

国际电信联盟

ITU-T

国际电信联盟
电信标准化部门

Y.3021

(01/2012)

Y系列：全球信息基础设施，
互联网的协议问题和下一代网络
下一代网络 – 未来网络

未来网络的节能框架

ITU-T Y.3021 建议书

ITU-T

ITU-T Y 系列建议书
全球信息基础设施、互联网的协议问题和下一代网络

全球信息基础设施	
概要	Y.100–Y.199
业务、应用和中间件	Y.200–Y.299
网络方面	Y.300–Y.399
接口和协议	Y.400–Y.499
编号、寻址和命名	Y.500–Y.599
运营、管理和维护	Y.600–Y.699
安全	Y.700–Y.799
性能	Y.800–Y.899
互联网的协议问题	
概要	Y.1000–Y.1099
业务和应用	Y.1100–Y.1199
体系、接入、网络能力和资源管理	Y.1200–Y.1299
传输	Y.1300–Y.1399
互通	Y.1400–Y.1499
服务质量和网络性能	Y.1500–Y.1599
信令	Y.1600–Y.1699
运营、管理和维护	Y.1700–Y.1799
计费	Y.1800–Y.1899
运行于NGN的IPTV	Y.1900–Y.1999
下一代网络	
框架和功能体系模型	Y.2000–Y.2099
服务质量和性能	Y.2100–Y.2199
业务方面：业务能力和业务体系	Y.2200–Y.2249
业务方面：NGN中业务和网络的互操作性	Y.2250–Y.2299
编号、命名和寻址	Y.2300–Y.2399
网络管理	Y.2400–Y.2499
网络控制体系和协议	Y.2500–Y.2599
未来的网络	Y.2600–Y.2699
安全	Y.2700–Y.2799
通用移动性	Y.2800–Y.2899
运营商级开放环境	Y.2900–Y.2999
未来网络	Y.3000–Y.3099

如果需要进一步了解细目，请查阅ITU-T建议书清单。

未来网络的节能框架

摘要

ITU-T Y.3021建议书阐述了未来网络（FN）的节能框架。本建议书首先介绍了网络本身的内部节能需求，回顾了潜在的节能技术。接下来，建议书确定了各项主要功能及其相互间的循环互动，分析了推广某些节能技术可能产生的影响并逐项列出了引入这些技术的高层要求。

历史沿革

版本	建议书	批准日期	研究组
1.0	ITU-T Y.3021	2012-01-13	13

前言

国际电信联盟（ITU）是从事电信领域工作的联合国专门机构。ITU-T（国际电信联盟电信标准化部门）是国际电信联盟的常设机构，负责研究技术、操作和资费问题，并且为在世界范围内实现电信标准化，发表有关上述研究项目的建议书。

每四年一届的世界电信标准化全会（WTSA）确定ITU-T各研究组的研究课题，再由各研究组制定有关这些课题的建议书。

WTSA第1号决议规定了批准建议书须遵循的程序。

属ITU-T研究范围的某些信息技术领域的必要标准，是与国际标准化组织（ISO）和国际电工技术委员会（IEC）合作制定的。

注

本建议书为简明扼要起见而使用的“主管部门”一词，既指电信主管部门，又指经认可的运营机构。

遵守本建议书的规定是以自愿为基础的，但建议书可能包含某些强制性条款（以确保例如互操作性或适用性等），只有满足所有强制性条款的规定，才能达到遵守建议书的目的。“应该”或“必须”等其它一些强制性用语及其否定形式被用于表达特定要求。使用此类用语不表示要求任何一方遵守本建议书。

知识产权

国际电联提请注意：本建议书的应用或实施可能涉及使用已申报的知识产权。国际电联对无论是其成员还是建议书制定程序之外的其它机构提出的有关已申报的知识产权的证据、有效性或适用性不表示意见。

至本建议书批准之日止，国际电联尚未收到实施本建议书可能需要的受专利保护的知识产权的通知。但需要提醒实施者注意的是，这可能并非最新信息，因此特大力提倡他们通过下列网址查询电信标准化局（TSB）的专利数据库：<http://www.itu.int/ITU-T/ipr/>。

© 国际电联 2014

版权所有。未经国际电联事先书面许可，不得以任何手段复制本出版物的任何部分。

目录

页码

1	范围	1
2	参考文献	1
3	定义	1
3.1	其它文件定义的术语	1
3.2	本建议书定义的术语	1
4	缩写词和首字母缩略语	2
5	排印惯例	3
6	引言	3
6.1	背景和动机	3
6.2	需要考虑的生命周期各阶段及其能耗水平	4
7	回顾各项节能技术	4
7.1	技术清单及其所属层面	4
7.2	装置层技术	5
7.3	设备层技术	6
7.4	网络层技术	8
8	节能方面的考虑	11
8.1	本建议书针对的领域	11
8.2	节能方法	11
8.3	控制流量动态控制装置和/或设备的操作	13
8.4	使用更少的功率前转流量	13
8.5	独立技术的分类	14
9	可能的功能及其互动	15
9.1	可能的功能	15
9.2	各项功能的组合模型	17
10	节能的影响分析	18
10.1	对网络性能的影响	18
10.2	对业务配置的影响	19
11	高层要求	19
12	环境考虑	20
13	安全考虑	20
	参考资料	21

未来网络的节能框架

1 范围

本建议书：

- 阐述了节能的必要性，
- 回顾了各项具备潜能的技术，
- 确定了需要考核的多种观点，
- 确定了主要功能及其相互间的循环互动，
- 分析了推广相关技术可能产生的影响，并
- 逐项列出了高层要求；

从而实现因未来网络（FN）的推广而提出的网内节能目标。

尽管本建议书中的说明是基于对未来网络目标和设计的全面认可[ITU-T Y.3001]，但其中阐述的框架和想法亦可适用于非未来网络。

2 参考文献

下列ITU-T建议书和其它参考文献的条款，通过在本建议书中的引用而构成本建议书的条款。在出版时注明的版本为有效版本。所有建议书和其它参考文献均会得到修订，本建议书的使用者应查证是否有可能使用下列建议书或其它参考文献的最新版本。当前有效的ITU-T建议书清单定期出版。本建议书引用的文件自成一体时不具备建议书的地位。

[ITU-T L.1400] Recommendation ITU-T L.1400 (2011), *Overview and general principles of methodologies for assessing the environmental impact of information and communication technologies.*

[ITU-T Y.3001] Recommendation ITU-T Y.3001 (2011), *Future networks: Objectives and design goals.*

3 定义

3.1 其它文件定义的术语

本建议书使用其它文件定义了下列术语：

3.1.1 未来网络（FN） [ITU-T Y.3001]：能够提供现有网络技术难以提供的业务、功能和设施的网络。

3.2 本建议书定义的术语

本建议书对下列术语作出了定义：

3.2.1 装置：用于实施规定职能的实际要素或要素集合。

3.2.2 网内节能：通过对网络能力及运行方式的配置，系统性地有效利用网络设备的总能源，从而达到与缺乏此类能力和运行方式的网络相比，降低能耗的目的。

注 – 网络设备包括路由器、交换机、光网络单元（ONU）等终接点设备、归属网关，以及负载均衡器和防火墙等网络服务器。网络设备通常包含各种组件，例如交换设备、线路卡、供电和冷却单元。

3.2.3 设备：为执行某项特定任务由一套装置组合在一起形成的物理实体。

3.2.4 网络能效：网络总吞吐量与能耗的商。

注 – 通常用bps/W表示。

4 缩写词和首字母缩略语

本建议书使用以下缩写词和首字母缩略语：

ALR	适配链路速率
BTS	基站
CAM	内容可寻址存储器
CAPWAP	无线接入点的控制和配置
CDN	内容交付网
CPU	中央处理器
DDoS	分布式拒绝服务
DPD	数字预失真
DVS	动态电压调配
FN	未来网络
GHG	温室气体
HVHBT	高压异质结双极性晶体管
ICT	信息通信技术
LSI	大规模集成
MIMO	多入多出
MPLS	多协议标签交换
NIC	网络接口卡
ONU	光网络单元
PA	功率放大器
PC	个人计算机
SINR	信干和信噪比
SISO	单入单出
SLA	服务层协议
SRAM	静态随机接入存储器

UE 用户设备
WLAN 无线局域网

5 排印惯例

无。

6 引言

6.1 背景和动机

正如未来网络设计目标所确定的那样，节能是信息通信技术（ICT）领域的一项重大问题[ITU-T Y.3001]。未来网络发展的基本目标之一是展示环保意识，而这可通过节能技术来实现。以往，对节能的研究旨在让用户或公司更加受益，例如降低能源成本和针对稳定的机器运转状态进行温度管理。

由于网络设备更广泛地使用以及随之而来的能耗增加，使这些问题的重要性持续升温。另外，从社会角度支持减少温室气体（GHG）也显得愈发重要。这些问题将来会变得更加重要。因此，本建议书对潜在节能技术及其协调操作开展了研究，以此为节能和各种其它目标贡献一份力量。

为实现降低给环境造成的负面影响，ICT通常分为两类，即“ICT助力绿色发展”和“绿色ICT”。“ICT助力绿色发展”是指利用ICT降低非ICT行业对环境产生的影响。“绿色ICT”是指降低ICT本身对环境产生的影响，例如削减个人计算机（PC）、服务器和路由器的耗电量。因此，未来网络为降低环境影响所做贡献，可归为以下两类。

– 未来网络助力绿色发展

利用未来网络降低非ICT行业对环境所产生影响方面面临的挑战。

未来网络必须成为降低其它行业对环境产生影响的有益工具。为智能配电网设计的网络构架及用于监测环境变化的泛在传感网络，可视作“未来网络助力绿色发展”的示例。

– 绿色未来网络

降低未来网络对环境的影响方面面临的挑战。

未来网络的一项基本原则是其必须将对环境的影响降至最低。如上文所述，使用这些网络可为降低其它行业对环境的影响提供手段。但这样做的同时，也会增加网络流量，从而增加网络能耗，加剧对环境产生的影响。降低诸如路由器、交换机和服务器等网络设计的能耗，是“绿色未来网络”所做贡献的直观范例。

各项问题均很重要，但本建议书侧重研究“绿色未来网络”，即网络自身的节能问题，因为随着应用和网络数量的上升，网络能耗在迅速飙升。

6.2 需要考虑的生命周期各阶段及其能耗水平

为降低能耗，重要的是对生命周期各阶段的能耗加以分析。在生命周期管理过程中，通常会分析以下阶段（例如，[ITU-T L.1400]中的内容）：

- 生产（为目标产品准备原材料和组件）；
- 制造；
- 使用；
- 处理/回收。

对网络而言，第一阶段，即生产阶段要为小型电子装置准备原材料以及设备的构成组件。第二阶段，制造阶段包括利用设备搭建网络。在网络建设过程中，设备相关部分被从制造商的厂址运至建设地点。第三阶段，使用阶段，是指设备的运行。在网络服务期的末段，包括全部设备在内的网络将在第四阶段，即处理/回收阶段得到处理和/或回收。生命周期管理就是要对所有这些阶段加以考虑。但对网络而言，第三阶段，即使用阶段是考虑的重点，因为在“使用”阶段能耗通常是永远处于开机状态的网络设备面临的主要问题，在该阶段可通过网络构架、处理能力和运行控制能源消耗。

网内节能包括多种技术。仅依赖一种技术不切实际。使用阶段，在考虑三个层面的同时应考虑到其相关技术，即装置层、设备层和网络层的技术。

- 装置层
适用于大规模集成（LSI）装置和内存等电子装置的技术。
- 设备层
适用于路由器或交换机等单独设备（一套装置）的技术。
- 网络层
适用于整个网络内设备的技术（例如，适用于多个路由器的路由协议）。

各种技术被归入各个层面，其组合方式将发生变化与演进。未来网络应采纳这些技术并灵活地应用其发展和演进后的产品，以提升节能效果。

7 回顾各项节能技术

7.1 技术清单及其所属层面

基于第6段所述三个层面，各种潜在技术可归为以下几类：

- 装置层技术
LSI 精密加工、多核中央处理器（CPU）、时钟脉冲门、功率敏感型虚拟内存、高级功率放大器（PA）。

- 设备层技术
光网络节点、睡眠模式控制、ALR/DVS、热设计、高速缓存服务器、滤波、抱歉服务器、整形、袖珍基站（BTS）、智能天线技术、中继台站
- 网络层技术
电路/猝发交换、基于能耗的路由/流量工程、轻权协议、传输时间安排、内容交付网（CDN）、流量高峰转换、小蜂窝设计、能耗敏感型网络规划。

第7.2至7.4段，概要阐述了装置、设备和网络层的各项技术。随着实施技术的发展，将来此分类可能会发生变化。

7.2 装置层技术

7.2.1 LSI 精密加工

对特定功能和/或性能而言，LSI流程越精简，则其尺寸便越小。鉴于LSI 精密加工支持降低驱动电压，其可指数级的降低驱动电压产生的功耗。迄今为止，改善的比例每年以30%的速度递增，但近来由于峰值电流的增长，这一增长速率开始下降。有些LSI制造商正想方设法解决降速问题，以提高发展速度。

7.2.2 多核CPU

此项技术将在单一处理器套件内安装多个CPU核。对特定任务而言，使用多个低规格CPU通常要比使用一台高规格CPU要节省功率，造成此现象的原因是电子装置的硬件特性。这意味着能耗通常与所用时钟频率成正比，而多个CPU通常在能耗方面具有更大优势。此外，如果所需性能很高且一台CPU无法实现，则使用多个CPU就成了必然之选。

此外，多核CPU可与时钟脉冲门（参见第7.2.3段）和睡眠模式控制（参见第7.3.2段）等动态控制技术共用。这些技术控制了多个核心CPU的功率供给和时钟速率，从而使所需最低数量的CPU能够以最低时钟速率运转。如果这两个CPU参数，即有源CPU的数量及其时间速率可根据负载水平得到充分控制，则可实现节能。

7.2.3 时钟脉冲门

此项技术可在没有必要任务时，终止向LSI及电路提供时钟服务。停止提供显式时钟服务的时间越长，节能越多。问题在于如果时钟“ON”和“OFF”状态间的切换过于频繁，则由于切换所需额外能源，降低了节能水平。

7.2.4 功率敏感型虚拟内存

此技术通过控制取决于实际需求和使用状态的有源内存，实现对内存能耗的优化 [b-Huang]。从节能角度来看，此项技术用于网络节点的缓冲内存和高速缓存。

7.2.5 高级功率放大器 (PA)

此类功率放大器适用于无线网络的基站并可大幅提高效率，现有商用技术很难达到这一目标。鉴于无线网络中功率放大器在基站的总能耗中占很高比例，因此使用高效功率放大器可降低能耗[b-ATIS]。高级PA应考虑到电路应用、组件选择和流程创新问题。此项技术的示例包括数字预失真 (DPD) 和高压异质结双极晶体管 (HVHBT)。当功率放大器出现失真时，DPD在功率放大器失真的相反方向输出失真，从而消除失真现象。HVHBT是用于提升效率的一种高级芯片装置。

7.3 设备层技术

7.3.1 光网络节点

此技术旨在为网络节点的传输接口和/或交换设备提供节能的光技术。与电子网络节点相比，光网络节点拥有很大的处理能力，其速率达到Tbps或更高。这能够大幅提高网络能效[b-Klein]。此改进是基于节点内外大量的流量聚合。但问题是如果流量分散，则无法实现提高能效。

全光分组交换可提升网络能效，因为它不需要光电和电光转换，在网络节点中这种转换需要消耗大量能源。但此方法仍然很难大规模实际应用，其主要困难在于光信号不易记忆。

7.3.2 睡眠模式控制

此项技术将设备和功能在不用时转入“睡眠”模式，以节约能源。在设备层面，其主要针对的是有些网络内的路由器和交换机，无线网络中的无线基站和移动设备，其中睡眠模式控制通常用于设备和网络接口。节能效果取决于流量的动态变化。最大与最小流量间的差异越大，节能的效果就越好。其原因是：不使用能耗睡眠模式控制的设备，能耗几乎是恒定的，其能耗取决于容纳的最高流量。在使用睡眠模式控制时，如果在特定时段平行路径上的流量小于最高流量，则某些流可动态集中入一条路径，而与此路径无关的设备则可进入睡眠模式。降低能耗的可能数量，取决于最小流量。

在有线网络中，使用此技术最大的障碍在于，即使是在无流量的情况下依然存在那些数量虽小但很重要的常规控制流量，例如路由信息。因此处理控制流量的方法是一个问题。一种方案是建立“代理”，由其在任何网络节点处于睡眠状态时负责维持网络的存在，对常规网络流量而非网络节点自身做出响应。此项技术的详细信息请参见ENERGY STAR计算机规范版本5.0 [b-ESTAR1]。睡眠模式控制的示例之一是由节能以太网任务组开发的节能以太网协议[b-IEEE P802.3az]。另一示例为L2节能模式（例如，低耗能模式）与ADSL2和ADSL2plus技术的结合。

另一方面，在无线网络中，睡眠模式控制软件和睡眠模式操作分别被用于无线基站和移动装置的节能。在无线基站系统中，睡眠控制软件关闭（停用）观测小区低流量模式的频段或关闭整个无线基站。在睡眠模式操作期间，移动装置在睡眠和收听状态间切换。在睡眠状态下，移动装置关闭电池，不与其对应的无线基站联络。在收听状态下，移动装置检查服务无线基站是否出现唤醒消息。

7.3.3 自适应链路速率 (ALR) 和动态电压调配 (DVS)

这是一种网络设备的节能操作模式。ALR根据其所处理流量的多少控制链路速度（例如，比特率）。DVS根据其所处理流量的多少控制CPU、硬盘、网络接口卡（NIC）等的驱动电压。此技术的问题在于如何处理突发流量（例如，响应时间应有多快，频率变化的效率应有多高）。

7.3.4 热设计

在网络节点内，冷却系统消耗了大量能源，这就意味着改进节点的热设计能够节约能源。这一课题同样适用于数据中心场地存在多节点的情况。

7.3.5 高速缓存服务器

通过此项技术，内容可使用高速缓存来减少重复和非关键性的流量，其道理在于多个用户会使用的内容相同或单一用户多次使用同一内容。此项技术的益处与降低带宽相呼应。该技术发挥效力的前提是高速缓存服务器内，存在相关内容拷贝的概率很高。此技术的问题在于，如果内容拷贝存在的概率低，则服务器需要检查内容的可用性，并在此后经常访问原服务器。鉴于此功能需要执行额外的任务并需要更多服务器，因此可能会消耗更多能源。所以，考虑到概率，有必要通过控制服务器的操作来降低能耗。

7.3.6 滤波

此项技术会阻止非基本数据或有效数据的传输，例如过度使用保持活跃状态的消息或重复发送用户消息。此项技术的另一示例包括入侵防护系统，亦称为入侵检测和防护系统。通过监管网络流量和/或恶意活动，该技术能够主动预防/阻止遭受的入侵，例如分布式拒绝服务（DDoS）攻击。这些操作可降低流量，减少原本有必需的相应能耗。

7.3.7 抱歉服务器

本服务器将提供一种替代响应或“抱歉的理由”，通知用户其请求的服务因业务暂时拥塞等原因不可用。根据该响应，有些用户可能会转移时间轴上的峰值业务或放弃其需求，从而降低最大流量，节约能源。

为全面了解此过程，亦应说明收到该信息的实体所采取的行动。例如，该实体可能在特定时段内不重发请求。

7.3.8 整形

此技术将数据包的输出速率控制在潜在链路速率以下。由于其控制并降低了最高数据速率，因此能够节省后续按最高数据速率运转的节点的能源。此项技术的主要问题是可能加长等待队列所产生的延迟。

7.3.9 袖珍基站 (BTS)

此基站系统旨在节约能耗降低成本。与现有陆基BTS和分布式BTS不同，袖珍BTS不需要地面遮蔽场所和冷却设备，因此耗能更少、价格更低、安装成本更廉。此外，它们能够支持高性能的功能，例如，每个扇区使用具备多入多出 (MIMO) 功能的多个天线和波束整形 [b-Fili]。

7.3.10 智能天线技术

智能天线技术，例如MIMO，属于智能信号处理算法，其在发射机与接收机端均使用由多个天线构成的天线阵，用以提升无线通信的性能。鉴于它们能够控制信号接入或发射的方向性，降低其它信号的干扰，因此与单入单出 (SISO) 系统相比，可在相同发射功率预算和误码率要求的情况下支持更高的数据速率。例如，在合作发射技术中，多个基站相互合作，使用相同频段发射单个或多个MIMO流，通过提高信干和信噪比 (SINR) 承诺在提升频谱效率方面带来潜在的益处。特别是，分布式天线系统能够放大重叠或近似重叠蜂窝覆盖区的覆盖范围。这些基于智能天线的技术可在无线网络实现节能 [b-ATIS][b-Cui]。

7.3.11 中继台站

中继台站是一种发射机，负责将基站信号中继或接续至始发台站信号无法覆盖的区域。无线网络的中继台站不仅能够提升性能，还具备节能的潜质，其原因在于源代码与目的地代码间建立了更多连接，且数据可通过中继节点的多条无线链路提供。这意味着每条链路均有独立的衰减频道，因此或可提升分集增益与频谱效率。所以，发射固定数量数据的时间被缩短，从而节约了能耗。

7.4 网络层技术

7.4.1 电路交换和猝发交换

电路交换比分组交换耗能少的原因在于其机制简单，不需要消耗能量的、主要用于分组路由的SRAM和CAM等内存装置。即使是现在，上报的案例报告亦指出分组路由占路由器总能耗的37% [b-Baliga]。这意味着电路交换，由于不需要分组路由功能，可以节省功率。电路交换对视频流等未来将大幅增长的连续性业务而言，特别有效。此技术的问题在于，它无法实现分组层面的统计复用，从而可能会降低链路的使用和网络能效。众所周知，电路交换中的每条链接均会占用线路。即使一条连接中的流量分散，其它连接仍然不能使用剩余资源。

猝发交换亦能节约核心路由器的能耗。此项技术的特性是数据包在边缘路由器被聚合成猝发数据。因此，利用猝发，该机构能够减少核心路由器计算各数据包报头操作的数量 [b-Kim]。光网络中使用的一种猝发交换变形被称为光猝发交换。这种交换的目的是通过统计复用改善网络的使用。此项技术的特性是，通过对数据包的控制，保留带宽用于传输前的猝发。就带宽使用而言，其效率远高于光电路交换的原因就在于，与光电路交换相比其设置的次数大幅降低。此外，与光数据包交换网相比，它明显降低了处理操作的数量与核心网的能耗 [b-Peng]。此项技术的问题在于其网络性能受猝发组合机制的影响。

7.4.2 基于能耗的路由和流量工程

此技术为路由/流量工程技术，专门用于控制流量的路由，以尽量降低全网能耗。此技术可能包含的流量处理功能包括流量聚合、多径路由和网络编码。该技术假设网络节点能够提供第7.3段所述睡眠模式或ALR/DVS功能。当睡眠模式功能可用时，此技术将流量聚合至一系列有限的路由，允许未使用的节点或链路进入睡眠模式，从而避免浪费不必要的能源。在ALR/DVS功能可用时，此技术将流量分配至多个路由，使各节点处理的流量尽量少，让链路速率和电压达到够用状态，从而避免浪费能源。此项技术的问题在于如何处理流量变化问题。

当网络编码功能可用时，此技术通过在中间网络节点将独立数据包以编码方式加入编码后的数据包，来降低传输数据包的数量。因此，此方法能够降低能耗[b-Nagajothy]。在无线传感器网络中，此技术至关重要。

7.4.3 轻权协议

此项技术审查某项协议与其它层协议的共同使用，并通过对使用的优化实现网络总体协议处理的轻权。它包括具体网络协议的简化程序。通常，目前存在两种方法。一种是通过较低层传输数据流量，通常这种方法更加简单且权重轻。这种方法可能适用于核心网等专用领域。另一种方法是让协议或协议的使用简化。前者包括标签交换，例如IP层内实施的多协议标签交换（MPLS）。后者包括融合，其手段为将IP能力从接入网扩展至回程网，以便将全部IP网络连接作为一个公共平台[b-ATIS]，修改TCP以完善重传算法，使用可降低无线局域网（WLAN）信令开销的无线接入点的控制和配置（CAPWAP）协议 [b-IETF CAPWAP]。此技术能够减少网络节点不必要的功能，从而达到节能目的。

7.4.4 传输时间安排

此技术旨在减少网络节点必须运行或实施的缓存数量。它控制了数据包传输的数量和时机，以便尽量降低各节点的输出等待时间，以减少运行缓存数量的方式实现节能。此项技术的问题在于，如果控制未能达到设计的缓存容量，则数据包的损失比会出现恶化。如果时间安排出现问题，虽然多数据包将到达节点，但其中有些可能超出了缓存的设计容量。为避免数据包损失，可能会要求在目标节点外为传输时间安排提供额外的网络资源。与整形（clause 7.3.8）不同的是，整形在节点中独立操作以降低流入的最大流量，而传输时间安排与多个节点合作，通过控制各节点数据包传输的方式避免网内拥塞。

7.4.5 内容交付网 (CDN)

这是一种专为交付内容设计的优化网络。经优化的CDN能够节能的原因是，它能够接入与始发服务器靠近的服务器，从带宽和距离的角度节约资源，从而实现节能[b-Klein]。此项技术的问题与高速缓存服务器相同；即如果概率不高的话，此技术并不十分有效。

7.4.6 流量高峰转换

此项技术尽量将流量峰值传输融入时间轴。它可以降低需容纳的最高流量，然后降低取决于最大流量的总功耗。一种有针对性的方法是，在峰值时段，事先把常用内容分配给主要的高速缓存服务器。

7.4.7 小蜂窝设计

此项技术引入了更小的蜂窝（微蜂窝、微微蜂窝和毫微微蜂窝），为诸如市区、购物中心、机场、校园、大型办公室等对移动业务需求高的场所服务，分担宏蜂窝流量的负载。就各蜂窝而言，显然小蜂窝所需数据流发射功率要低于宏蜂窝，因为无线信道的功率损耗与传播距离 d^α 成正比，其中 α 为路径损耗指数。鉴于上述原因，此方法可从无线电信号发射方面节能。但是，如果同时考虑到静电、电路供电、站点冷却用电以及发射用电，则小蜂窝设计并非总是一种节能设计[b-Chen-a]。因此，只有将宏蜂窝与微蜂窝结合，对优化蜂窝规划开展切合实际的能耗测量，才能达到最为节能的效果。此外，小蜂窝设计技术通常安装于第7.3.9段所述的袖珍BTS内，并通过宏BTS建立上层蜂窝网[b-SCELL][b-INST]。

此外，小蜂窝设计的潜在优势在于与大蜂窝相比，能够根据环境更加精确地动态调整。在调整方面，小蜂窝设计可利用多种节能算法，例如使基站能够检测到其它基站当前覆盖空间并相应取消其活动的覆盖敏感型关机算法，以及通过载波嗅探检测用户设备（UE）活动并临时关闭空闲蜂窝流量的敏感型睡眠模式算法 [b-Claussen]。毫微微蜂窝是这方面的一个范例，其提供的便是低功率、低成本和小归属区的基站。由于其作用距离短，毫微微蜂窝可提供更佳的室内话音和数据覆盖，大幅降低发射功率，延长手机电池寿命，实现更高的信干和信噪比[b-Badic]。降低能耗的详细内容请参见[b-Grant]。

7.4.8 能耗敏感型网络的规划

此项技术涉及全网络设计和规划，同时适用于有线和无线网络。迄今为止，网络规划一般只考虑性能和可靠性，并未特别注意到提高节能和降低环境影响问题。网络规划中需要考虑这些问题。为此，需要采集各类信息，例如上报的能耗和网络中断报告等传统信息（如能耗的数量，中断的时长）。

能耗敏感型网络规划分为两部分：静态和动态。静态部分在运营前（网络设计）阶段发挥作用。此部分的目的是在建设物理网络和制定路由政策方面尽量降低总能耗，但前提是其能够容纳预先设定的预计最大流量。另一方面，动态部分在运营阶段发挥作用。它通过重新调整现有流量路由或调度新流量来尽量降低总能耗，但前提是应容纳测量出的现有流量和请求的新流量。两种方法在节省网络能耗方面均有重要作用。根据[b-Chabarek]，能耗敏感型

网络规划可节约大量能源。无线网络动态网络规划的范例之一便是小区缩放，其可根据流量负载的变化和用户要求，相应地调整小区大小。通过将大负荷小区的负载转移到小负荷小区，此功能可实现负载平衡，另外亦可通过在流量很低时将小区面积降为零的方式节约能源 [b-Zhisheng]。

8 节能方面的考虑

首先，节能方面考虑的目标领域请参见第8.1段。接下来，在这些前提条件下，便可根据上文各段所列技术的基本要素，就实现节能的方向做出某些考虑。

8.1 本建议书针对的领域

- “未来网络助力绿色发展”或“绿色未来网络”
本建议书侧重于“绿色未来网络”（第6.1段）。
- 生命周期中的各个阶段
本建议书侧重使用阶段（第6.2段）。
本阶段包括运营前和运营中两部分。运营前阶段解决网络设计过程中如何能够尽量降低为满足特定流量要求所需提供的网络资源数量。运营阶段是要解决动态问题，即如何根据网络运营特定时段的流量需求，使用更少的网络资源。
- 技术层面
本建议书考虑了三个技术层面（装置、设备和网络层）。
各项技术都不是孤立的，而是在不同层面相互合作。本建议书的目标是为纳入各层面的技术寻找全面包容的解决方案。
- 节能方法的类型。
本建议书侧重于技术方法。
目前存在各种方法，每种都采用了不同手段。有些是技术性的，有些是非技术性的。非技术性方法的典型示例就是依法监管，该方法为预定义的用户群指派单独的网络使用时间。尽管技术与非技术方法均很重要，但鉴于本建议书是技术性文件，因此其侧重技术方法。

8.2 节能方法

根据上文各段所列技术的本质，下面总结了部分节能方法。第8.2.1和8.2.2段所述方法在考虑如何恰当组合技术，以实现更大效益方面会有帮助。

- 降低所需网络处理能力（第8.2.1段）
 - 降低整个网络的处理能力（第8.2.1.1段）
 - 转移峰值流量，以降低最大处理能力（第8.2.1.2段）

- 改善网络能效（第8.2.2）
 - 根据流量的动态变化控制装置和/或设备操作（第 8.2.2.1段）
 - 以更低的功率前转流量（第8.2.2.2段）

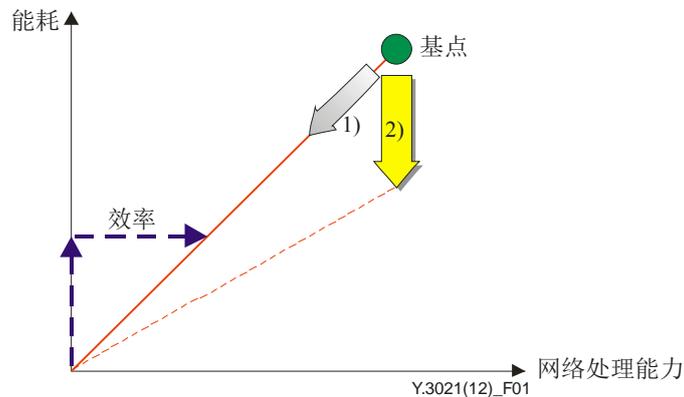


图1 – 能耗与网络处理能力

8.2.1 削减所需网络处理能力

这种方法是基于流量大小。当流量下降时，所需网络资源和容量也随之下降，因此能耗也会下降。降耗效果如图1中始发流量所用方法所示。

8.2.1.1 降低整个网络的流量

这是一种静态方法。此方法旨在降低装置或设备前转的流量。例如，在网络入口处提供高速缓存（让其与用户靠得更近），以便能够经常访问内容所需的相应网络资源。

8.2.1.2 转移高峰时间的流量

转移高峰时间的流量会降低最大处理能力。这是一种动态方式。装置或设备的部分能耗主要取决于能够容纳的最大流量。因此，如果能够降低可容纳的最大流量，则可相应降低能耗。此功能旨在移动时间轴上的数据，降低高峰流量。例如工作时间安排功能允许将常用内容在非高峰时段提前分配给靠近用户的高速缓存服务器。

8.2.2 改善网络能效

这种方法侧重网络能效，假设所需网络处理能力不受影响。其效果请参见图1中的降耗方法。此方法需要考虑各层面的构架。网络能效通常可用网络吞吐量除以所耗功率来定义，即每秒比特数/瓦特（Watt），上述公式中的网络处理能力为最大吞吐量。因此，网络能效在基于摩尔法则的LSI精密加工等方面在能够提升，在演进过程中总能耗将会下降。

8.2.2.1 控制装置和/或根据流量动态进行的设备操作

这是一种动态方法。现有网络装置或设备通常无论流量如何变化均使用所有处理能力并以最大速度运行。本方法将根据波动来控制装置或设备的操作。其中一个示例便是睡眠模式控制。

8.2.2.2 以更低功率前转流量

这是一种静态方法。现有数据传输通常在复杂的层协议上进行。该方法旨在通过简化的机制传送数据，例如使用更低层、轻权协议等。示例请参考电干预更少的光网络。

需要审慎考虑的问题之一是测量目标（即服务、设备）与网络能效的测量区间。如第3.2.2所述，效率被定义为网络吞吐量除以所耗功率（通常为bps/W）。问题是bps与业务的本质特征存在密切关联，该业务随时间而变化，从而会产生不同的bps/W值。因此有必要以恰当形式选择目标和效率测量区间，并考虑到业务属性（例如端对端或特定子网络）等因素。

第8.3和8.4段详细讨论了上文第8.2.1和8.2.2段所述方法，同时展示了不同技术的有用做法。

8.3 控制流量动态控制装置和/或设备的操作

致力于流量动态管理的技术包括睡眠模式控制和动态电压调配（DVS）。睡眠模式控制通过在装置不使用时将其转入“睡眠模式”节能，DVS的节能手段为在流量低时，降低CPU、线路卡和网络接口卡（NIC）的处理能力。当许多节点处于睡眠模式或电压下降时，这些技术能够节约更多能量。为此，当睡眠模式控制和DVS适用于或许覆盖范围很大且本身配有大量装置的网络时会发挥效力，这些网络的其它特征还包括峰值需求大但平均流量低，因此该装置处于工作状态的比率不高。睡眠模式控制的问题之一，如第7.3.1段所述，就是如何处理路由信息等用于控制的小流量。使用“代理”是可能的方法之一。另一方面，如第7.3.2段所述，DVS面临的一个问题是如何处理突发流量。

从流量动态角度看，互联网流量的特征为时间和空间的动态变化。路由器的能耗与之相反，几乎完全独立于前转流量的瞬时数量。因此，当没有流量进入路由器时将路由器转入睡眠模式，提供了一种节能能力的可能选择。但在当前情况下，流量在网络内的前转分配是依据路由协议或其它方法预定义的路径，这就意味着当总流量处于低谷时，流量将进入各路由器，使各路由器必须随时运行。这便明确了如何控制整个网络流量从而使路由器进入睡眠模式所面临的技术挑战。

8.4 使用更少的功率前转流量

旨在降低能耗的技术包括，使用LSI精密加工和光网络节点。使用LSI精密加工会降低驱动电压并提供节能的可能。尽管使用光网络节点需要以聚合流量作为前提来最大程度的发挥网络潜能，但其会大幅提升传输能力，明显改善网络能效。这些装置层技术目前始终是从节能角度加以考量。但与此同时，并未确定节能的设备和网络层技术，然而这些方面未来具有节能的潜力。

从前转技术的角度来看，互联网等IP网络使用分组交换，通过统计复用效应实现了高效容纳多个应用。从另一角度观察，传输线路速度和处理能力的上升，将来必会要求提高特殊类型内存的性能，因其高速、高处理能力而产生高能耗（例如，用于缓存和路由的静态随机接入存储器（SRAM）和内容可寻址存储器（CAM））。但未来可能会上升的视频流量，其特性一方面会连续生成信息，另一方面与视频流量相关的会话不会改变且路由决策的依据是

每个会话提出的要求。此特性能够消除对CAM的需求。CAM原本是针对逐数据包路由且适用于异质流量。如果我们摆脱了高能耗装置，则会创造巨大的技术节能机遇。因此，技术面临的挑战之一便是，建立不需要使用此类高价内存的新型前转机制。

8.5 独立技术的分类

独立技术是根据其适用的层面与方法加以分类，请参见表1。

表1 – 技术的分类

技术层面	削减处理能力 (第 8.2.1段)		提高能效 (第 8.2.2段)	
	削减流量 (第 8.2.1.1段)	高峰转移 (第 8.2.1.2段)	动态控制 (第 8.2.2.1段)	降低功率 (第 8.2.2.2段)
装置			<ul style="list-style-type: none"> - 多核CPU - 时钟脉冲门 - 功率敏感型虚拟内存 	<ul style="list-style-type: none"> - LSI制造 - 高级功率放大器
设备	<ul style="list-style-type: none"> - 高速缓存服务器 - 滤波 	<ul style="list-style-type: none"> - 抱歉服务器 - 整形 	<ul style="list-style-type: none"> - 睡眠模式控制 - ALR/DVS 	<ul style="list-style-type: none"> - 光节点 - 热设计 - 袖珍BTS - 智能天线技术 - 中继站
网络	<ul style="list-style-type: none"> - CDN 	<ul style="list-style-type: none"> - 流量高峰转换 	<ul style="list-style-type: none"> - 路由/流量工程 - 能源敏感型网络规划 (动态) 	<ul style="list-style-type: none"> - 电路/猝发交换 - 轻协议 - 传输时间安排 - 小蜂窝设计 - 能源敏感型网络规划 (静态)

尽管这些均是有用的节能技术并展示出可得到网络支持的节能可能性，但实现节能的难度存在巨大差异。确定哪些属于强制性技术哪些是可供未来网络选择的方案，还需进一步研究。本建议书并未在上文中详加说明，只是假设所有这些技术均是可选方案。

9 可能的功能及其互动

9.1 可能的功能

从第8段 – “节能方面的考虑”中提及的各种考虑来看，网内节能具有静态和动态两种属性。静态属性方面，网内节能会在网络运营前（网络设计）考虑如何用低功率的装置、设备和网络层技术尽量降低事先假设的最大流量的总能耗。关于动态属性，网内节能考虑的是如何在运营阶段根据不同实际流量调整装置、设备和网络层技术的工作方式，依据这些动态变化尽量降低总能耗。

为反映出静态特性，节能应涉及三层技术，这些技术在网络构建过程中被视作能源控制流程。为反映出动态特性，节能在总体上应涉及管理流程，该流程在收集完当前状态并进行分析之后，实施旨在优化操作的更佳程序。在各技术层面均可确定管理流程：装置、设备和网络层。各网络节点可能都存在管理流程，或其也可能存在于监管网络独立设备的网络管理服务器内。显然，为实现全网范围的节能，需要在管理的不同层面开展合作。除管理流程外，管理还需要一个包含相关能源信息的数据库。

下文所述为一般可适用于所有节能技术的功能。图2展示了这些功能，其中包括一个数据库及其互动关系。

- 能源控制和测量功能按照能源管理功能的具体规定采取控制行动以降低能耗，同时获得测得的状态信息。这一功能进一步细分为装置、设备和网络层面技术。
- 能源管理功能收集基本信息，计算运行最佳模式，并向能源控制和测量功能发出运行指令。它包括以下三个子功能：数据收集、优化和操作子功能。
- 状态信息基本功能收集能源控制和测量功能现有操作模式的基本状态信息，具体包括能耗和流量等方面。

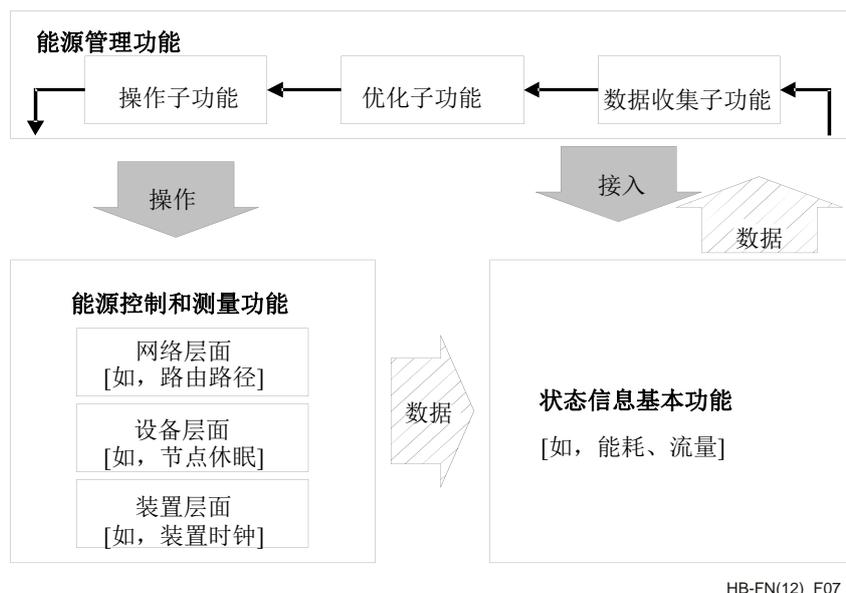


图 2 – 可能使用的功能

图 2 是一张逻辑图。功能和数据库的位置基本与具体设备无关。

9.1.1 能源控制和测量功能

能源控制和测量功能由一个控制流程和一个测量流程构成。

作为控制流程，能源控制和测量功能包含第7段所述一系列节能技术。它们又进一步细分为装置、设备和网络层面技术。各层的示例包括：图2所示装置时钟变更、节点睡眠操作和路由路径变更。此功能与功耗直接相关，由能源管理功能管理。

此外，各层均有静态和动态技术。静态技术自身就是一种独立的节能技术，并不受LSI精密加工和热设计等外部输入内容的影响。动态技术由外部输入内容控制，例如节点睡眠和基于能源的路由。静态技术的能耗在网络运营之前（网络设计）阶段便已确定，且始终保持不变。与之相反，动态技术的能耗在运营阶段受到控制并会进行优化。图2所示框架中，能源控制和测量功能同时用于静态和动态管理阶段。在静态阶段（运营前），能源控制和测量功能的建立使用了三层技术，且并不与其它功能进行互动。在动态阶段（运营中），能源控制和测量功能与其它功能实施互动。

作为测量流程，能源控制和测量功能包含各类能源测量技术，涉及各层的能源控制技术。它们又进一步细分为装置、设备和网络层面技术。各层的测量范例分别为频率、睡眠期和链路使用。

此外，如果能源管理功能决策后要求改变测量参数和方法，则由能源管理功能负责操作能源控制和测量功能。此功能将测得的状态信息存储于状态信息库。根据节点或网络所用能源控制技术类型的差异，测量的参数和方法不同。

9.1.2 能源管理功能

能源管理功能访问状态信息库并管理能源控制和测量功能，从而尽量降低总能耗。它包含以下三项子功能：

数据收集子功能：从状态信息库收集有关网络节点的必要信息。

优化子功能：决定应在哪个网络节点为降低总功耗执行哪一管理操作。

操作子功能：向网络节点发送能源控制和测量功能操作请求。

9.1.3 状态信息库

状态信息库是一种数据库，由包含确定网络节点特征（如能耗和流量）的一系列状态信息构成。

9.2 各项功能的组合模型

上述框架确定的若干功能模型组合请参见图 3。在此图展示了三种模型。应用模型扩展范围越大，则实现全局优化和本地优化组合所带来的益处越多。在此，实线显示的是信令流（操作/监测/接入），虚线为数据流。

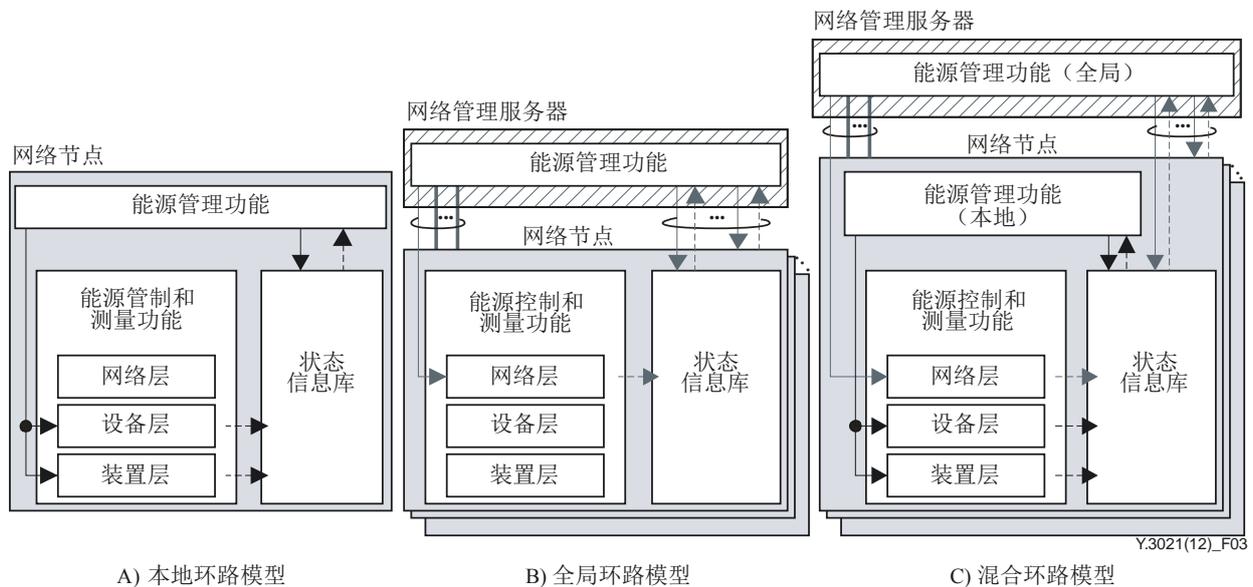


图 3 - 节能功能的组合模型

(A) 本地环路模型：这种模型通常部署在单一的网络节点，例如路由器或交换机。一个节点同时具备两项主要功能和数据库。节点内的本地控制环路是封闭的。能源管理功能向能源控制和测量功能的设备和装置层发出操作命令，因此这些层均在一个节点操作。此环路为各节点提供自我优化。

这种情况的典型案例为根据流量控制装置时钟。

(B) 全局环路模型：此种模型通常部署于多个网络节点和单个网络的管理服务器上。能源控制和测量功能和状态信息库存在于各个网络节点，且能源管理功能存在于网络管理服务器。全局控制环路会扩展至相关节点和服务器。能源管理功能向能源控制和测量功能发出操作指令，因为该层是在多个节点间执行命令。针对此环路，假设认为网络管理服务器以集中的方式接入和操作多个节点。

此环路典型示例为指派耗能最低路径的主动路由。

(C) 混合环路模型：此种模型通常部署于多个网络节点和单个网络的管理服务器上。能源控制和测量功能和状态信息库存在于各个网络节点，且能源管理功能存在于网络节点和网络管理服务器。这两种能源管理功能，即全局和本地管理功能，构成了两种组合控制环路。一条包含本地和全局环路的控制环路围绕在其周围。本地能源管理功能向能源控制和测量功能的设备和装置层发出操作指令，因为该层是在多个节点间执行命令。在此模式中，网络管理服务器以集中的方式接入和操作多个节点，且各节点以分布的方式实施自我优化。

此情况的典型案例为基于能源的路由，在此案例中全局环路聚合了各流量路由，且在无流量时本地环路会将节点转为睡眠状态。

10 节能的影响分析

本段分析网内节能产生的影响，特别是在性能方面产生的影响。首先，就仅引入节能技术的网络性能所受影响加以评估（第10.1段）。然后，通过能耗对业务配置所受影响进行分析，且分析所针对的情况通过新的业务配置引入了节能型技术（第10.2段）。

10.1 对网络性能的影响

引入节能技术可能会改变QoS等网络性能的多个方面，亦可能对安全性产生影响。

一方面，节能技术可能会使用更多资源或流程。另一方面，节能技术可能会减少时间和空间轴上不必要的资源，从而尽量降低所需资源的底线，例如设备或带宽的最小值。在两种情况下，网络性能均可能会下降，并造成延迟、拥塞、连接挂断等现象上升。例如，睡眠模式技术能够降低能耗，但如果睡眠模式的唤醒时间过长，则通信延迟可能会增加。因此，有必要避免性能劣化，或将性能劣化控制在通常由服务层协议（SLA）定义的可接受的范围内。这意味着节能技术的实现是节能与性能劣化间折衷的结果。但是，何种程度的劣化可以接受，取决于应用业务或网络系统。例如，普通的电子邮件业务或容忍几秒的延迟。所以，应当确定并监督对网络性能的影响，以察看业务劣化是否可以忍受或在可忍受的范围之内。

因此，节能技术当应用于因推广节能技术而引起的网络性能劣化仍在可忍受范围内的各方面。

这些影响可用香农处理能力相关性来澄清，例如：

- 部署效率与能效
- 带宽与功率，仅在特定数据速率内
- 延迟与功率
- 频谱效率与能源效率，仅在特定可用带宽内。

这些关系在网络规划、操作和管理阶段成反比 [b-Chen-b] [b-Li]。在保障 QoS 的前提下实现节能，必须考虑到折衷关系。

10.2 对业务配置的影响

配置新业务，通常需要额外的处理能力和资源，从而增加能耗。在业务配置的同时引入节能技术，可缓解能耗的增加。

对于业务配置，需要使用更多业务流量和更多资源。因此，总能耗自然会上升，但是，如果节能技术与业务配置同时引入，则所消耗的能源总量将比不引入这些技术时要低。例如，在常规宏蜂窝网络中，针对小蜂窝的袖珍基站或中继站适于安装在城区，这样便可用更少的能量满足用户的流量需求。这意味着节能技术可缓解能耗的上升并提高效率。因此，在配置新业务时，应审慎考虑节能技术能带来的益处。如果引进更为先进的节能技术，使能耗下降的水平高于使用更多流量和资源所产生的能耗上升，则总能耗会下降。无论如何，在确保能耗上升在可接受范围内的前提下，应当进行业务配置。

所以，在业务配置时应当应用节能技术，以降低多个同时开展的业务配置带来的能耗上升仍在可接受的范围之内，从而满足各项独立的业务要求（例如，延迟、损耗等）。

11 高层要求

网内节能使未来网络与现有网络相比在降低能耗方面具备了相关能力并可在操作过程中降低能耗。本文建议支持提供以下各项内容：

- 1) 方法（第8.2段）
 - 建议通过网内节能降低由装置或设备前转的流量。
 - 建议网内节能转移高峰时段的流量，从而降低最大处理能力。
 - 建议网内节能根据流量变化控制装置/设备操作。
 - 建议网内节能利用经简化的数据传输机制前转流量。

- 2) 功能（第9.1段）
- 建议网内节能支持能源控制和测量功能、能源管理功能和状态信息库。
 - 建议能源控制和测量功能按照能源管理功能的具体规定采取控制行动以降低能耗，同时进行能耗测量。建议这一功能包括装置、设备和网络层面的技术。
 - 建议能源管理功能收集基本信息，计算操作最佳模式，并向能源控制和测量功能发出指令。建议该功能包括以下三个子功能：数据收集、优化和操作子功能。
 - 建议状态信息基本功能收集能源控制和测量功能现有模式的基本信息，具体包括能耗和流量等方面。
- 3) 对网络性能的影响（第10段）
- 推广节能技术时，建议将网络性能的劣化水平（因推广节能而产生）控制在业务可接受的范围内。
 - 关于业务配置，建议在应用节能技术时应确保因同时配置多个业务而产生的能耗上升被控制在可接受范围内，从而使各项独立的业务要求得到满足（例如，延迟、损耗等）。

12 环境考虑

本建议书考察了与未来网络相关、可能有助于未来网内节能的节能技术，并分析了其产生的影响。

13 安全考虑

本建议书从装置、设备和网络等诸多层面探讨了节能技术。文章确定了核心功能间的循环互动，为建设和运营网络的节能问题界定了框架。

在静态技术方面，由于不存在与外界的互动，因此没有带来任何额外的安全风险。但在动态技术方面，由于受到外部功能的管理，可能会出现安全问题。应当考虑到这些安全风险，从而缓解推广节能技术时出现的潜在安全问题。

核心功能间的循环互动应考虑如何维护操作的稳定，这也是依赖反馈环路机制的普遍问题。鉴于此风险取决于循环互动的操作参数，因此这些参数必须审慎选择。此外，推广各具体系统时，还要做出进一步的详细考虑。

由于部分技术引入了睡眠模式等暂停程序，因此用户命令的响应时间可能会与正常操作时不同。本建议书认为性能劣化应在可接受的范围内，特别是在公共安全和应急通信方面。

参考资料

- [b-ITU-T G.992.3] Recommendation ITU-T G.992.3 (2009), *Asymmetric digital subscriber line transceivers 2 (ADSL2)*.
- [b-ITU-T G.992.5] Recommendation ITU-T G.992.5 (2009), *Asymmetric digital subscriber line 2 transceivers (ADSL2) – Extended bandwidth ADSL2 (ADSL2plus)*.
- [b-ITU-T G.997.1] Recommendation ITU-T G.997.1 (2009), *Physical layer management for digital subscriber line (DSL) transceivers*.
- [b-ATIS] ATIS 2010, *ATIS Report on wireless network energy efficiency*.
- [b-IETF RFC 5412] IETF RFC 5412 (2010), *Lightweight access point protocol*.
- [b-BBFORUM] Broadband forum TR-202 (2010), *ADSL2/ADSL2plus low-power mode guidelines*, issue 1.
- [b-IEEE P802.3az] IEEE P802.3az Energy efficient Ethernet Task Force.
<<http://www.ieee802.org/3/az/index.html>>
- [b-IETF CAPWAP] IETF CAPWAP Working Group
<<http://www.ietf.org/html.charters/capwap-charter.html>>
- [b-Badic] Badic, B. et al. (2009), *Energy efficient access architectures for green radio: large versus small cell size deployment*, *Vehicular Technology Conference Fall (VTC 2009-Fall)*, IEEE, April, pp.1-5.
- [b-Baliga] Baliga, J. et al. (2007), *Photonic switching and the energy bottleneck*, *IEEE Photonics in Switching*, August, pp.125-126.
- [b-Chabarek] Chabarek, J. et al. (2008), *Power awareness in network design and routing*, *INFOCOM 2008*, IEE, April, pp.457-465.
- [b-Chen-a] Chen, Y. et al. (2010), *Characterizing energy efficiency and deployment efficiency relations for green architecture design*, IEEE, International Conference on Communications Workshops (ICC).
- [b-Chen-b] Chen, Y. et al. (2011), *Fundamental trade-offs on green wireless networks*, *IEEE Communications Magazine*, Vol. 49, No. 6, pp. 30-37.
- [b-Claussen] Claussen, H., Ashraf, I. and L.T.W. Ho (2010), *Dynamic idle mode procedures for femtocells*, *Bell Labs Technical Journal*, Vol. 15, No. 2, pp.95-116.
- [b-Cui] Cui, S., Goldsmith, A.J., and Bahai, A. (2004), *Energy-efficiency of MIMO and cooperative MIMO techniques in sensor networks*, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 22, No. 6, pp. 1089-1098.
- [b-ESTAR1] ENERGY STAR (2008), *computer specification Version 5.0*.
<http://www.energystar.gov/ia/partners/prod_development/revisions/downloads/computer/Version5.0_Computer_Spec.pdf?ef97-3c22>
- [b-Fettweis] Fettweis, G. and Zimmermann, E. (2008), *ICT energy consumption – trends and challenge*, *International symposium on wireless personal multimedia communications (WPMC)*, pp. 2006-2009.
- [b-Fili] Senza Fili Consulting (2010), *Compact base stations: a new step in the evolution of base station design*.
<http://www.senza-fili.com/downloads/SenzaFili_CompactBTS.pdf>
- [b-GeSI] GeSI (2008), *Smart 2020 report*, Global e-Sustainability Initiative (GeSI).

- [b-Grant] Grant, P. (2010), *Green Radio Techniques for Improved Wireless Basestation Design*, IEEE.
- [b-Huang] Huang, H., Pillai, P., and Shin, K.G. (2003), *Design and implementation of power-aware virtual memory*, usenix.org.
- [b-INST] In-Stat, *Small Cell Base Stations Vital to 4G Deployments*.
<<http://www.instat.com/newmk.asp?ID=2810&SourceID=00000652000000000000>>
- [b-Kim] Kim, Y., et al. (2010), *Analysis of energy consumption in packet burst switching networks*, 9th International Conference on Optical Internet (COIN), July, pp.1-3.
- [b-Klein] Klein, T. *Next-Generation Energy Efficient Networks: Overview of the GreenTouch Consortium*, GreenTouch Consortium
<<http://www.greentouch.org/index.php?page=member-projects>>
- [b-Li] Li, G.Y. et al. (2011), *Energy-efficient wireless communications: tutorial, survey, and open issues*, *Wireless Communications, IEEE*, Vol. 18, No. 6, pp.28-35.
- [b-Nagajothy] Nagajothy, M. and Radha, S. (2009), *Network lifetime enhancement in wireless sensor network using network coding*, International Conference on Control, Automation, Communication and Energy Conservation, INCACEC, June, pp.1-4.
- [b-NICC ND1424] NICC ND 1424 (2008), *Guidelines on DSL power saving models and non-stationary noise in metallic access networks*.
- [b-Peng] Peng, S. et al. (2010), *Burst switching for energy efficiency in optical networks*, 2010 Conference on (OFC/NFOEC) Optical Fiber Communication (OFC), collocated National Fiber Optic Engineers Conference, March, pp.1-3.
- [b-SCCELL] Octasic, *Small cell basestations*.
<http://www.octasic.com/en/applications/wireless/small_cell.php>
- [b-Zhisheng] Zhisheng, N. et al. (2010), *Cell zooming for cost-efficient green cellular networks*, *Communications Magazine, IEEE*, Vol. 48, No. 11, pp.74-79.

ITU-T 系列建议书

A系列	ITU-T工作的组织
D系列	一般资费原则
E系列	综合网络运行、电话业务、业务运行和人为因素
F系列	非话电信业务
G系列	传输系统和媒质、数字系统和网络
H系列	视听及多媒体系统
I系列	综合业务数字网
J系列	有线网络和电视、声音节目及其他多媒体信号的传输
K系列	干扰的防护
L系列	电缆和外部设备其他组件的结构、安装和保护
M系列	电信管理，包括TMN和网络维护
N系列	维护：国际声音节目和电视传输电路
O系列	测量设备的技术规范
P系列	终端和主观与客观评估方法
Q系列	交换和信令
R系列	电报传输
S系列	电报业务终端设备
T系列	远程信息处理业务的终端设备
U系列	电报交换
V系列	电话网上的数据通信
X系列	数据网、开放系统通信和安全性
Y系列	全球信息基础设施、互联网的协议问题和下一代网络
Z系列	用于电信系统的语言和一般软件问题