1 智能电网

由于环境与社会问题，发电和配电系统正在经历前所未有的转变。一方面，通过在发电和配电中使用先进的传感器，电网运行商可以监控系统的健康状况，检测故障并更快地恢复电力传输；另一方面，来自电网的最新数据能够使操作人员更深入了解电力设施的性能，使其能够基于发电组合、极端天气或安全问题更快地给予响应。

智能电网的四个关键要素：

（1） 数字化，特别是在电网中广泛部署的智能电表、传感器和设备节点；

（2） 用于管理各种分布式能源的通信和控制技术；

（3） 电动汽车的影响及其充电基础设施；

（4） 用于增强保护和控制的实时数据管理。

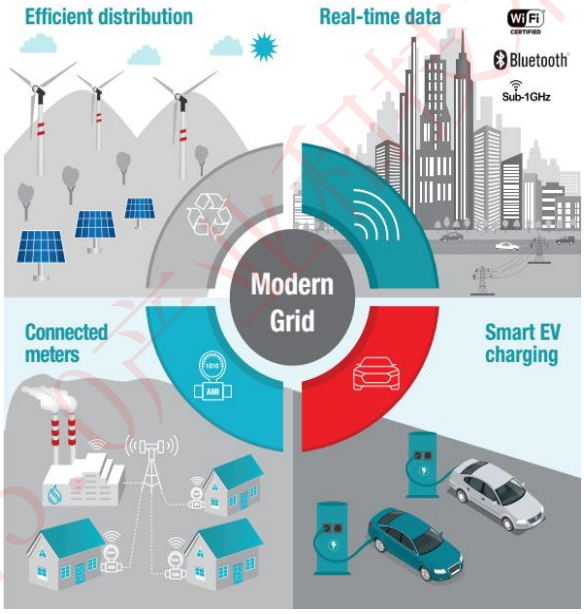


图 1 智能电网的核心组成要素

智能电网的技术驱动因素包括：

（1） 将电子技术和半导体器件用于电网边缘的仪表中；

（2） 整合分布式可再生发电资源；

（3） 适应电力运输系统及其充电基础设施；

（4） 改进电网监测、保护和控制。

1.1 互连的燃气表和水表

发电厂与工厂、企业、家庭相连的配电网络正在进行设计升级，仪表的互连最初始于电力，采用自动仪表读数和智能仪表已经成为当前的一种趋势。为了减少机器故障，提高仪表的精确度并使其智能化，其技术支持主要有三方面：

（1） 超声波流量检测，精度高，能耗低；

（2） 无线通信，支持长距离以确保连通性；

（3） 智能电表管理，以最大限度提高效率，并提供至少 10 年的电池寿命。

1.2 分布式能源

传统电网是一条“单行道”，电力单向从发电、输电和配电线路流向消费者。随着太阳能和风能开始在电网中占据更大的份额，电网的动态管理也变得更加普遍。智能电网是一个相互连接的网络，使用小型分布式系统发电的消费者数量一直在递增，换言之，住宅将不仅是消费单元，也可作为发电单元。

1.3 智能电动汽车充电

在不久的将来，电动汽车（包括轿车、公交、货车）将代替化石燃料驱动的车辆。目前性能最好的电动汽车车载充电器功率在 10kW 内，未来为了减少充电时间，其功率将达到 15kW 或 20kW。另外，双向充电器使得电动汽车作为电力存储元件成为可能。假设车库中的电动汽车一次充电可行驶 400 英里，通过通信、云计算和智能电网，汽车“知道”车主明天开车不会超过 50 英里，从技术角度来看，电池不必一次充满电，可能在夜间用电高峰期将自身电力供本地消耗。通过使用具有较低开关损耗的 SiC MOSFET 可确保提供 1000V 的高直流电压和 99% 的峰值效率[1]。

1.4 实时数据管理

过去电力公司将电网部署在地面以上，通过相当简单的方法来检测电力故障：派出维修车沿着电力线行驶，当发现故障时，断电维修。智能电网需要实时通信、检测和监控，但其电力线部署在地下，无法直观看到其故障，实时数据管理系统在连接电网时变得尤其重要，现代移动设备是智能电网以及包括构成微电网的太

网络5.0产业和技术创新联盟

阳能等能源数据传送和控制的一个平台。通过多种通信方式（包括 WiFi、蓝牙等）来实现实时数据的管理，包括：

（1） 实时资产健康监控（包括电容、电压、温度）；

（2） 为关键应用增加额外的、可变的数据传输能力；

（3） 变电站内有线通信的备份；

（4） 提高检测故障的响应时间；

（5） 较少断电时间。

综上，随着电网现代化水平的日益提高，智能电网中末端传感设备的部署会越来越广泛和密集，分布式能源对于智能电网的管控、快速响应提出了更为严苛的同步实时性要求。对未来传输网络提出了更高的要求[2]：

- 每户家庭电网传输带宽大于 1Mbps，连接密度大于 1000/ km^2。
- 主变电站与控制中心之间端到端时延上界小于 1ms（亚毫秒级），支持无缝故障转移，即在保持信息的实时传送（毫秒级）的同时不会丢失信息。
- 包含设备在内的端到端丢包低于 10^{-9}。
- 高可用性要求，可靠性要求大于 99.999%，相当于每年停机时间小于 5 分钟。
- 处理危机情况：针对大规模停电，确保黑启动能力。

2 基因组测序（NGS）

人类 DNA 由大约 30 亿个碱基对组成，一个人的基因组数据量约为 100GB，相当于 100k 张照片[5]。公共基因数据集 SRA（Sequence Read Archive）现在拥有大约 14PB（数百亿碱基对）数据，并且每 10-20 个月大小翻倍。从 2012 年 7 月到 2017 年 3 月，SRA 中基因组数据的大小翻了四倍，如图 2 所示[7]。

网络5.0产业和技术创新联盟

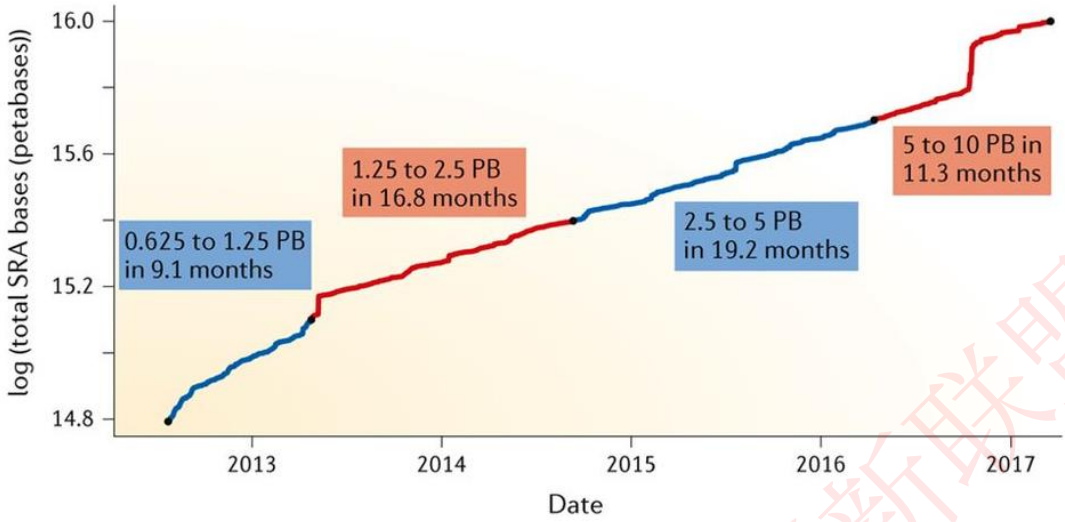


图 2　SRA 中 NGS 数据增量图(Langmead B, Nellore A. Cloud computing for genomic data analysis and collaboration[J]. Nature Reviews Genetics, 2018, 19(4)) [7]

自从世纪之交人类基因组计划完成以来，基因组序列数据出现了前所未有的激增，随着基因组测序的成本越来越低，测序频率越来越高，这些数据集呈指数增长。表 1 是人类基因组计划（HGP，Human Genome Project）的发展成果。其中下一代基因组测序技术（NGS，Next Generation Sequencing）在单次检测运行中会产生高达 1PB（即 2^{50}）字节的数据[3]，这些数据需要在不同的位置之间高效地进行传输，生物学家依靠云计算及相关服务来交换、处理和分析这些数据，但由于数据量很大，通过传统网络传输数据通常需要大量的时间，不同测序数据类型与耗时评估如表 2 所示[7]。

表 1 人类基因组计划（HGP）发展成果

基因测序	1990 年	2003 年	2014 年
测序成本	10 亿美元	1-5 千万美元	3-5 千美元
测序耗时	6-8 年	3-4 月	1-2 天

表 2 不同测序数据类型与耗时评估[7]

NGS 技术	总碱基对	压缩字节	当量	分析 100 个样本的时间（小时）

单细胞 RNA 测序	7.25 亿	300MB	50 首 MP3 歌曲	20
批量 RNA 测序	40 亿	2GB	2 张光盘	100
全外显子组测序	95 亿	4.5GB	1 部 DVD 电影	4000
人类 DNA 全基因组测序	750 亿	25GB	1 部蓝光电影	30000

当前的网络传输协议依赖于传输控制协议（TCP）或用户数据报协议（UDP），默认的 TCP 缓冲区大小和拥塞避免算法均没有对于远距离高带宽网络（通常称为长肥网络）进行个性化设计，TCP 的保守拥塞控制机制会由于不能充分利用大带宽延迟积而严重降低吞吐量，需要在终端上使用大量的缓冲区来消除带宽延迟积（TCP 最大缓冲区大小，对于大多数 10Gbps 路径建议为 16MB，对于非常长的 RTT，10Gps 或 40Gps 的路径建议为 32MB）。另外，TCP 通过 ACK 和重传来提供可靠性，包恢复的延迟至少是一个往返时延（RTT），不适用于长延迟链路。应用层的 HTTP 协议被设计用于各种不同的数据类型，但是对基因数据不是特别有效[4]。

以美国大陆高速网络为例，其 RTT 范围在 40ms 到 100ms，带宽范围在 1Gbps 到 40Gbps，跳数为 5 到 15 跳[4]。在 76.59Mb/s 的下载速度和 103Mb/s 的上传速度情况下，HTTP 传输 10GB 数据需要约 1880973ms（31.35 分钟）[3]，其延迟用于传输基因组数据还需进一步优化。未来的基因测序发展将在很大程度上取决于我们处理和分析大型基因组数据集的能力，生物信息研究人员亟待一种快速传输大型数据集以进行协作的方法，通过基因测序来进行疾病的研究。

此外，基因测序数据传输的安全和隐私保护也非常重要。基因测序数据直接关系到个人隐私，必须确保数据在传输过程中不会泄漏个人隐私，不会被篡改。

综上，基因组测序的海量数据传输对于未来网络的需求如下：

- 设计支持长肥网络的传输协议，对于长肥网络的传输效率提高到 80%以上；
- 传输网络可以根据应用数据特征自适应的选择传输方式；

网络5.0产业和技术创新联盟

■ 提供端到端的隐私保护能力；

3 AR/VR

AR/VR（Augmented Reality/Virtual Reality，增强现实/虚拟现实）以计算技术为核心，在一定范围内构造虚拟环境，生成逼真的视觉、听觉等，未来还会延伸至触觉等感知体验，用户可以与虚拟环境中的事物进行交互，以此获得身临其境的感受与体验。AR/VR 有望成为未来网络的杀手级应用，但目前由于移动终端计算能力较低、传输能力不稳定、网络服务时延大等原因，难以满足移动 AR/VR 的信息处理与传输要求，用户体验差强人意。AR/VR 早期多用于军事，航空航天等领域，近年来逐渐向个人应用领域发展。

AR/VR 应用可分为两大类，一类为弱交互式 AR/VR，这类应用中终端用户没有与虚拟环境直接交互，其视觉效果是预先计划好的，用户可以选择不同的观察点和位置；一类为强交互式 AR/VR，主要用于视听互动，一般情况下其延迟范围在 7~15ms，同时保证 250Mbps 的数据率和不高于 20ms 的声音延迟。根据强弱交互的不同，其不同阶段对网络的需求如表 2、表 3 所示[2]。

表 2 弱交互式 AR/VR 需求[2]

	入门级 AR/VR	高级 AR/VR	终极 AR/VR
数据率	40Mbps（2D） 63Mbps （3D）	340Mbps	2.34Gbps
RTT	30ms （2D） 20ms （3D）	20ms	10ms
丢包	2.40E-5	1.00E-6	1.00E-6
阶段	2 年内	3-5 年	6-10 年

表 3 强交互式 AR/VR 需求[2]

	入门级 AR/VR	先进 AR/VR
数据率	120Mbps（2D） 200Mbps （3D）	1.40Gbps

RTT	10ms	5ms
丢包	1.00E-6	1.00E-6
阶段	2 年内	3-5 年

4 工业 4.0

工业 4.0（Industry 4.0，或 Fourth Industrial Revolution）的目的是实现更高水平的运营效率和生产力，以及更高水平的自动化。工业 4.0 的关键基本原则包括云/内联网，数据集成，灵活适应，智能自组织，互操作性，制造流程，优化，安全通信和面向服务。由于工业 4.0 中适应性，资源效率和供需过程的整合得到改善，因此工厂、生产、城市和潜在的智能设备和物体变得智能化。网络作为工业 4.0 的强大支撑，涉及的关键技术包括移动计算，云计算，大数据和物联网，其中移动计算和云计算通过集成工业物联网网络，为工业 4.0 提供强大而准确的数据和服务。

工业 4.0 的五大特征：

（1） 数字化，优化和生产定制；

（2） 自动化和适应；

（3） 人机交互（HMI，Human Machine Interface）；

（4） 增值服务和业务；

（5） 自动数据交换和通信。

工业 4.0 的主要应用：

（1） 智能工厂和制造业

（2） 智能产品

（3） 智慧城市

工业 4.0 的网络需求[6]：

- 延迟：低于 5ms
- 电池寿命：至少 10 年
- 连接数：每个 AP 连接 300000 设备
- 可靠性：99.99%

网络5.0产业和技术创新联盟

- 数据率：1~10Gb/s

5 参考文献

[1] Modernizing the grid to make it more resilient and reliable through technology. Texas Instruments. Oct. 2018

[2] Network slicing use case requirements. Future Networks Programme. GSMA. April, 2018

[3] Design and Implementation of Network Transfer Protocol for Big Genomic Data. Parallel Computing and Data Science Lab Technical Reports. Western Michigan University. 2015

[4] Large Genomic Data Transfer Methods. GNET: Technical Report. University of California, Santa Cruz. 2011

[5] 'Big data', Hadoop and cloud computing in genomics. Journal of Biomedical Informatics 46 (2013) 774–781

[6] Varghese A, Tandur D. Wireless requirements and challenges in Industry 4.0[C]//Contemporary Computing and Informatics (IC3I), 2014 International Conference on. IEEE, 2014: 634-638.

[7] Langmead B, Nellore A. Cloud computing for genomic data analysis and collaboration[J]. Nature Reviews Genetics, 2018, 19(4): 208.

网络5.0产业和技术创新联盟