

# 基于蜂窝网络的物联网网络综合测试平台

易琪淙 周鑫 陈强 刘杰 史治平

(电子科技大学通信抗干扰技术国家级重点实验室 成都 611731)

**摘要** 随着对物联网技术的深入研究和广泛应用,蜂窝网络已成为其最重要的传输链路,而建立相应的网络测试平台也越来越受到人们的重视。文章对网络测试技术进行了分析,提出了测试指标和测试流程,设计了支持实际传感网业务和仿真业务的综合测试平台,并且为无线传感网业务和仿真业务提供了统一的接口。同时设计了业务发生器,引入自相似和长相关保证仿真业务更接近实际传感网数据,并使用RMD(Random Midpoint Displacement)算法生成具有相关性的多用户业务模型。文章根据需求选择测试环境,建立统一的测试平台,集成了两种测试接口,满足不同条件的测试,为测试蜂窝网络提供了指导和借鉴。

**关键词** 物联网;测试指标;自相似;长相关;RMD算法;业务发生器  
**中图分类号** TP 391 文献标志码 A

## The Comprehensive Test Platform of the Internet of Things Based on Cellular Network

YI Qicong ZHOU Xin CHEN Qiang LIU Jie SHI Zhiping

(National Key Laboratory of Science and Technology on Communications, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China)

**Abstract** With the further development and extensive applications of the Internet of Things, the cellular network has become the most important transmission link and people pay more attention to establishing the network test platform. In this paper, the network test technology was analyzed, the test target and test processes were put forward, a comprehensive test platform which is used for the real sensor network traffic and simulation traffic was designed and a unified port for wireless network traffic and simulation traffic was provided. To approach to the real sensor network data, the self-similarity and long range dependence were introduced in the traffic generator, and the RMD(Random Midpoint Displacement) algorithm was used to process the simulation data to generate multi-user data models. The test environment would be chosen respectively in this article according to the requirement to establish a unified test platform with two different test interfaces, which could satisfy different demands and provide guide and references to the cellular network test.

**Keywords** internet of things; test target; self-similarity; long rang dependence; RMD; traffic generator

收稿日期: 2014-01-18

基金项目: 国家科技重大专项(2011ZX03005-001)。

作者简介: 易琪淙, 硕士研究生, 研究方向为无线通信; 周鑫, 硕士研究生, 研究方向为无线通信; 陈强, 硕士研究生, 研究方向为无线通信; 刘杰, 硕士研究生, 研究方向为无线通信; 史治平(通讯作者), 副教授, 博士生导师, 研究方向为无线通信与纠错编码, E-mail: szp@uestc.edu.cn。

## 1 引言

随着物联网(Internet of Things, IoT)技术的不断发展和成熟,通信方式将由传统的人—人形式转变成人—物、物—物,人类社会将进入一个全新的通信时代。虽然到目前为止还没有统一的物联网标准,并且各个已存在的物联网应用系统实现方法也不尽相同,但是随着对物联网研究的深入以及物联网各种应用的发展,业界对物联网技术已经形成了一些基本共识,其中就包括随着物联网的发展,无线传感网(Wireless Sensor Network, WSN)将会成为物联网的“最后一公里”。也就是说在物联网技术实现体系中对物理世界信息的感知将由无线传感网来完成,无线传感网是物联网技术中连接物理世界与信息世界的关键所在。另一个共识就是为了实现物联网无所不在的接入,蜂窝网络(Cellular Network)将成为 WSN 接入互联网的首选通道<sup>[1]</sup>。

因此, WSN 产生的大量网络数据必然对蜂窝网络造成很大的冲击。这就要求在物联网时代到来之前,充分研究物联网业务对蜂窝网络的影响,根据测试结果对蜂窝网络进行合理的资源调度,实现各类用户之间性能最大化。

传统的测试平台主要分为物理层测试和应用层测试<sup>[2]</sup>。两种测试手段适用于不同的测试场景,各有优势,但也有自身的局限性<sup>[3]</sup>。

本文在蜂窝网络的特殊环境下,充分考虑物联网的特点,建立了一种带有物理层接口的应用层网络综合测试平台,并且设计了具有相关性的物联网业务模型。

## 2 测试平台

### 2.1 总体框架

图 1 为平台测试框架图,框架采用客户端/服务器结构(Client/Server, C/S),多个测试终端

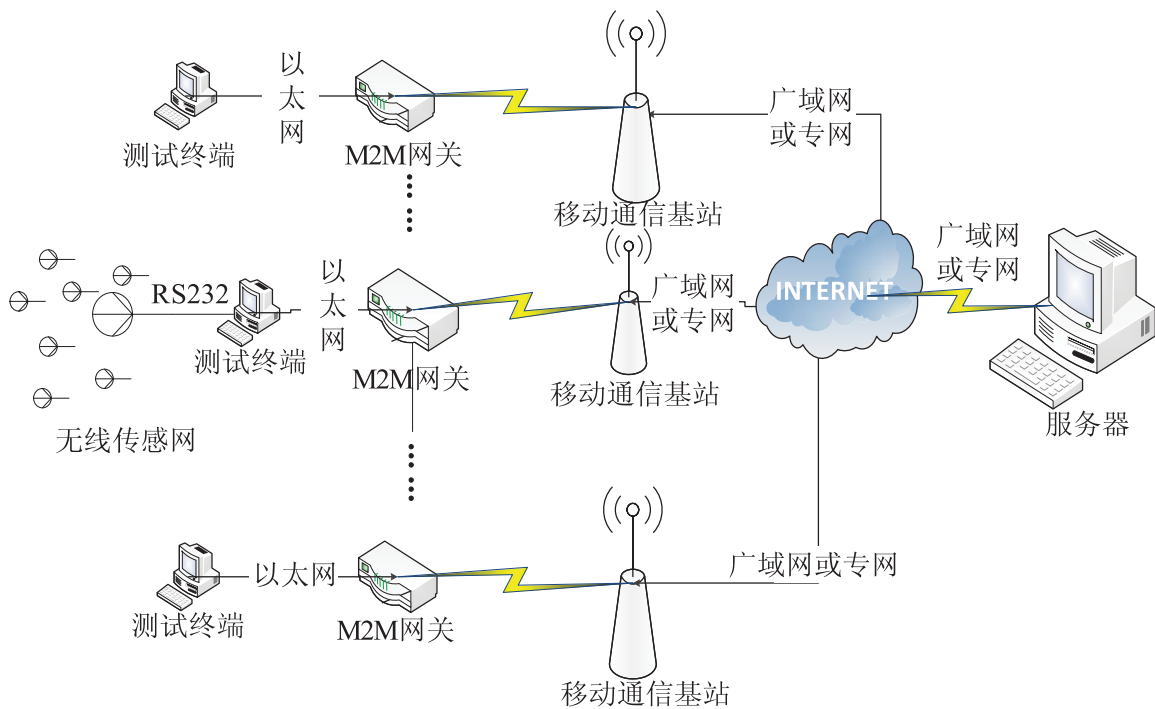


图 1 平台测试框架

Fig. 1. Test framework of platform

通过机器到机器(Machine to Machine, M2M)的网关接入蜂窝网络;测试终端通过主动式定量的测试方式,向服务器发送不同业务;服务器端通过统计来自所有测试终端的数据测试网络性能。将仿真测试和传感网测试有机地集成,并建立统一的网络测试平台,可以满足不同条件的测试,具有一定的指导意义<sup>[4]</sup>。

图2为测试终端和服务器端软件平台的组成示意图,由时间同步、仿真测试和传感网测试三个模块构成。网络测试平台集成了物理层测试和应用层测试,用途更加广泛。

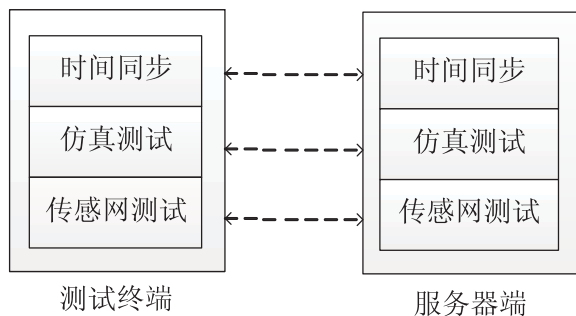


图2 软件平台

Fig. 2. Software platform

## 2.2 测试指标

网络时延、网络丢包率和网络传输速率是表征网络服务质量的重要参数,通过对它们的测量和监督可以了解网络在一段时间内的服务质量。测试终端通过一定方式发送、接收各种网络测试包,计算时延、丢包率和传输速率来监测网络服务质量<sup>[5,6]</sup>。

### 2.2.1 网络时延

通信系统中的时延定义为:一个报文或分组从一个网络的一端传送到另一个端所需要的时间。它包括了发送时延、传播时延、处理时延和排队时延。时延=发送时延+传播时延+处理时延+排队时延。一般,传播时延是我们考虑的主要因素。

时延越小表明该通信网络性能越好,通过对系统时延的测试可以判断一个网络性能好坏。

测量网络时延有两种方式:单向式和双向式。双向式测量的原理类似于网络应用程序Ping。在这种方式下,网络时延可近似视为时间之差的1/2。这种方法的优点是不用同步发送方和接收方的时间,缺点是测试包在两个测试终端间的传递可能经过不同的路线。单向测量的过程与双向测量方式相似,但接收方不再将测试包返回,而是通过比较本机的接收时间 $t_2$ 和测试包里的时间戳 $t_1$ ,得到网络时延 $\Delta t$ 。在这种测试过程中,对多个测试终端的时间同步要求非常高,否则计算结果毫无意义<sup>[7]</sup>。

$$\Delta t = t_2 - t_1 \quad (1)$$

由于平台用于测试蜂窝网络的环境,上行链路和下行链路差异较大,必须区别对待,因此,选择单向测量并增加时间同步模块。

### 2.2.2 网络丢包率

数字通信系统的丢包率可以定义为:一定数量的数据包未被接收端成功接收的概率估计。在实际测试中,发送有限数量的数据包通过系统到达接收端后,接收端实际接收到的数量 $N_{fact}$ 与总发送数据包数量 $N_{all}$ 的比值就是网络丢包率 $R_{loss}$ <sup>[8]</sup>。

$$R_{loss} = \frac{N_{fact}}{N_{all}} \times 100\% \quad (2)$$

因此,网络丢包率越低,则表明该网络性能越好,通过对丢包率的测试可以判断一个网络的性能好坏。

### 2.2.3 网络传输速率

网络传输速率表征了业务在实际网络中传输的快慢,不同测试终端发送的业务会相互影响,会以网络传输速率这一性能反映在服务器端。服务器设置定时器,设在 $\Delta t = T$ 时间内,收到 $m$ 个数据包,第 $i$ 个数据包大小为 $N_i$ ,则网络传输速率 $R_{tran}$ 计算公式如下:

$$R_{tran} = \frac{\sum_{i=0}^m N_i}{T} \times 100\% \quad (3)$$

因此, 在相同业务模型或相同传感网业务的情况下, 网络传输速率越大, 表明网络性能越好, 反之越差。

### 2.3 时间同步

常用的时间同步方式有三种: 无线电波授时、卫星授时和网络授时。

测试平台采用网络授时, 即互联网授时, 这是一种应用最广也最方便的时间同步方式<sup>[9]</sup>。通过 IP 网络, 使用网络时间协议 (Network Time Protocol) 修正系统内部时间, 具有成本低、范围广和使用方便等特点, 时间同步上能精确到几十毫秒。使用网络授时不需要添加高级的接收信号设备, 可大大简化硬件设备。

服务器端和测试终端软件通过连接矫正时间服务器, 并从该网络服务器端口 13 获取网络标准时间, 再通过管理员权限, 把网络获取的时间设置为本地电脑时间, 进而实现时间同步。

### 2.4 测试流程

如图 3 所示, 整个测试流程分为三个步骤: 首先进行时间同步, 以保证测试的精确性; 接着选择测试环境, 如果进行仿真测试, 需要提前产生业务模型, 并导入测试终端, 如果选择传感网测试, 则需要接入传感网等硬件设备; 最

后, 测试终端启动测试, 服务器端统计并计算性能指标。

## 3 仿真测试

仿真测试的测试原理是通过主动式定量的测试方式, 产生模拟的物联网业务流量, 测试实际网络系统在仿真应用下端到端的性能。业务模型及业务发生器是该测试环境重要的功能实体。

### 3.1 自相似与长相关

传统的网络流量模型一般基于泊松过程, 这些模型产生的流量通常在时域上仅具有短相关性。随着时间分辨率的降低, 即时间尺度变大, 网络流量将趋于一个恒定值, 即流量的突发性得到缓和<sup>[10]</sup>。随着研究的深入, 研究人员发现网络流量具有自相似特性, 传统的流量模型已不能很好地描述网络的自相似性, 而流量的自相似性又是网络的普遍属性, 并决定了网络的行为, 因而基于自相似建模的研究便成为网络研究中的一个重要方向。

自相似是指局部的结构与总体的结构相比有某种程度的一致性, 自相似过程在统计意义上是具有长度不变形的一种随机过程。从这一点来

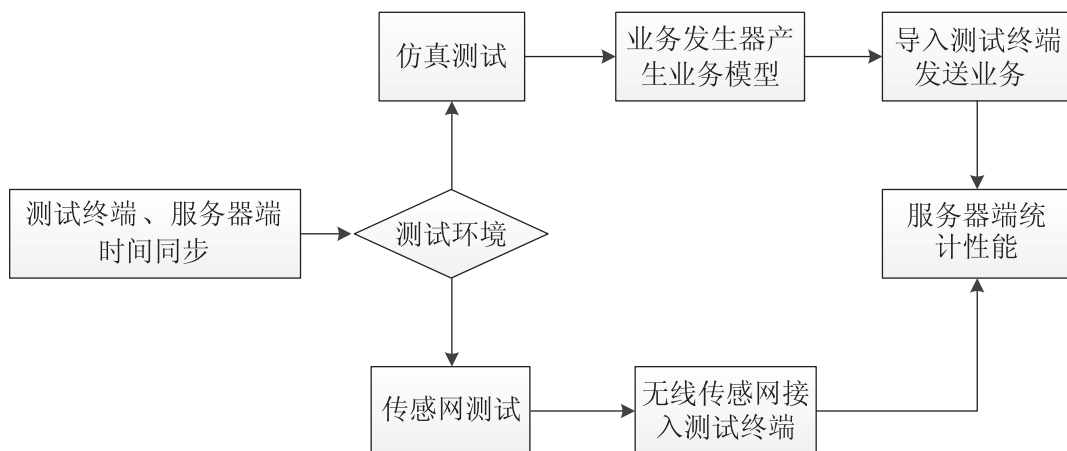


图 3 测试流程示意图

Fig. 3. Testing flow diagram

说, 自相似过程实际上是在随机过程中引入了分形的概念。网络流量具有长相关性, 是相对于泊松等短相关性而言的。从物理意义上看, 长相关性反映了自相似过程中的持续现象, 即突发特性在所有时间尺度上都存在的现象, 也称为多尺度行为特性<sup>[11]</sup>。

### 3.2 RMD 算法

RMD (Random Midpoint Displacement) 的基本概念是递归的扩展生成序列。它通过不断分割间隔来产生样本值, 每次分割时, 利用一个高斯偏移量来确定子间隔中点的样本值。通过高斯偏移量的方差标量变化, 可以产生自相似性, 图 4 简述了 RMD 的算法流程。

RMD 算法的设计是一个不断调整、不断修正的过程, 但关键在于偏移量的选取。偏移量应该是一个与原序列有关的函数。原序列的参数主要有自相似函数参数  $H$  和自相关函数  $r(k)$ 。给定一个序列, 其自相似参数  $H$  为一定值, 但其自相关函数是随  $k$  值不断变化的。由于网络业务流量的自相似特性主要是  $H$  参数来描述的, 因此决定使用原序列的  $H$  参数来建立偏移量函数  $D$ 。

生成序列在某点的值等于前后两点的算术均值再加上在此点的偏移量函数值。即可以写成

$$Y(n) = \frac{Y(n-1) + Y(n+1)}{2} + D(n) \quad (4)$$

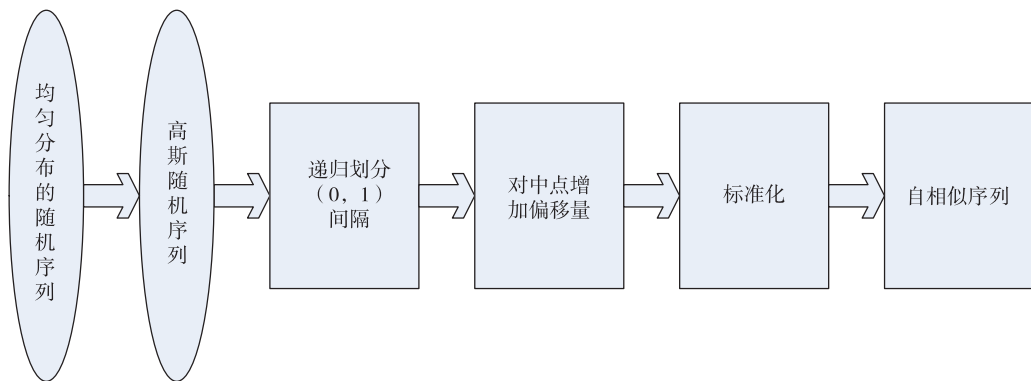


图 4 RMD 算法流程

Fig. 4. Flow diagram of RMD algorithm

首先需要产生一个均值为 0, 方差为 1 的正态分布随机数组  $G_n$ , 令  $H$  为原序列的自相似参数,  $F$  为生成序列的自相似参数, 则:

$$\Delta H = \frac{F - H}{H} \quad (5)$$

上式为生成序列与原序列的自相似参数偏离的程度。选取偏移量函数为  $D(i) = G(n)\theta_i$ , 其中  $\theta_i^2 = \frac{\delta^2(1 - 2^{2H-2})}{2^{2Hi}}$  ( $i$  为迭代次数)。由于正态分布随机数组  $G_n$  的方差为 1, 故:

$$D(i) = G(n) \sqrt{\frac{(1 - 2^{2H-2})}{2^{2Hi}}} \quad (6)$$

则迭代  $m$  次可生成  $2^m$  的序列值。

### 3.3 业务发生器

按照流量建模的方式, M2M 源的流量模型主要由下面两个变量来表征:

数据包大小: 表征一个 M2M 数据包包含的数据量 (byte 数);

数据包间隙: 表征相邻 2 个 M2M 数据包之间中断间隙。

典型 M2M 业务流量模型如图 5 所示。

业务发生器可以根据测试要求产生相应的网络业务, 业务以 Dat 文件存储, 具体格式如表 1 所示, 可通过终端测试软件导入。业务模型由一个  $M \times N$  矩阵构成,  $M$  代表 M2M 测试终端数

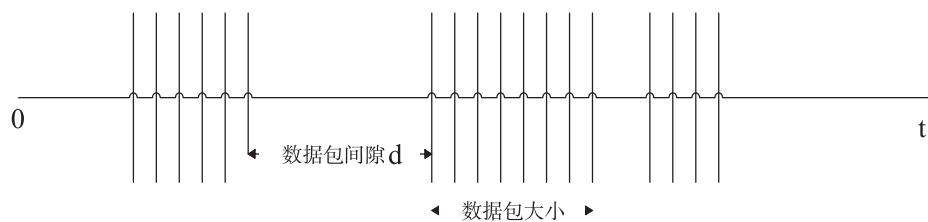


图 5 M2M 业务流量模型

Fig. 5. Flow model of M2M traffic

量, 编号 ID 为  $0 \sim M-1$ ,  $N$  代表业务流量长度。通过业务模型表获取发送的数据包大小以及数据包间隙, 终端  $i$  通过导入的业务模型读取属于自己的业务, 非 0 则产生相应大小的数据包  $x$  或  $y$ , 遇 0 则等待发包直至下一个非 0 数据。

表 1 业务流量格式

Table 1. Format of traffic mode

测试终端	数据包大小	数据包时间间隙	数据包大小	数据包时间间隙
终端 1	$x$	00000	.....	.....
终端 2	$y$	00000	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....

## 4 传感网测试

传感网测试的原理是通过主动式定量的测试方式, 利用真实传感网节点产生的业务流量, 测试实际网络系统在实际应用下端到端的性能。

### 4.1 传感网业务

与传统的网络相比, 无线传感器网络所包含的节点数量巨大, 业务种类丰富, 应用场景也各不相同, 如气象监测和智能家居和远程医疗等。

本节内容以实际传感网节点产生的业务作为测试数据, 测试真实业务流对网络性能的影响。

### 4.2 接口设计

无线传感网由众多节点构成, 其中有一类特殊的节点——汇聚节点(Sink 节点), 其不仅具有

普通节点采集信息的能力, 还负责把子传感网网络中其他节点的信息转发至测试终端。Sink 节点与测试终端之间的通信接口是网络测试平台与实际传感网结合的关键<sup>[12]</sup>。

在各种通信接口标准中, 最终选择 RS232 串口通信, 保证了 Sink 节点与测试终端的通信质量和转发速率, 相应地减少测试误差。

RS232 串行总线设定波特率为 9600, 数据位为 8, 停止位为 1, 校验位 NONE。

## 5 平台优势

文章提出的物联网网络综合测试平台相比传统测试平台, 有以下三方面优势:

### (1) 平台具有集成性和综合性

传统测试平台功能单一, 主要分为物理层测试和应用层测试。物理层测试手段一般都是用硬件测试设备, 测试环境要求较高, 同时需要消耗大量的人力和物力, 尤其是在对较大规模网络进行测试时, 还需要更多额外的设施与配置。应用层测试一般只针对常规网络业务模型, 既不提供硬件测试接口, 也不支持实物测试。而文章提出的综合测试平台将两者功能融合, 既支持应用层测试, 也支持物理层测试, 集成了不同测试平台的优势。

### (2) 平台具有针对性

传统的物理层测试平台测试中的时间同步需要 GPS 设备并且需要在各个测试点布置人员协

助测试。应用层测试平台主要适用于 Internet 性能测试,上下行具有对等性,通常认为往返时间的一半等于网络时延,因此不需要时间同步。

然而,文章提出的平台主要是测试蜂窝网络。不同于 Internet,蜂窝网络作为无线传感网接入互联网的首选通道,其上下行具有不对等性,如果沿用往返时间计算网络时延,将会造成较大的误差。综合考虑,平台使用 NTP 网络协议,进行精确的单向测量,该方式更加适用于蜂窝网络。

### (3) 平台业务具有相关性

传统的应用层测试一般针对传统互联网业务进行仿真测试,如 HTTP 和 FTP 等,传统业务一般基于泊松建模,不同用户业务间没有关联,不能反映出物联网业务的特点。

平台使用 RMD 算法生成具有相关性的多用户业务模型,更好地仿真物联网业务,具有更高的参考价值。

## 6 结束语

对网络进行研究的最终目的是建立高效、稳定、安全、可预测和可控制的网络,而网络测量是获取第一手网络行为指标和参数最有效的手段。

文章针对物联网的主要传输通道蜂窝网络进行测试,建立统一的综合测试平台,集成实际传感网测试和仿真业务测试,并重点研究 M2M 业务模型,提出 RMD 算法模拟传感网业务,有一定的实用性,对物联网时代的蜂窝网络规划有一

定的指导意义。

## 参考文献

- [1] 吕廷杰. 物联网的由来与发展趋势 [J]. 信息通信技术, 2010, 3(2): 4-8.
- [2] 谈杰, 李星. 网络测量综述 [J]. 计算机应用研究, 2006, 23(2): 5-8.
- [3] 贾志鹏, 张炎, 郑忠斌等. 物联网测试需建立集成的测试设备 [J]. 世界电信, 2011, 16(7): 64-65.
- [3] 陈敏. 网络综合测量探针软件设计与实现 [D]. 北京: 中国科学院, 2006.
- [4] 吴琼, 薛楠. 物联网业务对通信网络的影响研究 [J]. 移动通信, 2010, 26(21): 57-60.
- [5] 谢高岗. IP 网络性能测量技术研究 [D]. 湖南: 湖南大学, 2002.
- [6] Coates M, Hero A. Internet tomography [J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2002, 19(3): 47-65.
- [7] 赵荣芳, 耿玉水, 韩涛. 网络时延测量技术研究 [J]. 山东轻工业学院学报, 2009, 27(2): 75-77.
- [8] 周磊. 网络流量丢包率预测模型 [J]. 无线电工程, 2011, 41(10): 7-8.
- [9] 刘艳, 范逊, 阎保平. 网络监控中时间同步技术研究与应用 [J]. 计算机应用研究, 2006, 32(12): 132-134.
- [10] 蒋林岑, 季一木. 物联网业务模型描述语言的研究与设计 [J]. 计算机技术与发展, 2012, 12(2): 249-253.
- [11] 王海陶, 宋小明, 卢纪宇. 物联网业务特征及业务模型研究 [J]. 广西通信技术, 2012, 23(3): 43-49.
- [12] 孙川, 王营冠, 李振伟. 基于无线传感网与移动通信网的网络融合模型 [J]. 现代电子技术, 2013, 36(7): 4-7.