



VANET 中基于碰撞概率和过期概率的自适应退避算法研究*

刘委婉^{1,2}, 陈志佳³, 刘南杰^{1,2}, 仲浩^{1,4}, 赵海涛^{1,2}

(1. 南京邮电大学通信与信息工程学院 南京 210003; 2. 南京邮电大学网络基因工程研究所 南京 210003;
3. 国网上海市电力公司信息通信公司 上海 200122; 4. 江苏有线数据网络有限公司 南京 210003)

摘要: 为了提高车载自组织网络中信标消息的广播接收率, 可通过建立马尔可夫链模型得出消息的碰撞概率和过期概率随最小竞争窗口的变化关系。根据上述结论提出一种根据当前车载网中过期消息数与预先设定门限值的相对大小关系而进行最小竞争窗口调整的退避算法 CEB; 对新提出的算法和原有的退避算法 RBEB 及 BEB 进行了仿真对比分析。仿真结果表明, 所提出的退避算法相比于已有的退避算法, 信标消息性能有了很大的提升。

关键词: VANET; 退避算法; 信标消息; 过期概率; 碰撞概率

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2014.03.017

A Self-Adaptive Back-Off Algorithm Based on Collision Probability and Expiration Probability of Beacons in VANET

Liu Weiwan^{1,2}, Chen Zhijia³, Liu Nanjie^{1,2}, Zhong Hao^{1,4}, Zhao Haitao^{1,2}

(1. College of Telecommunications & Information Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China;

2. Digital (Network) Gene Engineering Research Institute, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China;

3. State Grid Shanghai Municipal Electric Power Company Information and Communications Company, Shanghai 200122, China;

4. Jiangsu Cable Data Network Co., Ltd., Nanjing 210003, China)

Abstract: In order to improve the broadcast reception rate in VANET, the conclusion that the relationship between collision probability and minimum contention window size and the relationship between expiration probability and minimum window size were reached by building Markov model. According to this conclusion, a minimum contention window size adjustment back-off algorithm called CEB was proposed, it is on the basis of the relative size between the number of expiration beacons and pre-set threshold. Simulations were done to compare the performance of CEB, RBEB and BEB, and the results show that the performance of the new proposed algorithm is better than that of RBEB and BEB.

Key words: vehicular Ad Hoc network, back-off algorithm, beacon information, expiration probability, collision probability

* 国家重点基础研究发展计划(“973”计划)基金资助项目(No.2013CB329005), 国家电网公司科技项目基金资助项目(No.52090F135015), 国家自然科学基金资助项目(No.61302100, No.61201162), 江苏省基础研究计划—重点研究专项基金资助项目(No.BK2011027, No.BK2012434), 江苏省高校自然科学基金研究基金资助项目(No.12KJB510022, No.12KJB510020), 中国博士后研究基金资助项目(No. 2013M531391), 教育部博士点基金资助项目(No.20123223120001)

1 引言

车载自组织网络^[1](vehicular Ad Hoc network, VANET)(以下简称车载网)作为智能交通系统的基本组成部分,是指在交通道路上车辆之间、车辆与固定接入点之间相互通信组成的移动 Ad Hoc 网络。提供车辆与车辆(vehicle-to-vehicle, V2V)、车辆与基础设施(vehicle-to-infrastructure, V2I)之间的相互通信,用于传递辅助驾驶或避免事故的实时信息或提供娱乐信息、Internet 接入等数据服务,为实现安全便捷驾驶提供了强大的通信支持,在事故预警、保障交通安全以及优化交通流量等方面发挥了重要作用。

IEEE 802.11p^[2]协议是 WAVE(wireless access in vehicular environment)协议栈的底层协议,它是 IEEE 802 协议族的新成员,专门用于支持车载网下的应用。目前 IEEE 802.11p 协议仍然处于草案阶段。IEEE 802.11p 将信道分为 7 个子信道,每个子信道是 10 MHz,在 5.9 GHz 的频谱之上,如图 1 所示。每个子信道拥有 27 Mbit/s 的带宽,保护间隔是 IEEE 802.11a 的两倍,信号传输的范围能够延伸到 1 km。IEEE 802.11p 的物理层采用的是 IEEE 802.11a 传输技术。MAC 层采用两种访问机制:基本接入协议是基于 IEEE 802.11 的 DCF (distributed coordination function,分布式协调功能)机制,该机制不区分消息的优先级,节点应该在指定的时间间隔内,利用载波侦听机制判断信道是否空闲,通过退避减少消息间的碰撞;扩展层接入协议是基于 IEEE 802.11e 的 EDCA 机制^[3],通过 EDCA (enhanced distributed channel access) 机制,IEEE 802.11p 可以将不同的数据流按优先级分成不同的接入类别,这样可以保证车载应用的服务质量。EDCA 定义了 4 个不同的接入类别,分别对应于 MAC 层的 4 个传输队列。由于本文研究的是车辆间传输的信标信息,该消息不需要区分消息优先级类别,因此本文重点研究 DCF 接入机制。

信标信息又叫做合作性提醒消息(cooperative awareness message, CAM),与分布式紧急消息通知(decentralized emergency notification, DEN)的不同之处在于,它不需要任

何的触发机制,每隔一定的时间都会向周围的车辆广播一次自身的行驶速度、方向、位置等信息,并且它的生命周期是有限的。因此,在车载网中需要采取有效的退避机制来保证信标消息能够实时准确地传递给周边车辆。本文针对车载网中信标消息的特性,根据分组丢失中过期消息数与预先设定门限值的相对大小提出一种新的退避算法 CEB (collision-expiration back-off)。

2 相关工作

IEEE 802.11 DCF 的核心是带冲突检测的载波侦听多址接入(CSMA/CA)协议及随机退避机制。DCF 接入机制为:当某个站点需要传输数据分组时,它首先侦听信道直到检测到信道的空闲时长达到 DIFS 为止。在这 DIFS 媒体空闲时间之后,节点开始在 $[0, CW_{\min}-1]$ 随机选择时间进行退避,当退避计数器为 0 时节点开始传输数据分组^[4]。DCF 采取二进制指数退避 (binary exponential back-off, BEB) 算法^[5]来选择退避时间。在该算法中,节点在每次碰撞后会将竞争窗口 (contention window, CW) 值增大一倍,直到 CW 达到最大竞争窗口 (maximum contention window, $CW_{\max}$) 值为止,当节点成功传输一个信号时,就将当前的 CW 值恢复为 $CW_{\min}$ 。Li J 等人在参考文献[6]中指出,IEEE 802.11 DCF 在处理大量竞争节点尤其是隐藏节点存在的网络时,性能很差;Stanica R 等人在参考文献[7]中对 BEB 算法进行了改进,根据信标消息过期的特性提出了 RBEB 算法。在 RBEB 算法中,最小竞争窗口的初始值设置得相对较大,每当有消息过期时就将竞争窗口值减半,直到达到 IEEE 802.11p 规定的最小值为止。一旦成功传输一个信标消息,最小竞争窗口值就恢复为初始值。但是该算法主要存在以下几个缺点。

- 退避初始时将最小竞争窗口值设置得过大将会增加信标消息的时延。
- 每当有消息过期时就将竞争窗口值减半,竞争窗口值变化幅度过大,不能很好地反映当前网络信道的竞争情况。

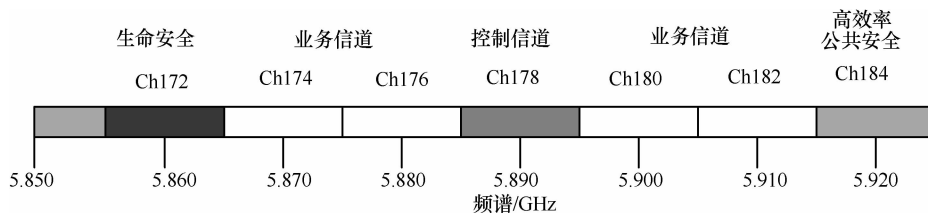


图 1 IEEE 802.11p 频谱段和信道分配



- 没有考虑消息碰撞概率对网络性能的影响。魏李琦等人在参考文献[8]中指出车辆间的相对速度对于信道接入的公平性有重要影响,并提出基于相对速度的退避算法,该算法相对于 BEB 算法具有一定程度的改进。

纵观近年来车载网中信标消息接入机制的研究工作,关于碰撞概率和过期概率对于信标消息性能的影响并没有给予足够的重视,尤其是在 V2V 通信模式下联合考虑碰撞消息和过期消息对最小竞争窗口进行调整的问题。本文在 RBEB 算法的基础上,根据其算法的不足并结合参考文献[8]中的研究方法,提出一种新的基于碰撞消息概率和过期消息概率的退避算法 CEB。

本文的贡献如下。

- 建立马尔可夫链模型推出信标消息中碰撞概率与过期概率随最小竞争窗口的变化关系。
- 结合碰撞概率和过期概率与最小竞争窗口的关系提出一种新的退避算法 CEB。
- 通过 NS2 和 VanetMobiSim 联合仿真,就广播接收率和平均到达时延的性能,将 CEB 算法与 BEB 算法及参考文献[7]中提出的 RBEB 算法进行了比较。

3 信标消息性能建模

为了能够更好地理解信标消息的特性(考虑信标消息具有有限的生命时长),通过建立如图 2 所示的马尔可夫链模型进行分析。

马尔可夫状态转移概率为:

$$\begin{cases} P\{i|i+1\}=1, & i \in [0, W_0-2] \\ P\{i|0\}=1/W_0, & i \in [0, W_0-1] \end{cases} \quad (1)$$

W_0 为最小竞争窗口值。在退避阶段,节点会从 $[0, W_0-1]$ 随机选择值进行退避。

(1) 单独考虑某一时刻($t=i$)的退避过程,一阶马尔可

夫链的平稳概率为:

$$\begin{cases} b_k = \frac{W_0 - k}{W_0} b_0, & 0 \leq k \leq W_0 - 1 \\ \sum_{k=0}^{W_0-1} b_k = 1, & b_k \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

其中:

$$b_k = \lim_{t \rightarrow \infty} \{b(t) = k\}, \quad k \in [0, W_0 - 1] \quad (3)$$

解式(2)得:

$$b_0 = \frac{2}{W_0 + 1} \quad (4)$$

设 τ 为节点在该时刻进行信息传输的概率,则:

$$\tau = b_0 = \frac{2}{W_0 + 1} \quad (5)$$

不考虑信道存在误码的情况,有:

$$P_c = P_b - P_s \quad (6)$$

其中, P_c 为消息产生碰撞的概率, P_s 为消息成功传输的概率, P_b 为信道繁忙的概率:

$$P_b = 1 - (1 - \tau)^M \quad (7)$$

$$P_s = M\tau(1 - \tau)^{M-1} \quad (8)$$

M 为竞争节点数目,结合式(7)、式(8)可知:

$$P_c = 1 - \left(1 - \frac{2}{W_0 + 1}\right)^{M-1} \frac{W_0 - 1 + 2M}{W_0 + 1} \quad (9)$$

(2) 考虑多个时刻时,由参考文献[7]知:

$$P_e = 1 - P_b \bar{P}_b - \frac{P_b}{W_0} (1 - \bar{P}_b) - \sum_{i=W_0-1}^{T-1} \bar{P}_b P_1^{(i)} \quad (10)$$

其中, P_e 为信标消息过期的概率, $P_1^{(i)}$ 表示 $t=i$ 时退避值为 1 的概率。根据式(9)和式(10)可知,当增大竞争窗口 W_0 时,消息的碰撞概率 P_c 会减小,而消息的过期概率 P_e 会增加。

综上所述,可以得出如下结论:当竞争窗口在一个较小范围时,消息的碰撞概率大于消息的过期概率,而碰撞

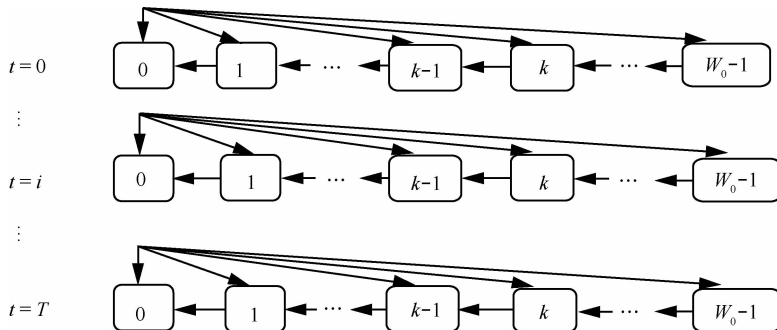


图2 信标消息的马尔可夫链(当 $t=T$ 时消息过期)

概率会随着竞争窗口的增大而减小,因此为了增加广播的接收率应该增加最小竞争窗口的值;当竞争窗口处于较大值范围时,消息的过期概率占据主要成分,而消息的过期概率会随着最小竞争窗口的增大而增大,所以为了增加广播的接收率,此时应该减小最小竞争窗口的值;当消息的碰撞概率与过期概率达到均衡时,广播接收率能够达到最大值。因此最优的竞争窗口应该能够保证消息的碰撞概率和过期概率之间的均衡。

4 基于碰撞率和过期率的退避算法

为了解决 V2V 通信模式下信标消息广播接收率过低的问题,针对车载网中信标消息的特性,提出一种基于碰撞消息概率和过期消息概率的退避算法 CEB。由于无法统计分组丢失中的碰撞消息数,在本文中采取一种折中的方法:每个车辆节点根据本节点统计的过期消息数目与预先设定的过期消息数门限的比值动态调整最小竞争窗口值,以达到提高车载网中广播接收率的目的。

CEB 算法是基于信标消息过期概率、碰撞概率与最小竞争窗口的关系这一思想而提出的,它的实现也十分简单方便。每个节点只需要在 MAC 帧头增加一个区域用于统计过期消息数,并设定一个合理的过期消息数门限 m_0 (m_0 为经过多次仿真后取得的合理值)。节点根据区域里的值与 m_0 的大小关系进行最小竞争窗口调整。在本文中认为当过期消息数小于 m_0 时,网络中的分组丢失主要由消息的碰撞导致,此时根据前面的分析,为了提高广播的接收率应该增加最小窗口的值;当过期消息数大于 m_0 时,认为网络中的分组丢失主要由消息过期导致,此时应该减小最小竞争窗口的值;当过期消息数为 m_0 时,最小竞争窗口的值保持不变。在统计区域内的过期消息数时,需要将时间分成周期性的观察间隔 (observation interval, OI), 每过一个 OI 就统计当前的过期消息数目并将当前区域内的值清空。在本文中将 OI 的值设定为一个信标消息周期。

CEB 算法具体的伪代码如下,其中 m_i 表示当前 OI 内某个特定车辆节点的过期消息数目, CW_{min} 为 IEEE 802.11p 协议规定的最小竞争窗口值。

算法 1 CEB 算法伪代码

if(在 OI 内)//统计 OI 内信标消息过期数目,包括收到的和在节点队列里因过期而丢弃的

```
{
     $m_i=0$ ;
```

```
if(过期消息被丢弃) then
```

```
     $m_i+=1$ ; //统计当前节点过期消息数
```

```
end if
```

```
     $d=m_i/m_0$ ;
```

```
     $m_i=0$ ;//在 OI 结尾清空区域内的值
```

```
} end if
```

```
CW= $CW_{min}$ ; //将 IEEE 802.11p 协议规定的最小竞争窗口值赋给当前的最小竞争窗口
```

```
CW=CW/d; //根据 d 调整最小竞争窗口的值。
```

```
if( $CW \leq 3$ )
```

```
    CW=3;//如果最小竞争窗口值小于或等于 3,取 IEEE 802.11p 规定的最小竞争窗口值的最小值 3
```

```
end if
```

```
if( $CW \geq 15$ )
```

```
    CW=15;//如果最小竞争窗口值大于或等于 15,取 IEEE 802.11p 规定的最小竞争窗口值的最大值 15
```

```
end if
```

```
end if
```

5 CEB 性能仿真

为了验证 CEB 算法对车载网中信标消息性能的影响,本文采取 VanetMobiSim1.1 和 NS2.35 进行联合仿真。车载网络移动性模拟器 VanetMobiSim^[9]能够方便地定义车辆的真实移动模型和具体移动参数。它所具有 IDM_IM 模型和 IDM_LC 模型均考虑了真实的交通规则和场景,考虑了车辆之间的相互作用,能得到更真实的车辆移动性仿真轨迹。NS2^[10]是 UC Berkeley 大学开发的一个离散事件仿真器,是进行网络研究主流仿真软件之一,它的仿真过程如图 3 所示^[11]。

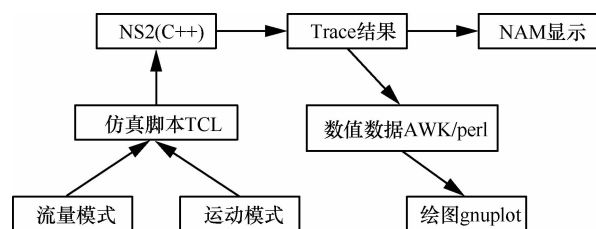


图 3 NS2 仿真流程

在仿真平台中,本文对直线型的高速公路进行模拟,每个方向两个车道共 4 个车道,采用 IDM_LC 模型。每条道路的长度为 2 000 m,车辆数为 10~80,广播的通信范围设置为 300 m。具体的仿真参数见表 1。



表 1 仿真参数设置

参数	值	参数	值
场景大小	2 100 m×2 100 m	噪声门限	-99 dBm
仿真时间	200 s	发送功率	0.01 W
车辆移动模型	IDM_LC	时隙长度	0.000 013 s
车辆移动速度	10~30 m/s	SIFS 时长	0.000 032 s
无线传播模型	TwoRayGround	传播时延	0.000 001 s
MAC 层协议类型	IEEE 802.11p	广播分组大小	400 byte
工作频率	5.895 GHz	发送分组频率	10 Hz
信道带宽	10 MHz	信标周期	1 500 slot

图 4 表示改变车辆节点总数时,信标消息的广播接收率在 BEB、RBEB 和 CEB 算法下的变化趋势。通过对比可以发现,在车载网环境下利用 CEB 算法,广播接收率的性能相比于 BEB 算法和 RBEB 算法有明显的提高。观察曲线可知,随着节点数的增加,CEB 算法的优势越趋明显。这是因为 CEB 算法综合考虑了信标消息的碰撞概率和过期概率,相比于 RBEB 算法中只考虑信标消息的过期概率和 BEB 算法只考虑信标消息的碰撞概率来说,更能够根据当前的信道情况进行最小竞争窗口的调整,使得当前的竞争窗口值能够最大化反映当前网络中信道的竞争情况。

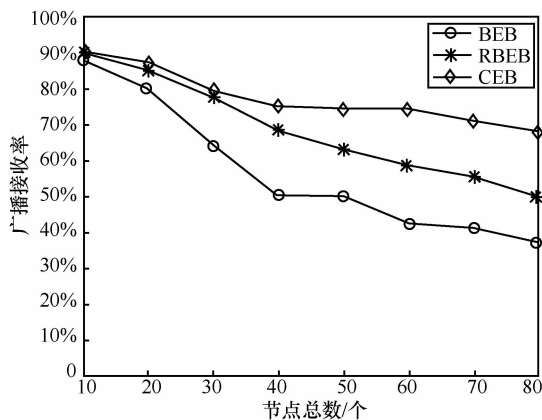


图 4 广播接收率变化

分析单个广播接收率的曲线可以发现,信标消息的广播接收率与周围竞争节点数是密切相关的。当周围邻居节点数目较少时,信标消息的信道访问竞争程度轻,此外,隐藏终端的影响也较小,因此此时的广播接收率较大;而当周围的邻居节点数目增多时,竞争信道的节点增多,传输冲突概率增加,因此广播接收率有所下降。

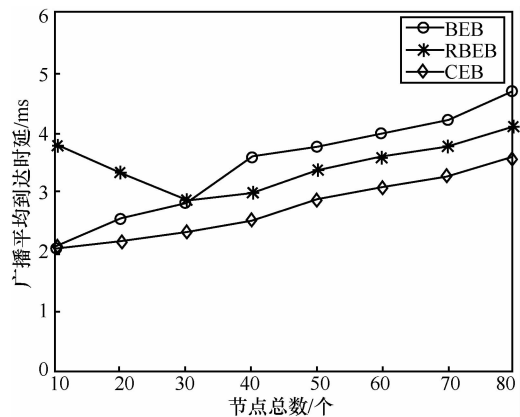


图 5 广播平均到达时延变化

图 5 表示改变车辆节点总数时,信标消息的平均到达时延在 BEB、RBEB 和 CEB 算法下的变化趋势。通过对比可以发现,CEB 算法在提高广播接收率的同时也带来了信标平均到达时延性能的提升。这是因为相对于 BEB 和 RBEB 算法中最小竞争窗口以指数幂变化来说,CEB 算法的最小竞争窗口是线性变化的,能够较好地反映当前网络中信道的竞争情况。

6 结束语

车载网是由车辆节点组成的移动 Ad Hoc 网络,具有网络拓扑动态变化、信道不稳定等特点。IEEE 802.11p 协议中 MAC 层的 DCF 机制在高动态拓扑变化的车载网中性能并不是很好,尤其是针对车载网中的广播消息,由于没有反馈机制,传统的 BEB 算法并不能应用在车载网中。本文针对车载网中信标消息的特性,提出基于碰撞概率和过期概率的最小竞争窗口调整算法 CEB,通过优化退避机制来降低信标消息传送过程中信道竞争程度,提高了信标消息的广播接收率,降低了平均到达时延。

参考文献

- 1 Preparation for Driving Implementation and Evaluation of C-2-X Communication Technology, Detailed Description of Selected Use-Cases and Corresponding Technical Requirements. Pre-Drive C2X Deliverable D4.1, 2008
- 2 IEEE P802.11pTM/D5.0. Draft Standard for Information Technology—Telecommunications and Information Exchange between Systems-Local and Metropolitan Area Networks—Specific Requirements—Part11:Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 7:Wireless Access in Vehicular Environments, 2011

3 Rawat D B, Popescu D C, Yan G, *et al.* Enhancing VANET performance by joint adaptation of transmission power and contention window size. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 2011, 22(9): 1528~1535

4 Ma X, Chen X, Refai H H. Unsaturated performance of IEEE 802.11 broadcast service in vehicle-to-vehicle networks. *Proceedings of Vehicular Technology Conference 2007*, Baltimore, USA, 2007: 1957~1961

5 于倩. 基于 Ad Hoc 网络退避算法的研究. 燕山大学硕士学位论文, 2012

6 Li J, Blake C, Couto D D, *et al.* Capacity of Ad Hoc wireless networks. *Proceedings of the ACM Annual International Conference on Mobile Computing and Networking(MOBICOM 2001)*, Rome, Italy, 2001

7 Stanica R, Chaput E, Beylot A L. Enhancements of IEEE 802.11p protocol for access control on a VANET control channel. *Proceedings of IEEE International Conference on Communications, ICC 2011*, Kyoto, Japan, 2011: 1~5

8 魏李琦, 肖晓强, 陈颖文等. 基于相对速度的 IEEE 802.11p 车载网络自适应退避算法. *计算机应用研究*, 2011 (10)

9 VanetMobiSim. <http://vanet.eurecom.fr/>, 2013

10 Network Simulator 2 (ns2). <http://nsnam.isi.edu/nsnam/index.php/Main Page>, 2013

11 熊栋宇, 陈前斌, 唐伦等. 车载安全应用广播性能分析. *计算机应用研究*, 2010(4)

[作者简介]



刘委婉,女,南京邮电大学硕士生,主要研究方向为移动通信与无线技术、车载自组织网络的 MAC 协议。

陈志佳,女,国网上海市电力公司信息通信公司工程师,长期从事电力通信工作。

刘南杰,男,博士,南京邮电大学教授、硕士生导师,教育部工程研究中心副主任,南京邮电大学网络基因研究所所长,中国通信学会信息通信网络技术委员会委员,主要研究方向为车联网通信与网络基因工程。

仲浩,男,南京邮电大学硕士生,江苏有线数据网络有限公司工程师,主要研究方向为无线通信与传输。

赵海涛,男,博士,南京邮电大学讲师、硕士生导师,主要研究方向为无线多媒体通信。

(收稿日期:2013-08-28)



· 简讯 ·

2014 年 1 月通信业主要指标完成情况(一)

指标名称	单位	本年本月止累计到达	比上年同期累计	本月
电信营业收入	亿元	1 123.9	9.8%	1 123.9
其中:电信主营业务收入	亿元	947.1	9.2%	947.1
电信固定资产投资完成额	亿元	119.1		119.1
固定本地电话通话时长合计	万分钟	2 290 995.5	-17.4%	2 290 995.5
区间电话通话时长	万分钟	224 384.1	-22.1%	224 384.1
区内电话及拨号上网通话时长	万分钟	2 066 611.4	-16.8%	2 066 611.4
固定长途电话通话时长合计	万分钟	427 442.1	-19.0%	427 442.1
国内长途电话通话时长	万分钟	418 980.0	-18.6%	418 980.0
国际电话通话时长	万分钟	4 823.8	-37.4%	4 823.8
港澳台电话通话时长	万分钟	3 638.3	-29.8%	3 638.3
移动电话通话时长合计(含本地)	万分钟	24 658 295.5	3.8%	24 658 295.5
移动电话国内长途通话时长	万分钟	5 470 821.3	3.5%	5 470 821.3
移动电话国际电话通话时长	万分钟	10 572.8	9.6%	10 572.8
移动电话港澳台电话通话时长	万分钟	8 160.9	-2.7%	8 160.9
移动短信业务量	万条	7 356 172.3	-4.5%	7 356 172.3
移动互联网接入流量	万 GB	13 263.3	46.9%	13 263.3

注:(1)收入增长率按可比口径计算。(2)固定长途电话通话时长和移动电话通话时长均包含相应的 IP 电话通话时长。(3)通话时长各项指标均为去话通话时长。

(来源:工业和信息化部运行监测协调局)