

面向城市管理的政务物联数据专网规划设计

杨建栋^{1,2}, 王 普¹, 奚小春², 司 农¹, 于洪波¹

(1. 北京工业大学 电子信息与控制工程学院, 北京 100124; 2. 首都信息发展股份有限公司, 北京 100080)

摘 要: 通过研究城市管理中各级政府及委办局的实际需求,以北京市有线政务专网为依托,规划了面向城市管理的政务物联数据专网的体系结构,为北京城市管理提供了一个稳定可靠的数据专网. 该专网通过比较各种无线数据通讯技术主要包括3G技术和4G技术,最终选择采用TD-LTE技术,并根据TD-LTE技术特点及北京城市管理特点设计了专网网络覆盖目标. 结果表明:通过对比分析不同频率、不同方式下的测试结果和仿真数据进行了网络性能和容量等设计,实现一个网络性能最优和网络覆盖最节约的面向城市管理的政务物联数据专网的规划设计.

关键词: 物联数据专网; TD-LTE; 网络覆盖; 链路预算

中图分类号: TP 393

文献标志码: A

文章编号: 0254-0037(2015)10-1543-07

doi: 10.11936/bjtxb2014010030

Urban Management Planning and Design of E-government IOT Data Networks

YANG Jian-dong^{1,2}, WANG Pu¹, XI Xiao-chun², SI Nong¹, YU Hong-bo¹

(1. College of Electronic Information and Control Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China; 2. CAPINFO, Beijing 100080, China)

Abstract: Based on the actual demands of the government of all levels, and depending on the private network of Beijing cable E-government, a city management oriented system structure is designed, which provides a stable and reliable private data network for the city management of Beijing. In this private network, TD-LTE technique is adopted on the private network construction by comparing the pseudo distance wireless data communication technology including 3G and 4G. Moreover, the coverage target of the private network is also designed according to the technical and city management characteristics. Finally, different test results and simulation data under different frequencies and modes are analyzed to conduct the design on the performance and capacity of the network, which realize the design of city management oriented E-government private network with the optimal performance and the most economical network coverage.

Key words: Internet of things (IOT) data networks; TD-LTE; network coverage; link budget

物联网(Internet of things, IOT)是应用信息通信技术的最新产物,是继计算机、互联网和移动通信之后引发新一轮信息产业浪潮的核心领域^[1],已成为国际新一轮信息技术竞争的关键点和制高点. 自

物联网的概念诞生后,将物联网技术应用于城市管理,利用物联网等新技术来解决城市所面临的管理问题,正在世界范围成为探索热点. 而借助物联网由传统型城市管理向智慧城市转型,使城市具备高端化、知识

收稿日期: 2015-01-13

基金项目: 国家“863”计划资助项目(2012BAH26B01)

作者简介: 杨建栋(1975—),男,工程师,主要从事物联网技术与应用方面的研究, E-mail: yjd@bjut.edu.cn

化、创新化等特征也成为未来世界城市发展的方向。

为做好城市管理,需要利用物联网技术来适应北京城市管理的一系列新特点,由被动管理向主动管理转变.从北京市的现实情况看,各类城市运行管理平台已具有相当规模,但应用效果并不乐观.关键因素之一是末端感知能力不足,缺乏统一、安全、泛在的传感信息传输通道,使各种管理平台缺乏必要的支撑.因此,建设一个统一的面向城市管理的政务物联数据专网,对北京市打造智慧城市,提升城市管理信息化水平具有重大意义.

1 政务物联数据专网体系规划设计

在物联网网络传输层面,北京市物联网基础设施主要由政务物联数据专网和无线宽带专网2部分

组成.其中,政务物联数据专网以有线政务专网为依托,通过增补无线基站及接入光纤等措施,使信号覆盖全市平原地区,为区域内各类物联网应用的传感信息传输、汇聚、处理和分发提供安全可靠的传输通道.该网具有统一的传感信息接入标准,具有对传感信息进行身份认证和安全传输的能力,满足北京市各级政府及相关委办局在城市安全运行和应急管理领域物联网应用需求.根据需求调研情况和物联网技术的研究成果,北京市政务物联数据专网的体系设计如图1所示^[1].

整个政务物联数据专网体系由6部分组成:

1) 感知终端层

该层由与城市运行管理有关的各类传感器所组成.

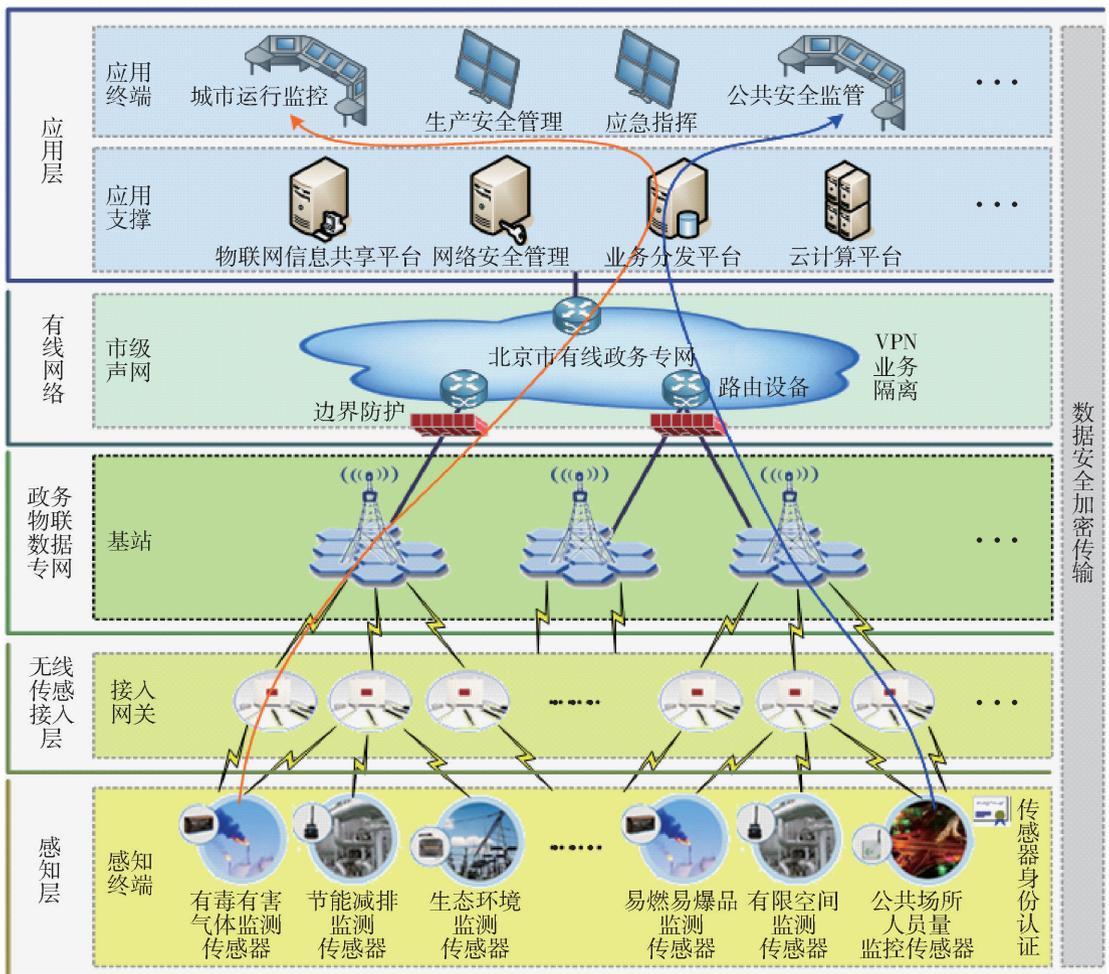


图1 政务物联数据专网体系结构

Fig.1 Private network architecture of E-government content data

传感器是物联网中实现对外界感知的核心部件,该类器件或装置能够探测、感受外界的信号,并将探知的信息转换成可用输出信号.常用的传感器包括基

于力、热、声、光、电、磁等物理效应的物理类传感器,基于化学反应原理的化学类传感器,基于酶、抗体、激素等分子识别功能的生物类传感器.

2) 无线传感接入层

该层由接入网关、协议转换网桥、传感网路由转发节点等多类设备组成,通过短距离无线通信介质将大量传感器连接起来,共同构成无线传感器网络(wireless sensor networks, WSN),即传感网。传感网是末梢传感器与城域骨干网络间相联系的必要环节。

3) 政务物联数据专网层

该层是整个体系结构中的核心要素。通过比较可用于专网建设的伪长距无线数据通讯技术主要包括 3G 技术和 4G 技术,最终选择采用 TD-LTE 技术^[2-3];专网由全市多个地点的无线基站系统所组成。各基站向上连接北京市有线政务外网汇聚设备,连接方式主要有 2 种:一是通过光纤专线连接,可实现达数十公里的远距离数据传输;二是通过无线链路连接,可实现长达数公里距离的数据回传。

4) 有线网络层

有线网络层的主体是业已建成的北京市有线政务专网。该网络根据业务类型分为传输涉密数据的政务内网和传输非涉密数据的政务外网 2 部分,其中的政务外网将作为政务物联数据专网的核心网。

5) 应用支撑子层

它是物联网应用层的组成部分,包括网络管理平台、安全管理平台、业务分发平台、信息共享平台、云计算平台等支撑系统。网络、安全及业务分发平台是本工程建设的主要内容之一。信息共享平台将在业务分发平台的基础上建立,其功能是支持跨业务系统的可控数据交换,而这是业务分发平台所不允许的。云计算平台的作用是提供分布式的数据分析和处理服务,有效整合资源,降低各个业务系统的建设成本。

6) 应用终端子层

该层的软硬件设备提供人机接口,实现对感知信息的展示,满足各项物联网应用的不同需要。该层设施由各用户单位自行建设,所需数据及服务功能来自应用支撑子层,由相关管理部门提供访问接口及对接规范。

2 政务物联数据专网网络设计

2.1 网络覆盖设计

根据北京市城市管理特点,政务物联数据专网网络覆盖规划目标如下^[4]:

1) 吞吐量目标

小区边缘单用户上下行速率:下行 1 Mbit/s,上行 512 kbit/s。

2) 质量目标

误码率(BLER): < 10%。

3) 关键参数选择

基站高度:密集城区 25 m,一般城区 30 m;基站天线配置:8T8R(BF);基站天线增益:15 dBi;设计目标:上行 512 kbit/s,下行 1 024 kbit/s 的小区边缘速率。

链路预算采用 OKUMURA-HATA (150 ~ 1 500 MHz) 三种环境传播模型密集城区、一般城区。其传播模型为

$$L = 69.55 + 26.16 \lg f - 13.821 \lg h_b + (44.9 - 6.55 \lg h_b)(\lg d) - a(h_m) + K_c$$

式中: d 为覆盖距离; f 为传播频率; L 为传播损耗; h_b 、 h_m 为基站、移动台天线有效高度; $a(h_m)$ 为移动台天线高度修正因子; K_c 为地物修正因子。

4) 无线覆盖半径以及站点数目估算

通过前面的链路预算,计算小区覆盖半径和三扇区单站覆盖面积,结果如表 1 所示。

表 1 小区覆盖半径和三扇区单站覆盖面积表

Table 1 Cell radius and the cover area of three sectors

| 系统带宽 系统配置 | 设计 | |
|------------------------------|-----------|-----------|
| | 8T8R@ eNB | 1T2R@ eUE |
| 上行速率/(kbit·s ⁻¹) | 512 | 512 |
| 下行速率/(kbit·s ⁻¹) | 1 024 | 1 024 |
| 受限信道 | 上行 | 上行 |
| 场景 | 密集城区 | 一般城区 |
| 最大路损/dB | 140.38 | 142.30 |
| 小区半径/km | 1.61 | 2.40 |
| 单站覆盖面积/km ² | 5.06 | 11.27 |

2.2 网络性能设计

1) 链路预算^[5]

宽带多媒体 1 400 MHz (1 447 ~ 1 467 MHz) 和 1 800 MHz (1 785 ~ 1 805 MHz) 系统采用 TD-LTE 技术,支持的最大系统带宽为 20 MHz,可用于集群通信、语音通话、视频通话、数据传输等典型业务场景。针对系统覆盖性能进行链路预算分析,链路预算的参数配置如表 2 所示。

链路预算中常用的传播模型为 Okumura-Hata 和 Cost-231 Hata 模型,其中 Okumura-Hata 模型适用于 1 400 MHz 系统, Cost-231 Hata 模型适用于 1 800 MHz 系统。Okumura-Hata 和 Cost-231 Hata 模型密集城区、一般城区、郊区、农村、开阔地、准开阔地场景公式如表 3 所示。

表2 链路预算参数配置说明

Table 2 Configuration description of link budget parameters

| 参数名称 | 取值 | 备注 | |
|------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 系统参数 | 系统带宽/MHz | 20 | |
| | 载波频率/GHz | 1.4/1.8 | |
| | 热噪声密度/(dBm·Hz ⁻¹) | -174 | |
| | 天线数量 | 1/2 | 上行单天线发送/下行两天线接收 |
| 终端参数 | 天线高度/m | 1.5 | |
| | 最大发射功率/dBm | 23 | |
| | 天线增益/dBi | 2/8 | 数据卡、CPE(全向天线)/CPE(定向天线) |
| | 人体损耗/dB | 0 | |
| | 噪声系数/dB | 7 | |
| 基站参数 | 天线高度/m | 40 | |
| | 天线数量 | 8 | |
| | 最大发射功率/dBm | 46 | |
| | 天线增益/dBi | 15 | |
| | 馈线损耗/dB | 1 | |
| | 噪声系数/dB | 5 | |
| 其他参数 | 干扰余量/dB | 3/8 | 上行/下行 |
| | 穿透损耗/dB | 8 | 考虑到室外宏站对室内的弱覆盖 |
| | 快衰落余量/dB | 0 | |
| | 阴影衰落余量/dB | 10.36/8.29/8.29/ 6.22/0/0 | 密集城区/一般城区/郊区/ 农村/开阔地/准开阔地 |

表3 传播模型参数配置

Table 3 Parameter configuration of the propagation model

| 传模模型名称 | 传播模型公式 |
|--------------|--|
| Okumura-Hata | 密集城区 $PL_{DU}(\text{dB}) = 69.55 + 26.16\lg f - 13.82\lg h_b - (3.2(\lg(11.75h_m))^2 - 4.97) + (44.9 - 6.55\lg h_b)\lg d + 3$ |
| | 一般城区 $PL_{NU}(\text{dB}) = 69.55 + 26.16\lg f - 13.82\lg h_b - ((1.1\lg f - 0.7)h_m - (1.56\lg f - 0.8)) + (44.9 - 6.55\lg h_b)\lg d$ |
| | 郊区 $PL_{SU}(\text{dB}) = PL_{NU}(\text{dB}) - 2(\lg(f/28))^2 - 5.4$ |
| | 农村 $PL_{RU}(\text{dB}) = PL_{NU}(\text{dB}) - (\lg(f/28))^2 - 2.39(\lg f)^2 + 9.17\lg f - 23.17$ |
| | 开阔地 $PL_{QA}(\text{dB}) = PL_{NU}(\text{dB}) - 4.78(\lg f)^2 + 18.33\lg f - 40.94$ |
| | 准开阔地 $PL_{QA}(\text{dB}) = PL_{NU}(\text{dB}) - 4.78(\lg f)^2 + 18.33\lg f - 35.48$ |
| Okumura-Hata | 密集城区 $PL_{DU}(\text{dB}) = 46.3 + 33.9\lg f - 13.82\lg h_b - (3.2(\lg(11.75h_m))^2 - 4.97) + (44.9 - 6.55\lg h_b)\lg d + 3$ |
| | 一般城区 $PL_{NU}(\text{dB}) = 46.3 + 33.9\lg f - 13.82\lg h_b - ((1.1\lg f - 0.7)h_m - (1.56\lg f - 0.8)) + (44.9 - 6.55\lg h_b)\lg d$ |
| | 郊区 $PL_{SU}(\text{dB}) = PL_{NU}(\text{dB}) - 2(\lg(f/28))^2 - 5.4$ |
| | 农村 $PL_{RU}(\text{dB}) = PL_{NU}(\text{dB}) - (\lg(f/28))^2 - 2.39(\lg f)^2 + 9.17\lg f - 23.17$ |
| | 开阔地 $PL_{QA}(\text{dB}) = PL_{NU}(\text{dB}) - 4.78(\lg f)^2 + 18.33\lg f - 40.94$ |
| | 准开阔地 $PL_{QA}(\text{dB}) = PL_{NU}(\text{dB}) - 4.78(\lg f)^2 + 18.33\lg f - 35.48$ |

TD-LTE 系统物理层中主要的业务信道和控制信道包括 PUSCH(物理上行共享信道)、PUCCH(物理上行控制信道)、PDSCH(物理下行共享信道)、PDCCH(物理下行控制信道)、PCFICH(物理控制格

式指示信道)、PHICH(物理 HARQ 指示信道)、PBCH(物理广播信道),不同无线场景下各物理信道的链路预算结果如表 4、5 所示。

表 4 TD-LTE1 400 MHz 系统数据卡和全向天线 CPE 链路预算结果

Table 4 Data card of TD-LTE1 400 MHz system and the link budget result of omni antenna CPE

| 物理信道 | 占用带宽/ RBs | 目标 SINR/ dB | 小区覆盖半径/km | | | | | |
|--------|--------------|----------------|-----------|------|------|-------|-------|-------|
| | | | 密集城区 | 一般城区 | 郊区 | 农村 | 开阔地 | 准开阔地 |
| PUSCH | 12 | 3.4 | 0.66 | 0.93 | 1.97 | 2.93 | 12.67 | 8.79 |
| PUCCH | 1 | -7.0 | 2.90 | 4.08 | 8.70 | 12.92 | 55.84 | 38.75 |
| PDSCH | 15 | 6.4 | 0.74 | 1.04 | 2.22 | 3.30 | 14.26 | 9.89 |
| PDCCH | 4 | 4.0 | 0.87 | 1.22 | 2.61 | 3.87 | 16.74 | 11.62 |
| PCFICH | 1 | -2.3 | 1.33 | 1.87 | 3.97 | 5.90 | 25.52 | 17.71 |
| PHICH | 1 | 0.7 | 1.09 | 1.53 | 3.25 | 4.83 | 20.88 | 14.49 |
| PBCH | 6 | -0.5 | 1.18 | 1.65 | 3.52 | 5.23 | 22.62 | 15.70 |

表 5 TD-LTE 1 400 MHz 系统定向天线 CPE 链路预算结果

Table 5 Link budget result of omni antenna CPE of TD-LTE 1 400 MHz system

| 物理信道 | 占用带宽/ RBs | 目标 SINR/ dB | 小区覆盖半径/km | | | | | |
|--------|--------------|----------------|-----------|------|-------|-------|-------|-------|
| | | | 密集城区 | 一般城区 | 郊区 | 农村 | 开阔地 | 准开阔地 |
| PUSCH | 12 | 3.4 | 0.98 | 1.38 | 2.95 | 4.38 | 18.93 | 13.14 |
| PUCCH | 1 | -7.0 | 4.34 | 6.10 | 12.99 | 19.30 | 83.43 | 57.89 |
| PDSCH | 15 | 6.4 | 1.11 | 1.56 | 3.32 | 4.93 | 21.30 | 14.78 |
| PDCCH | 4(4CCE) | 4.0 | 1.30 | 1.83 | 3.90 | 5.79 | 25.01 | 17.36 |
| PCFICH | 1(1CCE) | -2.3 | 1.98 | 2.79 | 5.94 | 8.82 | 38.13 | 26.46 |
| PHICH | 1(1CCE) | 0.7 | 1.62 | 2.28 | 4.86 | 7.22 | 31.19 | 21.65 |
| PBCH | 6 | -0.5 | 1.76 | 2.47 | 5.26 | 7.82 | 33.80 | 23.46 |

综上所述,可按照采用全向天线的数据卡和 CPE 所有物理信道中的最小覆盖距离进行无线网络部署。若想进一步增大小区的覆盖半径,节省建网成本,可在边缘部署带有高增益全向天线/定向天线(8dBi)CPE^[6]。

2) 容量规划^[7]

针对 TD-LTE 1 400 MHz 和 1 800 MHz 系统进行小区吞吐量进行仿真,仿真条件如表 6 所示。

小区吞吐量仿真结果如表 7 所示。

3) 峰值速率^[8]

TD-LTE 1 400 MHz 和 1 800 MHz 系统若上、下行子帧配比采用配置 1(DSUUD DSUUD),特殊子帧配比采用配置 7(10:2:2),特殊子帧中的 DwPTS 可承载业务信息,则 20 MHz 带宽理论峰值速率为上行

时 QPSK 峰值速率 7.0 M,16QAM 峰值速率 17.5 M,64QAM 峰值速率 30.2 M;下行单流为 QPSK 峰值速率 8.7 M,16QAM 峰值速率 16.8 M,64QAM 峰值速率 41.5 M;下行双流为 QPSK 峰值速率 17.4 M,16QAM 峰值速率 33.9 M,64QAM 峰值速率 82.4 M;TD-LTE 1 400 MHz 和 1 800 MHz 系统若上、下行子帧配比采用配置 0(DSUUU DSUUU),特殊子帧配比采用配置 5(3:9:2),特殊子帧中的 DwPTS 不承载业务信息,则 20 MHz 带宽理论峰值速率为上行时 QPSK 峰值速率 10.5 M,16QAM 峰值速率 26.3 M,64QAM 峰值速率 45.2 M;下行单流为 QPSK 峰值速率 3.2 M,16QAM 峰值速率 6.1 M,64QAM 峰值速率 15.1 M;下行双流为 QPSK 峰值速率 6.3 M,16QAM 峰值速率 12.3 M,64QAM 峰值速率 30 M。

表6 小区吞吐量仿真条件
Table 6 Simulation conditions of cell throughput

| 参数 | 取值/假设 |
|-------------------------------|---|
| 服务区环境 | 六边形小区 |
| 载波频率/GHz | 1.4/1.8 |
| BS 天线高度/m | 40 |
| BS 总发送功率/dBm | 46 |
| UE 功率等级/dBm | 23 |
| 多址方式 | OFDMA |
| 系统带宽/MHz | 20 |
| 上下行子帧配置 | 2:2 |
| BS 天线增益/dBi | 15 |
| UE 天线增益/dBi | 2 |
| 噪声功率谱/(dBm·Hz ⁻¹) | -174 |
| BS 接收机噪声系数/dB | 5 |
| UE 接收机噪声系数/dB | 7 |
| 基站天线模式 | 水平方向: $A(\theta) = -\min\left[12\left\{\frac{\theta}{\theta_{3,\text{dB}}}\right\}^2, A_m\right]$ 垂直方向: $A_e(\phi) = -\min\left[12\left\{\frac{\phi - \phi_{\text{tilt}}}{\phi_{3,\text{dB}}}\right\}^2, A_m\right]$ 合并增益: $-\min[-(A(\theta) + A_e(\phi)), A_m]$ |
| 路损模型 | ITU 信道协议 M.2135 UMA 场景 |
| 阴影模型 | 对数正态分布, 站内相关系数 1, 站间相关系数 0.5. 相关距离 50 m. |
| 小尺度信道模型 | ITU 信道模型 UMA |
| 链路级到系统级映射 | EESM 模型 |
| 控制信道错误 | 无控制信道差错 |
| Sounding 发射周期/ms | 10 |
| 调度周期/ms | 1 |
| 基站调度器 | 上行:多业务调度算法 下行:PF |
| 干扰协调 | 上行: 下行: |
| HARQ 方式 | 上行:同步非自适应 HARQ 下行:异步非自适应 HARQ |
| 最大重传次数 | 3 |
| 每扇区用户数 | 15 |
| 用户移动速度/(km·h ⁻¹) | 3 |

4) 小区用户数分析

单个小区支持的激活态(RRC 连接,非 DRX 状态)用户数不低于 200,支持的 RRC 连接用户数不低于 600. 单个 BBU 支持的激活态(RRC 连接,非 DRX 状态)用户数不低于 600,支持的 RRC 连接用

户数不低于 1 800. 实际网络中,用户数受限于多种因素,包括:小区覆盖范围、用户分布规律、用户业务类型(高速或低速、GBR 或非 GBR)、调度算法参数设置、RRM 算法参数设置等.

表 7 小区吞吐量仿真结果

Table 7 Simulation result of cell throughput

| 仿真项目 | 吞吐量仿真结果 |
|--------------------------------|---------|
| 上行吞吐量/(Mbit·s ⁻¹) | 11.3 |
| 上行边缘速率/(kbit·s ⁻¹) | 424.3 |
| 下行吞吐量/(Mbit·s ⁻¹) | 19.0 |
| 下行边缘速率/(kbit·s ⁻¹) | 703.3 |

3 结论

面向城市管理的政务物联数据专网是北京市物联网建设的主要任务,是北京市信息化基础设施提升计划的重点项目之一。国家无线电管理局给予北京市政务物联数据专网需求极大的重视,最终在 1.5 G 频段规划出非常宝贵的 20 M 频率给政务物联数据专网使用。该专网研究具有以下特点:

1) 面向城市管理的政务物联数据专网实现了将大量传感器收集的数据上传到物联网平台,并可提供视频信息上传的功能特点。

2) 通过比较可用于政务物联数据专网建设的伪长距无线数据通讯技术,主要包括 3G 技术(WCDMA、CDMA 2000、TD-SCDMA、WMAN), B3G 技术(FDD-LTE、TD-LTE、LTE-A、IEEE 802.16m), 及 WiFi Mesh、McWiLL 等主流通讯技术,最终选取 TD-LTE 作为专网采用的设计技术,主要是发挥 TD-LTE 上下行配比可动态分配的优势,更加充分地利用频谱资源。

3) 设计采用的 TD-LTE 网络平均下载速率达 70 Mbit/s,峰值下载速率达 80 Mbit/s,上行 20 Mbit/s。

4) 通过参数配置、比较、仿真等方法进行了政务物联数据专网的网络覆盖设计和网络性能设计,使其可适应城市应急管理领域、社会安全领域、交通领域、市政市容管理、环境监测、水资源、安全生产监管领域、节能减排、医疗卫生、农产品和食品监控领域等城市管理的实际需要。

该专网与北京市有线电子政务外网互为补充,作为城市管理工作的最后一公里宽带无线接入网络,为日常城市管理的物联数据采集、城市安全运行和突发事件应急处置,提供统一、安全、可靠的信息传输通道,满足各级政府及相关委办局在城市安全

运行、管理领域物联网应用和无线政务建设方面不断增长的需求。

参考文献:

- [1] 邵长恒,孙更新. 物联网原理与行业应用[M]. 北京:清华大学出版社,2013:8-12.
- [2] 胡恒杰,赵旭淞,徐德平,等. TD-LTE 无线网络规划若干问题探讨[J]. 电信工程技术与标准化,2010(11):40-45.
HU Heng-jie, ZHAO Xu-song, XU De-ping, et al. Issues of TD-LTE wireless network planning[J]. Telecom Engineering Technics and Standardization, 2010(11):40-45. (in Chinese)
- [3] 于翔川. TD-LTE 无线宽带专网应用探讨[J]. 智慧城市,2013,8(5):48-52.
YU Xiang-chuan. The TD-LTE wireless broadband private network applications[J]. Smart City, 2013, 8(5):48-52. (in Chinese)
- [4] 汪丁鼎,景建新,肖清华,等. LTE FDD/EPC 网络规划设计与优化[M]. 北京:人民邮电出版社,2014:22-30.
- [5] 李新. TD-LTE 无线网络覆盖特性浅析[J]. 电信科学,2009,5(1):22-26.
LI Xin. Coverage characteristics of TD-LTE network[J]. Telecom Science, 2009, 5(1):22-26. (in Chinese)
- [6] 杨军,毕丹宏,董健,等. TD-LTE 优化组网策略分析[J]. 通信与信息技术,2012(3):55-57.
YANG Jun, BI Dan-hong, DONG Jian, et al. The analysis of TD-LTE network strategy of optimization[J]. Communication & Information Technology, 2012(3):55-57. (in Chinese)
- [7] 林斌,蔡丹森. TD-LTE 无线网络规划设计[J]. 硅谷,2011,2(4):20-23.
LIN Bin, CAI Dan-sen. TD-LTE wireless network planning and design[J]. Silicon Valley, 2011, 2(4):20-23. (in Chinese)
- [8] 刘宝昌,胡恒杰,朱强. TD-LTE 无线网络规划研究[J]. 电信工程技术与标准化,2010,22(2):16-20.
LIU Bao-chang, HU Heng-jie, ZHU Qiang. The TD-LTE wireless network planning research[J]. Telecommunication Engineering Technology and Standardization, 2010, 22(2):16-20. (in Chinese)

(责任编辑 杨开英)