专题：新型网络

关于数据网技术的思考

蒋林涛
（中国信息通信研究院，北京 100191）

摘　要：回顾了数据网的发展史和标准化史，提出未来网络的分代发展理念。指出网络设计存在两条技术路线：以用户和业务应用为核心的发展技术路线，根据用户和应用需求逐步增加网络能力；以网络为核心和能力责任主体的发展技术路线，网络分代研究，网络能力“代”内稳定，无须频繁修改和增添。网络 5.0（即第五代网络）采用的是“以网络为核心的设计理念”，给出了网络 5.0 的 3 项重要能力详细论述，分别是：内生可信和安全，内生的网络资源感知、调配和管控，内生网络性能和能力确定性。

关键词：传送网；数据网；下一代网络
中图分类号：TP393
文献标识码：A
doi: 10.11959/j.issn.1000−0801.2020190

Reflections on data network technology

JIANG Lintao
China Academy of Information and Communication Technology, Beijing 100191, China

Abstract: The history of data network development and standardization was reviewed, and the idea of-sub-generational development concept for future network was put forward. It was pointed out that there were two technical routes in network design: the development technology route with users and business applications as the core, the gradual increase of network capabilities according to the needs of users and applications, and the development technology route with network as the core and the main body of capacity responsibility. Network 5.0 adopts “network as the core design concept”. A detailed description of three important capabilities of network 5.0 was given: endogenous credibility and security, endogenous network resource perception, deployment and control, and endogenous network certainty.

Key words: transport network, data network, next generation network

1　数据网技术发展历史和现状

1.1　数据网发展的技术基础

通信网发展由模拟网开始，电话通信就是先有模拟电话，后有数字电话的。模拟电话原理很简单，讲话者的语音通过话筒转换成模拟（时间和振幅均连续）电信号，经电话线传送，该模拟电信号传送到接收方，接收方通过耳机将模拟电信号转换成声音，由接收方获取。模拟电话通信原理简单，但存在的问题不少，噪声倍增是大问

专题策划人：蒋林涛，赵慧玲，唐雄燕
收稿日期：2020−05−25；修回日期：2020−06−10

题，特别是在长途电话中。在长途电话通信中，由于传输损耗，沿途要增加放大器不断放大电信号，在放大过程中，不但放大了有用的电信号，同时放大了噪声，噪声倍增极大地降低语音质量。要从根本上改变语音的质量，必须要引入新的技术，数字通信技术由此而生。数字通信的理论基础是奈奎斯特准则。奈奎斯特准则从理论上证明了：对模拟信号进行抽样，只要抽样频率是模拟信号中最高频率的两倍，它就可以无失真地从离散的抽样模拟量中恢复出原连续模拟信号。奈奎斯特准则解决了模拟信号时间连续性上的问题，将一个时间上连续的模拟信号变成时间上离散的信息模拟信号，为模拟信息的数字化走出重要一步，但还没有完全数字化，还需要对时间上离散的信息模拟信号进行量化，量化完成后，模拟信息就成为“0101010…”的数字了，至此模拟信息变成数字信息。在量化过程中是存在信息损伤的，当然这种信息损伤是很小的、可接受和可控的。模拟信息数字化的实现，奠定了网络技术数字化的基础。

数据通信的另外一个基础技术是复用技术，目前使用的复用技术主要有两种：时分复用（TDM）和分组统计复用。

- 时分复用是将一个连续的时间段分成若干时间片（时隙），用户占据确定的时隙，通过时隙交换（由控制信令来实现）实现端到端通信。时分复用只有一种工作模式，即面向连接的工作模式。
- 分组统计复用是将需要传递的数据信息，分为等长或非等长的数据分组，通过信令或数据分组头部的地址，实现对等端之间的通信。分组统计复用有两种工作模式，分别为面向连接的工作模式和不面向连接的工作模式。面向连接的工作模式由于存在连接数的 N^2 问题，网络的可扩展能力是有限的；不面向连接的工作模式，由于不存在连接管理的状态问题，故网络的可扩展性极好，几乎是无限的，当然问题也有不少，特别是确定性等问题。

数据网络分为传送网和数据网。传送网提供数据专线，不管该专线跨越多少个节点，不管专线有多长，一旦配置完成就是一条专线。由于专线存在 N^2 问题，专线只能用作设备间的连接，无法用作端到端的通信技术。数据网是解决端到端通信问题的，它有两种工作模式，分别是面向连接的工作模式和不面向连接的工作模式。面向连接的工作模式通过建立端到端的交换型虚电路连接，实现端到端通信，由于采用交换模式，使用的用户需要先建立连接，才能进行端到端通信；不用的用户就不建立连接，因此交换型虚电路连接有较好的可扩展性，当然同时使用的人多了还会存在严重的连接数的 N^2 问题。不面向连接的工作方式，因为采用路由方式工作（其工作流程像邮件通过邮局投递的流程）无须在端用户之间建立连接，用户只要完成入网接入（在线），就可以随时随地和网内的任何在线用户实现通信，不存在连接数的 N^2 问题，也不存在连接的状态管理，因此其扩展性就极好，彻底解决端到端通信的可扩展性问题。当然，它也存在其他诸多问题，如它的能力基本上是“尽力而为”的，要不断改动才能满足信息通信的发展要求。

1.2　网络技术推进和国际标准化

网络技术的发展和推进是在全球大量国际标准化组织的努力和推动下前进的。在数据通信网技术上，国际电信联盟（ITU-T）、国际标准化组织（ISO）和国际互联网工程任务组（IETF）等标准化组织是核心技术的推进者。

ITU-T 是联合国的一个重要分支，它从事国际通信事业的标准化工作，也是数字网络技术标准的主要发源地。ITU-T（早期为 CCITT）将数字网络技术分为两个分支：传送网和数据网。传送网提供点对点专线技术，从 SDH（synchronous

digital hierarchy，同步数字体系）到 OTN（optical transport network，光传送网）都是在 ITU-T 主导下推进和完成的。数据网解决的是端到端通信问题，分组数据网在 ITU-T 主导下推进和完成。最早的分组数据网是 X.25 网，是 20 世纪 70 年代中期被提出的，它有两种工作模式。

- 其一为面向连接的工作模式，即通过建立连接的控制信令，建立端到端间的虚电路，通过虚电路实现端到端之间的通信，因此面向连接的工作模式整个通信过程分为 3 步：建立端到端间的虚电路；通信；拆除虚电路。
- 其二是不面向连接的工作方式，在 X.25 网称为“数据报”，在这里虽然使用“不面向连接”术语，但实际上用户只要在线，端到端间通信就不需要建立连接，随时随地可以进行通信。它依靠数据分组报头地址（即源地址和目的地址）实现报文的传递，类似于邮件的投递过程，采用路由技术。因此路由技术并非 IP 网的特有技术，X.25 网已经使用了，并且已经使用动态路由技术。随着信息技术的发展，ITU-T 接着又体系化地标准了 FR（frame relay，帧中继）和 ATM（asynchronous transfer mode，异步转移模式）数据网技术。ITU-T 不是只做需求、架构的标准化组织，而是数据网（X.25 网、FR 和 ATM）全部技术的标准化。

ISO 是对数据网技术有突出贡献的标准化组织，目前用得最广泛的域内路由协议 IS-IS 是由 ISO 完成标准化工作的。

IETF 是完成 IP 网络技术标准化的实体，IP 网是什么，什么是它的代表性特征，至今没有清楚的表述。百度百科表述为：“IP 网是指我们利用 IP 就可以使这些性能各异的网络在网络层上看起来好像是一个统一的网络”，进一步的说明是，“使用 IP 网的好处是，当 IP 网上的各主机进行通信时，就好像在单个网络上通信一样，他们看不见互连的各网络的具体异构细节（如具体的编制方案、路由选择协议等）”。显然从百度百科表述中无法看出 IP 网的代表性特征。从技术层面讲，IP 网是统计复用分组数据网的一种，它采用不面向连接的工作方式，提供尽力而为的传送能力，有良好的可通达性，网络没有顶层设计，随着终端和应用的发展而动态改变。如果仅有上述特征，那与 20 世纪 70 年代 ITU-T 完成的采用不面向连接的工作方式在 X.25 网（称为“数据报”）技术本质是相同的。不同点是 IP 网获得了应用，而 X.25 网的“数据报”没有用起来。

上述 3 个国际标准化组织在数据网技术上的标准化工作，清楚地表明数据网技术的发展是众多国际标准化组织共同推进的，决不是一家的成果。要进一步发展数据网技术，将需要众多国际标准化组织力量，特别要重视 ITU-T 的作用。

2 数据网络发展的两种设计理念

数据网的两种网络设计理念介绍如下。

一种设计理念是从终端出发，以终端和业务应用为核心设计网络。在这种设计理念的指导下，网络只管通达和提供“尽力而为”的传输能力，其他交给终端，当终端管不了时，提出需求请网络想办法，用“打补丁”办法解决。上文中的“尽力而为”不仅指传输能力的尽力而为，还有安全可信、网络管理等。从网络角度看，这种设计理念对网络的要求是很低的，因为网络什么都可以不管，所有事情都交给终端来管。但终端方为了满足用户应用的要求，就什么都要管，大大增加终端侧的使用门槛，也大大增加应用开发的复杂度。实际上网络真的不作为，在很多场合终端再努力也无济于事。以终端为核心的网络发展设计理念，网络处于被动地位，“拨一拨、动一动”，

网络没有顶层设计，当然也没有办法有顶层设计。这种以终端为核心的设计理念就是 IP 网的设计理念。网络初始的功能很弱，全靠网络的后加功能，这就是“补丁式”的工作方式，实际效果是 “事倍功半”的。从用户的感觉上来说，IP 网还不错，工作了半个世纪，现在还在用，而且似乎到目前为止，没有技术可以取代。实际上很多“补丁”作用很差，甚至没有什么用处，最典型的是为了解决通信服务质量（QoS）的大量“补丁”。随着业务应用的开展，服务质量不能达到一定水平，业务和应用无法开展。为了网络能够用，在服务质量方面，没有少下功夫，典型的有 inter-serv（RSVP）、diff-serv 和 QoS 路由等种种“补丁”，起作用了吗？技术用上了吗？都没有。IP 网的 QoS 问题最后是依靠传输技术的高速发展，传输释放的技术红利巨大，用快速增长网络的传输速率来解决的。“马路宽了，车自然能畅行了”。再一个典型的例子是解决安全问题的种种“补丁”。IP 网既不可信，又不安全，终端干脆不要网络来提供安全能力了，而是端到端自行解决，从 IPSec、TLS、SSL 到 HTTPS 都是端到端的安全协议。对于网络，根本不知道信息是加密的还是不加密的，网络是没有主导权的，安全加密对网络来说是 OTT（over the top）。由终端主导安全其风险是很大的，固然端到端的信息因加密安全了，信息的完整性保存了，但人是有多重性的，当他受到了电信诈骗，当他受到了袭击，他就会要求相关部门来破案，如果信息是端到端加密的，加密信息是看不懂的，请问这时案件如何破。信息在传送过程可审计，是普通公民都需要的，显然这不是有终端主导的加密体系能够做到的，这是极大的弊病。认真考虑，以不断“打补丁”的方式发展网络，实际上问题很多。

另一种网络设计理念是从网络出发，以网络为核心和技术的责任主体。终端和业务应用干好自己的本质工作。网络提供用户所需的网络能力；用户只管使用网络，无须考虑更多网络上的技术问题，这样可以大大降低终端用户的使用网络的门槛。应该说，这是传统电信网的设计理念，移动通信网的设计也完全遵循这种设计理念，有大量成功的案例作为技术铺垫。从这个理念出发，网络需要分代发展，必须要有自上而下设计的顶层设计。网络的顶层设计是从需求出发的，既考虑现在用的业务和应用对网络的全部需求，还要考虑在近期的将来应用对网络的需求，需求是网络设计的基础。网络分代发展，需求明确、具体和可操作，才可能有明确的、可实现的网络技术；根据需求进行网络体系架构的设计，将网络需要向用户、终端、业务和应用所需求的在体系架构中设计进去，作为网络向外提供的能力。网络设计中就拥有的能力，称为“内生”的能力；在网络设计中“内生”的能力很重要，它可以有效提升整个通信信息系统的性能和效率，能够快速实现技术迭代和升级。网络的可信、安全是网络极为重要的性能和能力，整个通信信息系统的可信和安全应该由网络内生的能力保障。对照 IP 网的设计，IP 网在设计上是完全不考虑网络可信和安全问题的，IP 网络无法向终端提供可信和安全能力，终端只能自己来做，安全技术并不神奇，也就是在不同层面，采用端到端加密技术而已。这样一来，增加了设备的复杂度和对设备算力提出额外要求，大大提高整个系统的复杂度和成本。可信和安全是通信网必备的特性，网络提供安全可信能力，即网络具有内生的可信安全性。如果网络无此能力，需要终端或应用提供，或在网络（IP 网）外增加设备（即打安全补丁）。目前实际上就在这样做，并不好用，也难以解决长远的问题。但最大的问题是无法兼顾 “信息安全性和信息可审计性”的矛盾。要从根本上解决这个问题，必须在网络的顶层设计中，将网络的可信安全作为一个核心的能力设计在内，由网络提供信息通信系统中信息通信的安全可信。这就是网络内生

的可信安全，它源于网络的顶层设计。这里只讲了一个内生可信安全问题。其他还有内生的网络资源管控和服务质量保证问题、内生的网络确定性问题等。如果认真的想，所有这些内生的能力，只能在以网络为核心的设计理念下才能完成。

端到端通信的透明性是任何公用通信网络必须提供的性能。网络透明性和网络设备透明性是不同的概念，两者不可混淆。网络的透明性指的是用户通过网络传送信息是无阻碍、无损伤、透明的，用户信息的私密性和完整性是得到保证的，网络透明性不要求网络中的所有网元设备对用户透明（用户可见）。网络设备透明性即为网络中的网元对用户是透明的，网元对用户来说是可达的，用户可以直接对可达的网元设备作任意的操作。IP 网是网络设备透明、网络不透明的网络（由于 DPI 存在），这与 IP 网的原始设计及后续“补丁”有关。

3 网络的分代研究

数据网提供端到端的通信连接和数据传送，位于 OSI 模型的第三层。

第一代数据网建立在模拟传送技术的基础上，采用频分复用（FDM）的载波调制传输技术和模拟交换技术。工作特点是在进行端到端通信之前先建立连接，通信完成后需要拆除连接，是采用面向连接的工作方式，是在模拟网上传送数据的。

第二代数据网采用同步时分复用（time division multiplexing，TDM）技术。TDM 将提供给整个信道传输信息的时间分隔成时隙，并将时隙分配给每一路信号使用，每一路信号在自己的时隙内独占信道进行数据传输。基于时分复用的数据网，包括同步数字体系（SDH）、数字数据网（DDN）、综合业务数字网（ISDN）等。

第三代数据网采用了分组统计复用技术。典型技术为异步转移转移模式（ATM），它采用面向连接工作方式的分组交换技术，它以定长信元（5 byte＋48 byte）为一个数据分组，其中 5 byte 为分组头字段，48 byte 为数据载荷。ATM 能够满足语音、视频等多媒体业务服务质量要求。ATM 采用面向连接的工作方式，其所需的连接数和用户数之间存在 N^2 问题。

第四代数据网采用分组统计复用技术和不面向连接工作方式。IP 在传输数据时，将数据报文分为若干分片进行独立传输，报文的报头中带源地址和目的地址，网络内报文经过的节点，按路由表转发。数据分组长度可以不同，路由也动态生成。典型的网络技术是 X.25 的数据报和 IP 网。IP 的开放性、中立性和简洁的技术体系，成为了现代通信的基础协议。由于 IP 网原设计除了提供泛在的通达能力和尽力而为的传送能力，其余的事情都不管，交终端和业务应用自行解决。目前不论是互联网还是电信网全都 IP 化了，网络 IP 化后，遇到了很多需要解决的问题。特别是安全问题和服务质量问题，严重影响到互联网和电信网的发展，目前依靠网络技术不停地打补丁和快速扩展网络带宽来适应发展的需要，但越来越难了。

第五代数据网，即下一代网会发生很大的改变，首先其网络设计理念是从网络出发，以网络为核心和提供网络能力的责任主体和主导者。网络的能力应该由网络提供，大量网络能力应该是内生的网络能力。网络提供用户所需的网络能力仍采用基于统计复用的分组数据技术，但必须引入新的设计理念和新的设计思想，提高网络的性能和能力，解决目前网络存在的问题。

4 网络 5.0

网络 5.0（即第五代网络）的设计将以网络为核心，有完整的网络顶层设计，是自上而下体系化的设计网络。应该由网络提供的能力，完全由网络来提供。用户只管使用网络，无须考虑更多网络上的

技术问题。第五代网络拥有大量网络内生的能力，所谓网络的内生能力就是网络在设计中已经设计了并且由网络来提供的能力。在网络应该具备的内生能力中，内生可信和安全，内生的网络资源感知、调配和管控，内生网络性能和能力的确定性等，是目前确定的最重要的能力。

4.1　内生可信和安全

网络作为信息通信系统可信和安全的责任主体，由网络内生的能力保证信息通信系统的可信和安全。网络内生的可信和安全由如下两部分组成。

其一为可信标识的规划、论证、授信和解析体系，包括可信标识、可信标识载体、可信标识的论证和授权（开启）、可信标识的端到端传递、可信标识的溯源和可信标识的解析体系等。

其二为全程端到端网络信息安全传递体系，其中包括端到端数据转发可信安全机制、端到端可信安全控制信令机制和可信安全的网络管理机制，还包括网络设备抗毁、抗资源汇聚和抗攻击（DDoS）等网元节点的可信安全机制。

端到端的网络全程由非可信区、可信区和缓冲区组成。

网络的非可信区有三段，第一段是用户终端到网络可信区的边缘，第二段是业务服务器或云化数据中心到网络可信区的边缘，第三段是运营商之间的连接段。要确保网络的端到端的安全可信，除了要确保可信区的通信是可信的，缓冲区保证可信区不受攻击，还需要将非可信区段改造成可信安全的信道。基本的技术思路是，网络非可信区通过建立可信隧道，确保信息传递的安全可信；可信隧道建立在可信锚点和加密机制的基础之上；因为基于谁运营谁负责的国际通用惯例，可信锚点设在运营商侧，由网络运营者管理，以保证运营者的“责权利”一致和可操作。

网络可信区是指单一网络运营商拥有的网络部分，它是运营商网络的主体。在该区域内的所有网元设备用户是不可达的，用户不可达当然也就无从攻击，从这个意义上来说，可信区内的网元是安全的，控制面、管理面和数据转发面均是安全的，无须采用加密技术保证安全，因此内容审计就容易做了，从而很好地兼顾了信息安全和信息审计问题。

网络可信区和网络非可信区中间有一个过渡的缓冲区，设备称为边缘设备，由于该边缘设备是用户可见的，因此用户是可以攻击的，为了网络的安全，该设备将采用可信网元的架构，同时网络的可信区和非可信区控制面信令在此转换，采用 UNI/NNI 的架构；网络的可信区和非可信区数据转发转换在此实现，以确保用户无法攻击网络可信区内的所有网元，包括控制网元、管理网元和数据转发网元。在边缘设备中，还具备抗攻击资源汇聚（抗 DDoS 攻击技术）能力。

4.2　网络内生的网络资源感知、调配和管控

网络的资源管控从来就是网络的内生能力，即使在采用以终端和业务应用为核心设计网络的设计理念时，终端或应用也只能从自身要求出发对网络提出需求，资源感知、配置和管控能力还是需要网络来提供的。只是需求是分散和割裂的，没有整体考虑，表现出来的结果是，以网络不断“打补丁”满足需求，结果“事倍而功半”。更成问题的是，由于终端或应用方面的专家对网络清楚，提出需求违背网络基础理论而不可实现的。IP 网是终端和业务应用为核心设计的网络，在对网络资源的感知、配置、管控等方面，做了一系列的工作，提出诸如 inter-serv（RSVP）、diff-serv 和 QoS 路由等“补丁”，起作用了吗？技术用上了吗？都没有。IP 网的 QoS 问题最后是依靠传输技术的高速发展，传输释放的技术红利巨大，用快速增长网络的传输速率来解决的。

网络技术有一套完整的理论体系，网络设计必须尊重该理论体系。理论突破和技术发明是建立在坚实的理论基础上的，否则将“事倍功半”。分组数据网是建立在数据分组的基础上，提供统计复用实现多用户间通信的。分组数据网有两者

工作方式（只有数据网具有两种工作方式，其他网络均为面向连接网络）：面向连接的工作方式和不面向连接的工作方式。采用面向连接的工作方式的数据网，在网络资源的感知、配置、管控等方面做起来很方便，原因是在进行数据通信前，必须首先要建立连接，只要是采用面向连接工作方式，不管是采用管理平面实现连接和相关资源的配置，还是采用控制平面的信令实现资源的协商、配置和管控，都是不成问题的。从这个意义上说，采用面向连接工作方式，网络就已具备网络资源的内生感知、配置和管控能力。面向连接工作方式，建立的连接称为虚电路，由于通信连接要考虑端到端，所以会存在端用户数和端间连接数的 N^2 问题，还要管理大量的状态，这是一个很大的问题，它将严重影响网络的可扩展性。这也是导致设计非常完备的分组数据网 ATM 最终没有用起来的根本原因。

真正问题大的是采用不面向连接的工作方式的数据网，由于在线用户之间的通信，可以随时进行，无须建立连接，连接数是 N 问题，而且无须管理连接的状态，由此导致网络的可扩展性极好，几乎可以无限扩展，设计非常不完备的分组数据网 IP 最终大行其道，构成了史无前例的国际大网。在不面向连接的工作方式的数据网中，数据报文的转发是依靠报文中的地址，类似邮局中的邮件投递，邮件在投递过程中经过几个邮局或经过哪几个邮局是不确定的，其走的路由是动态的。数据报文是否经过某节点是不确定的，那么节点的资源感知有意义吗？资源配置有意义吗？可见，如果没有设计理念上的创新，不面向连接的工作方式下，要实现网络资源的感知、配置、管控问题，其困难极大。这也是 IP 网 50 年未能克服的问题。

不面向连接的工作方式下，网络的内生资源感知、配置和管控是一套复杂的体系，涉及确定性和非确定性路由和路由规划；资源分片和业务分类资源管理；链路资源感知（阈内：粗放管理；阈外：精细管理）和队列管理；接入资源管理和端到端资源管控信令；随机、随路 OAM 等。

4.3 内生网络性能和能力的确定性

网络的确定性是网络的一个重要特性，是网络必须向用户、终端或应用提供的能力和服务。即使是 IP 网，也要向用户提供一定的确定性。如 VoIP 网络，时延不能超过 400 ms，否则用户就不可接受，业务也无法开展，好在这个确定性要求不高，网络容易满足。IP 网的设计原则是具有可靠的通达性和“尽力而为”的传送能力，确定性问题不在它考虑范围。直到目前应用和业务提出了明确的确定性要求，IP 网络设计者又在考虑“补丁”，以解决燃眉之急。

目前网络的确定性还主要集中在讨论“时延的确定性和时延抖动的确定性”上，从理论上讲，两者是有一定关联的，都与时延相关。时延指的是分组报文从源端到接收端所需的时间，传输时延和节点时延是网络时延的主体组成部分。由于报文长度不一，节点中的报文队列长度不一，因此报文时延是非确定值，由此产生时延的差值为“时延抖动”，主要是节点时延导致的。由于节点设备性能的提高，节点时延获得大幅度改善，通常可在 1 μs 以内。在大部分业务和应用中，已不是大问题了。相对而言，“时延抖动”成了目前关注的确定性问题的重点。如通信网中的节点同步，工业互联网中的流程同步等都主要关注“时延抖动”。由于基于统计复用的分组数据网中的不确定因素太多，路由不确定、分组长度不确定、节点队列长度不确定等，因此“时延抖动”要求很高的场景，其解决方案基本上回归到“时隙调度”和时隙交换的时分复用，FlexE、FlexO 等粗粒度时隙调度而成的“虚电路”是目前的热点。尽管在实现上，可以有基于管理面结合交叉连接设备或通过控制面的控制信令结合时隙交换设备两种方式，但本质是面向连接的。当然，还可以

在该“虚电路”上，通过分组复用实现不同层次、不同品质的复用，但无法克服“面向连接”带来的 N^2 问题。因此仅时延确定性，就是一篇大文章。此外，还有路由的确定性、网络资源的确定性、网络安全和可信度的确定性、网络能力和性能的确定性等，有大量的研究内容。

5　结束语

世界正在快速进入一个万物感知、万物互联、万物智能的数字化智能社会。激发出丰富的业务需求，数据网络的触角从服务行业逐渐延伸到农业生产、工业制造和交通运输等传统行业的每个角落。产生于 20 世纪的 TCP/IP 体系越来越暴露出架构上的不足，难以支撑数字化智能技术革命浪潮。本文全面审视数据网络技术，提出数据网络技术分代发展的研究思路。

参考文献：

[1] 5.0 产业和技术创新联盟. 网络 5.0 技术白皮书[R]. 2019.
5.0 Industry and Technology Innovation Alliance. Network 5.0 technology white paper[R]. 2019.

[2] 杜治龙. 分组交换工程[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1993.
DU Z L. Packet switching engineering[M]. Beijing: Posts & Telecom Press, 1993.

[3] ITU. Interface between data terminal equipment (DTE) and data circuit-terminating equipment (DCE) for terminals operating in the packet mode and connected to public data networks by dedicated circuit: ITU-T X.25[S]. 1976.

[4] ITU. Packet-switched signalling system between public networks providing data transmission services: ITU-T X.75[S]. 1978.

[5] ITU. International numbering plan for public data networks: ITU-T X.121[S]. 1978.

[6] ISO. Intermediate system to intermediate system intra-domain routeing exchange protocol for use in conjunction with the protocol for providing the connectionless-mode network service(ISO 8473): ISO DP 10589[S]. 1990.

[7] 樊昌信. 通信原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 1980.
FAN C X. Principle of communication[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 1980.

[8] 蒋林涛. 互联网引入带来的机遇与挑战[J]. 电信科学, 2008, 24(1): 1-6.
JIANG L T. Chance and challenge from importing internet[J]. Telecommunications Science, 2008, 24(1): 1-6.

[9] 蒋林涛. 移动互联网中的若干问题研究[J]. 中兴通讯技术, 2013, 19(6): 1-4.
JIANG L T. Issues related to mobile internet[J]. ZTE Technology Journal, 2013, 19(6): 1-4.

[10] 蒋林涛. 下一代网络技术的研究[J]. 电信网技术, 2015(10): 19-23.
JIANG L T. Research on next generation network technology[J]. Telecommunications Network Technology, 2015(10): 19-23.

[11] 蒋林涛. 数据网的现状及发展方向[J]. 电信科学, 2019, 35(8): 2-15.
JIANG L T. Current situation and development trend of data network[J]. Telecommunications Science, 2019, 35(8): 2-15.

[作者简介]

蒋林涛（1946– ），男，中国信息通信研究院科学技术委员会主任，工业和信息化部通信科技委员会常务委员，长期从事多媒体技术、数据通信网、IP 网络技术的标准研究和系统开发工作。1992 年获得国务院颁发的政府特殊津贴，1996 年获得“中华人民共和国有突出贡献的中青年科学技术专家”称号。