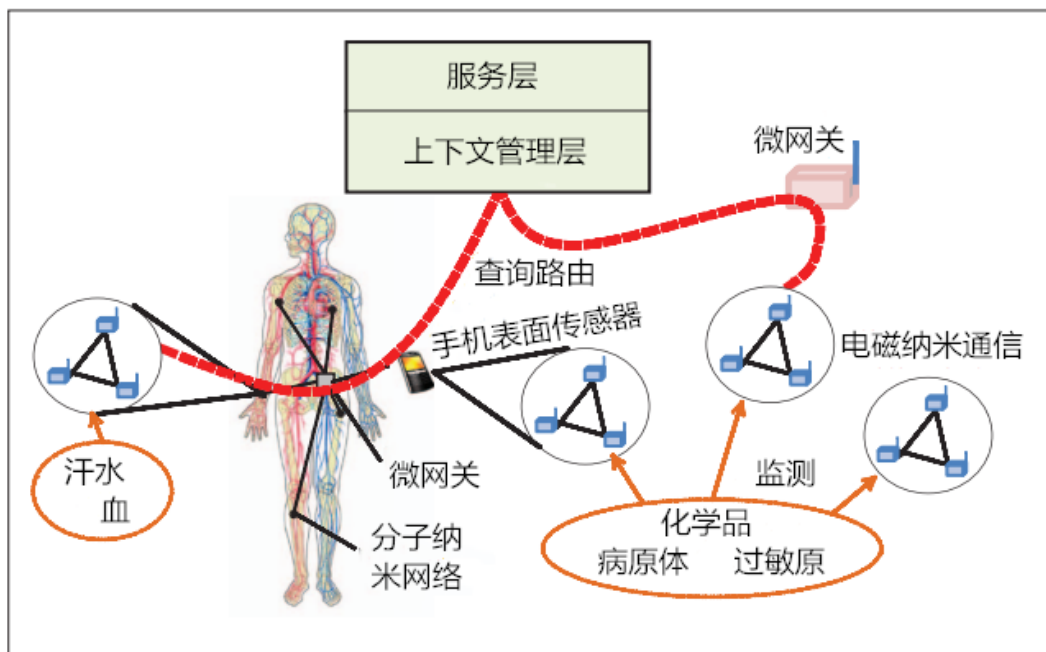


图 2 IoNT 的网络架构

分子通信：它被定义为分子中编码信息的传输和接收。由于分子收发器的尺寸和工作范围，它们有望轻松地集成到纳米设备中。这些收发器能够对特定的分子做出反应，并释放其他分子作为对内部命令的响应或者在执行某种类型的处理之后的响应。

纳米电磁通信：它被定义为基于新型纳米材料的组件的电磁辐射的传输和接收。在这些材料中观察到的独特性质将决定电磁辐射发射的特定带宽，发射的时延或给定输入能量的发射功率大小。

3 IoNT 的应用前景

IoNT 涉及到多媒体、军事、工业、智慧城市、农业和健康监测等多个应用领域，它可以

使用纳米技术为如图 3 所示的常见应用带来许多好处^[6]。

3.1 石油和天然气

纳米传感器可以用来提高石油的发现率。它们可以穿过岩石的孔隙，帮助找到附着在岩石上的石油。尽管井间成像工具对油田的影响更大，但它们提供的分辨率非常低，以致于要使用巨大的磁源和接收器来确定石油的位置，从而绘制使用循环水插入的纳米颗粒图。而在 IoNT 中，纳米传感器通过分子通信相互通信和交互，并且可以使用附近的网关实时传送收集的信息。这样就可以有效地绘制出石油的位置，而无需特定的磁源和接收器。



图 3 IoNT 的应用

3.2 军事

随着新的先进生物和化学武器的出现，战争战略发生了变化，这些武器在任何战斗中都起着至关重要的作用。在军事领域，IoNT 可以使用纳米传感器来发现即使只有一个分子浓度的化学复合物的存在。房间或战场上的分子组成可以由纳米传感器来识别，而不需要外部工具（例如用于光谱分析的设备）。另外，纳米传感器有能力识别桥梁，民用建筑，车辆，纺织品和火箭中所存在的小裂缝。

3.3 农业

有许多成功的案例已经证明 IoNT 可以提高农业的生产力。例如，有许多不同种类的纳米颗粒已经证明了它们在害虫管理方面的有效性。纳米颗粒也可以用来控制植物体内的真菌。这

些粒子可以嵌入到纳米传感器中，然后使用 IoNT 来控制 and 监视种植过程。例如，可以根据植物的监测情况来判断植物是否需要肥料。此外，所收集的有关受感染植物的信息可以传输给拥有者，以检查植物状态并触发纳米传感器的释放。简而言之，IoNT 可以使利用卫星通信、地理信息系统和遥感设施的精确农业提高效率和生产力。

3.4 智慧城市

智慧城市的实施使得家用电器、监控传感器、监控摄像头、驱动器和车辆等能够流畅地进行通信和交互。智慧城市的路线图取决于地理环境和人们的生活方式。无论人们的经济条件如何，智慧城市提供的所有通信技术都可以被他们所使用。利用 IoNT，纳米传感器可用于监测和识别高浓度空气中所发现的污染位置，并触发纳米传感器清理该特定位置。此外，由于存在无数的纳米传感器，它可以用于收集大量的实时信息，以改善生活质量并提供新的服务和应用。

3.5 多媒体

纳米技术提供了新的非物质，可以用来制造新一代的微型光电探测器和声学纳米传感器。这允许在纳米尺度上创造新的多媒体内容，从而为各种多媒体应用增加更多的好处，例如用于卫星成像的远距离物体的超高分辨率成像和用于犯罪现场的超高分辨率成像。提高视觉和听觉信息的分辨率以及准确性并非易事，但对于纳米相机和纳米手机，这个问题可以通过实现更高的计算和存储能力、更高质量的图像和音频感知能力以及更高的能效来解决。

3.6 健康监测

纳米传感器在健康监测中有多种应用。一些参数（如胆固醇、葡萄糖和钠）可以用纳米传感器观察。纳米传感器还可以检测出致癌肿瘤和其他有害物质。此外，纳米传感器可以通过找到受影响的区域并使用髓鞘来固定脱髓鞘的神经元。尽管很难知道放置鞘的确切位置，但是利用 IoNT，纳米传感器可以将神经冲动信号中继到目的地或神经的另一端。

3.7 工业

IoNT 可以为工业带来一些好处。它可以通过纳米传感器来提高利用空气的触摸技术的灵敏度，以识别空气中特定图形的运动并将其转换为信号。大多数工业使用射频识别（Radio Frequency Identification, RFID）标签来识别和监控生产组件，但 RFID 标签大多是被动的且需要附近的读取器交换信息。而利用 IoNT，纳米传感器可以直接在互联网上传输生产线的信息。此外，产品生命周期管理工具可用于检测任何意外动作，一旦检测出任何意外情况，就会在生产线经理的个人设备上触发警报。

4 IoNT 面临的挑战

IoNT 被认为是最微型的纳米传感器网络,具有在实时应用中被采用的巨大潜力。尽管 IoNT 可以带来无限的好处,但它仍然面临着一些需要加以处理的挑战,从而使它不受限制地成为人类生活中的重要组成部分^[5]。本小节概述了实现 IoNT 所面临的常见挑战。

4.1 数据收集

实现 IoNT 的一个重要因素是需要收集环境中纳米设备所产生的大量数据。表 1 总结了有关系统架构和路由技术两个方面面临的挑战以及建议的解决方案。

表 1.实现 IoNT 面临的有关数据收集的挑战		
类别	挑战	建议的解决方案
系统架构	如果微网关必须处理来自每个纳米传感器的信息,则纳米传感器与微网关的高比例可能导致能量迅速消耗。	分布接收器架构并开发一个由微网关和纳米网络组成的两层层次结构。
	分子纳米网络:携带信息的分子在节点之间移动可能非常缓慢,甚至会丢失。	通过纳米设备的多跳中继的机会路由;将拓扑建立在随机或非结构化图的基础上。
路由技术	电磁纳米网络:有限的内存,计算能力和能量将限制节点之间的数据传输。	通过星形拓扑单跳传输到微网关;结合基于查询的路由,并在微网关之间路由查询。
	每个纳米网络只有一个微网关,可能很难进行批量数据传输。	结合非传统的路由技术(例如,移动时容忍网络)来承载大量数据。

4.2 中间件

近年来,研究人员已经为传感器网络提出了各种中间件。这些中间件的设计旨在从利用传感器信息的服务中抽象出底层网络功能。但是,为了支持 IoNT,当前的中间件必须解决系统管理,数据分析和节能方面的挑战。表 2 总结了这几个方面的挑战并建议性地给出了解决方案。

表 2.实现 IoNT 面临的有关中间件的挑战

类别	挑战	建议的解决方案
系统管理	不稳定和不可靠的环境—例如分子纳米网络中的流体运动和电磁纳米网络中的水蒸气。	在微网关集成自我意识机制，以了解环境条件。
数据分析	环境的动态变化可能导致沿着微网关路由传输大量数据，使传统的静态数据收集树变得不切实际。 纳米传感器之间数据传播的时间差可能会导致消息在到达接收器之前出现长时间的延迟。	合并一个动态树结构，用于微网关之间的分布式、节点到节点的交互。 实现延时的数据融合过程，以便微网关在将所有消息路由到对等微网关之前等待所有消息到达。
节能	当与纳米网络连接时，微网关可以迅速耗尽其能量。	通过对环境的感知，微网关将其睡眠模式与分子传输（分子纳米网络）或充电模式（电磁纳米网络）中的等待时间同步。

4.3 其他挑战

除了数据收集和中间件以外，实现 IoNT 还必须解决与上下文管理、安全和隐私以及服务组合和发现有关的问题。表 3 总结了这些问题和建议的解决方案。

表 3.实现 IoNT 面临的其他挑战

类别	挑战	建议的解决方案
上下文管理	纳米网络将生成大量非常细粒度的数据，这些数据需要上下文处理。	集成专门的概念模型，如智能空间和基因本体，并增强跨域推理。
安全与隐私	从纳米传感器收集的信息可能包括个人的分子和遗传数据。	采取安全措施，以确保敏感的 IoNT 数据不会落入坏人之手。
服务组合和发现	当前面向服务的体系结构无法充分地处理纳米网络的大量各种数据。	将服务细分为两层，即应用程序服务和数据收集服务，每层都具有集群服务组合和发现模型。

5 IoNT 未来趋势

处于起步阶段的 IoNT 设备目前依赖于已经比较成熟的互联网协议。不过这样的情况需要加以改变,以适应 IoNT 设备所面临的特殊要求,例如小型设备的通信和功率要求方面的挑战。这些问题显然需要得到解决,而且被认为是软件和硬件开发人员相对容易解决的。从理论上讲,通过对使用太赫兹频率的石墨烯无线电进行研究,从而实现收发器来演示 IoNT 的实用性已经被证明是可行的。因此,可以使用植入式生物传感器来实施侵入性原位监测。它们也可以用来监测环境,例如水道。基于石墨烯的收发器因其高带宽已被证明能够在每秒 1 TB 的速率条件下进行工作,但是相关研究人员仍在研究使纳米收发器成为现实的辅助电子组件^[7]。

IoNT 与现有微设备的接口对于使其在人们生活中被广泛应用尤为重要,所以研究人员应该朝着这个方向去展开进一步的研究工作,特别是在工业,生物医学和工业领域。此外,在这种生物细胞规模上的电磁信道建模和必要的支持的网络协议领域,需要解决主要的挑战。

参考文献

- [1] Akyildiz I F, Jornet J M. The Internet of nano-things[J]. IEEE Wireless Communications, 2010, 17(6): 58-63.
- [2] Akyildiz I F, Pierobon M, Balasubramaniam S, et al. The internet of Bio-Nano things[J]. IEEE Communications Magazine, 2015, 53(3): 32-40.
- [3] Jornet J M, Akyildiz I F. The Internet of Multimedia Nano-Things[J]. Nano Communication Networks, 2012, 3(4): 242-251.
- [4] Khandelwal D B, Choudhary A, Mishra A. Realizing the Internet of NanoThings:-A Review[J]. International Journal of Emerging Trends in Engineering and Development, 2018, 3(8): 48-54.
- [5] Balasubramaniam S, Kangasharju J. Realizing the Internet of Nano Things: Challenges, Solutions, and Applications[J]. IEEE Computer, 2013, 46(2): 62-68.
- [6] Atlam H F, Walters R J, Wills G, et al. Internet of Nano Things: Security Issues and Applications[C]. international conference cloud and big data computing, 2018: 71-77.
- [7] Miraz M H, Ali M, Excell P S, et al. Internet of Nano-Things, Things and Everything: Future Growth Trends[J]. Future Internet, 2018, 10(8).

作者简介：钟 涛，重庆邮电大学通信与信息工程学院硕士研究生，研究方向为无线通信与信号处理。



临菲信息技术港



临菲信息技术港公众号



临菲学堂