

基于 CSMA/CD 改进的混合 RFID 防碰撞算法

姜志峰,云中华,朱利娟,陈夫桂
(西藏大学,西藏 拉萨 850012)

摘要:随着射频识别技术在日常生活中的广泛应用,提高 RFID 系统的识别效率,成为一个急需解决的问题。RFID 系统运行时,读写器查询阅读区域内的电子标签,当存在多个电子标签同时做出应答响应时,会发生不同层次的标签碰撞。为解决这一问题,在 ALOHA 算法的基础上提出了一种基于 CSMA/CD 改进的混合 RFID 防碰撞算法。首先由时隙 ALOHA 算法完成首次识别,剩余未成功识别的标签通过借鉴有线以太网中的协议思想,应用于无线收发领域。即由载波监听/冲突检测机制和截断二进制指数退避算法完成二次重传,但需要增加硬件装置来发射干扰信号,加强标签碰撞。一旦被成功识别,就立即从后端服务器中检索对应的标签信息。仿真结果表明,改进算法有效缩短了标签识别时间,提高了标签识别效率。

关键词:无线射频识别;首次识别;CSMA/CD;二次重传;服务器

中图分类号:TP301

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2018)03-0078-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2018.03.016

An Improved Hybrid RFID Anti-collision Algorithm Based on CSMA/CD

JIANG Zhi-feng, YUN Zhong-hua, ZHU Li-juan, CHEN Fu-gui
(University of Tibet, Lhasa 850012, China)

Abstract: With the extensive application of radio frequency identification technology in the daily life, it is an urgent problem to improve the efficiency of identification for RFID system. When RFID system is running, the reader queries the electronic tag in the reading area. When there are multiple electronic tags at the same time to respond, the tag collision with different levels will occur. In order to solve this problem, we propose an improved hybrid RFID anti-collision algorithm based on CSMA/CD in according with ALOHA. First the first identification is completed by the time slot ALOHA, and the remaining tags of unsuccessful identification are applied to the wireless transceiver according to the ideas from cable Ethernet protocol. It means the second retransmission is achieved by the carrier monitoring/collision detection mechanism and truncated binary index backoff algorithm, but needed to increase the hardware to launch the interference signal for the tag collision enhancement. Once successfully identified, the corresponding tag information is immediately retrieved from the back-end server. The simulation shows that the improved algorithm can effectively shorten the recognition time and improve the efficiency of tag recognition.

Key words: RFID; first identification; CSMA/CD; secondary retransmission; server

0 引言

计算机通信除了传送数据外,它还进行数据交换、实时监测和数据处理等。但主要是以数据传输为基础,并与计算机相关技术紧密联系。而“射频识别技术”(radio frequency identification, RFID)是一种依赖于计算机技术的非接触式自动识别以及读取相关数据的技术,主要通过无线电信号识别特定目标并读写相

关数据。它具有耐高温、使用寿命长、读写性能优越、存储数据容量大和存储信息易更改等优点。RFID 系统主要由三部分组成:电子标签、读写器和系统高层。其中读写器不仅要要对电子标签做出应答响应,还要实时处理数据信息。数据处理主要由系统高层解决,也就是计算机网络系统。读写器通过标准接口与计算机网络连接,再由计算机网络完成数据处理、传输和通信

收稿日期:2017-04-06

修回日期:2017-08-11

网络出版时间:2017-12-05

基金项目:西藏自治区高校青年教师创新支持计划项目(QCZ2016-26);西藏自治区自然科学基金(2016ZR-15-8);西藏大学青年科研培育基金项目(ZDPJZK1508);西藏大学大学生创新训练项目(2016QCX038)

作者简介:姜志峰(1994-),男,研究方向为计算机网络、嵌入式系统;云中华,硕士,讲师,通讯作者,研究方向为嵌入式系统。

网络出版地址:http://cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20171205.0904.024.html

的功能。

RFID 系统广泛应用在众多领域,如家禽养殖业、加工零售业和交通运输业等^[1]。但在实际应用中,当多个电子标签同时响应读写器的应答命令时,它们之间建立的共享信道可能会发生冲突即标签碰撞,形成无效传输。若碰撞次数过多,会大大降低信道的利用率,而且影响 RFID 系统整体的工作效率。目前解决标签碰撞的算法有二进制确定性算法、ALOHA 概率性算法和它们的混合改进算法^[2-5]。文献[4]中列举了基本的防碰撞协议,而文中基于数据链路层中的 TBEB 和 CSMA/CD^[6]协议提出了一种改进算法,提高了首次未识别标签被成功识别的概率。

1 CSMA/CD 和截断二进制指数退避算法

“载波侦听多路访问/冲突检测(carrier sense multiple access/collision detection, CSMA/CD)”协议^[7-9]是一种分布式介质访问控制协议。CSMA/CD 应用在 OSI 7 层里的数据链路层,基本工作原理:在发送数据包之前监听共享信道是否处于空闲状态,只有介质处于空闲状态时,才可以被允许发送数据帧。此时,如果有两个或两个以上的站同时监听到介质处于空闲状态且发送帧时,则会产生数据冲突现象,那么发送的数据帧就变为一个无效帧,发送失败。如果检测到站发生冲突,应该立即停止发送,避免造成因传送无效帧而使介质带宽浪费的现象。随后延时一段时间,再重新争用介质,重新发送数据帧。这样就会有效提高数据传输效率,从而大大减小失传率。

算法流程如下:

(1) 待传送帧排队等待;

(2) 进行信道监听。如处于空闲状态,立即发送数据并返回(1);

(3) 若信道处于“忙”,继续监听信道,直到信道处于空闲状态时再次传送数据。

把上述协议应用在 RFID 标签通信中时,需增加发射干扰信号的硬件装置,也就是产生脉冲信号等。以便在监听阶段,同时监听到多个标签时,可以发射干扰信号,强化标签碰撞,有效缩短标签排队等待被识别的时间。完成上述识别过程后,仍会有部分标签无法成功识别,这时不再发送数据包,而是将标签随机退避一个时间段来降低二次重传时发生冲突的概率,即“截断二进制指数退避算法(truncated binary exponential backoff, TBEB)”^[10-13]。二次重传时间由 TBEB 算法来确定,算法流程如下:

(1) 碰撞发生后,退避时间规定为 2σ 。

(2) 从整数集 $[0, 1, \dots, (2^k - 1)]$ 中随机选取一个整数作为退避时间,记为 r ,后续重传时间是 r 的倍

数。其中 $k = \min[b, 10]$, b 为重传次数,重传次数不超过 10。例如,第二次重传时, $k = 2$,随机数 r 从整数 $[0, 1, 2]$ 中选择一个,其重传时间为从 $0, 2\sigma, 4\sigma$ 和 6σ 中随机选择一个。

(3) 当重传次数达到 16 次时,发送仍无法成功识别,则放弃。

上述协议在有线以太网中应用广泛,具有较强的稳定性和可靠性。可以把上述协议的思想借鉴于射频识别技术,只是需要在硬件电路中增加额外的硬件装置来产生电子标签碰撞的干扰信号,这样就可以有效缩短标签排队等待所消耗的时间。

2 ALOHA 算法

ALOHA 是在“时分多址(time division multiple access, TDMA)”的基础上衍生出来的,用于解决标签识别中多标签碰撞问题的算法。改进算法包括纯 ALOHA 算法、时隙 ALOHA 算法、帧时隙 ALOHA 算法和动态帧时隙 ALOHA 算法等^[14-15],它们在识别时间和识别效率上都有提升。

2.1 纯 ALOHA 算法

纯 ALOHA 算法是最基本的防碰撞算法,当多个标签进入读写器感应范围内且在不同的时间内发送数据包时,会发生如图 1 所示的部分碰撞和完全碰撞。

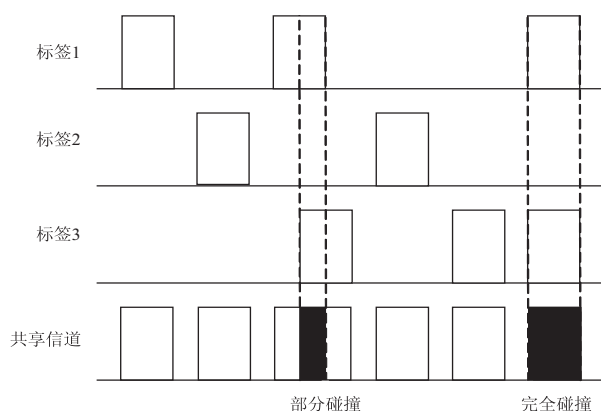


图 1 纯 ALOHA 算法碰撞示意图

由于识别过程中,单位时间内标签应答数服从泊松分布,故在时间 t 内随机发送数据帧时,有 n 个标签应答的概率为:

$$p(n) = \frac{(\lambda t)^n \cdot e^{-\lambda t}}{n!} \quad (1)$$

其中, λ 表示单位时间内标签出现的次数; $G = \lambda t$ 表示识别过程中的数据包交换量。

那么在碰撞周期 $2T$ 内无其他标签应答响应的概率为:

$$p(n=0) |_{t=2T} = e^{-2G} \quad (2)$$

由式(2)可得纯 ALOHA 算法的吞吐率为:

$$S = G \cdot [p(n=0) |_{t=2T}] = G \cdot e^{-2G} \quad (3)$$

当 $G=0.5$ 时,识别效率达到 18.4%,如图 2 所示,识别效率相对较低。

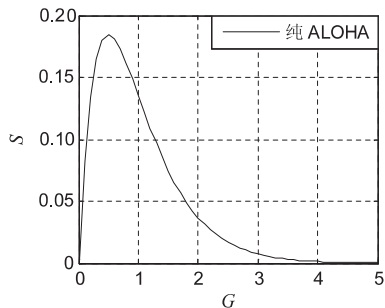


图 2 纯 ALOHA 算法数据交换量和吞吐率的关系曲线

2.2 时隙 ALOHA 算法

时隙 ALOHA 算法在纯 ALOHA 算法的基础上把时间长度划分为离散的时隙间隔,而碰撞周期缩短为 T ,这样每个时隙间隔中将会出现碰撞、成功识别和空闲三种情况。由式(2)可得,时隙 ALOHA 算法的吞吐率为:

$$S = G \cdot [p(n=0) |_{t=T}] = G \cdot e^{-G} \quad (4)$$

其中,当 $G=1$ 时,识别效率达到 36.8%。

图 3 为两种算法平均数据包交换量与吞吐率的变化曲线,相对于纯 ALOHA 算法的识别效率(18.4%)有明显提高,但需要时钟同步且对时隙长度的划分更加精细。

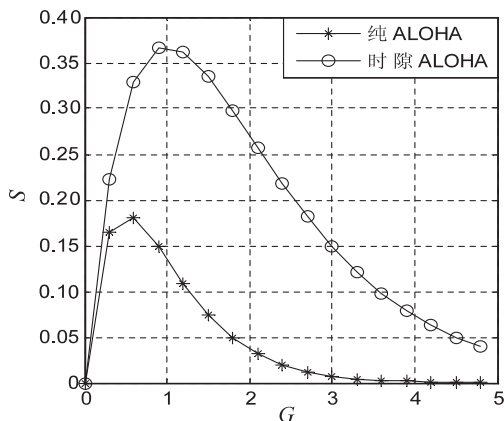


图 3 两种算法数据交换量与吞吐率的关系曲线

2.3 帧时隙 ALOHA 算法

在时隙 ALOHA 算法的基础上,把多个时隙划分组合成一帧,每一帧中随机接受标签发送的数据包即帧时隙 ALOHA 算法。假设时隙 ALOHA 算法中帧长数目和标签的数目分别为 F 和 n ,由于一个标签占用某个时隙的概率服从二项分布,那么 m 个标签选择同一个时隙的概率为:

$$p(m) = C_n^m \left(\frac{1}{F}\right)^m \left(1 - \frac{1}{F}\right)^{n-m} \quad (5)$$

由式(5)可得,一帧中分布有 m 个标签的时隙数的期望值为:

$$E(m) = F \cdot C_n^m \left(\frac{1}{F}\right)^m \left(1 - \frac{1}{F}\right)^{n-m} \quad (6)$$

当 $m=1$ 时,表示时隙中只有一个标签处于应答状态,则成功时隙数的期望值为:

$$E(m=1) = n \left(1 - \frac{1}{F}\right)^{n-1} \quad (7)$$

当 $m=0$ 时,表示时隙处于空闲状态,则空闲时隙数的期望值为:

$$E(m=0) = F \left(1 - \frac{1}{F}\right)^n \quad (8)$$

当 $m>1$ 时发生碰撞,则发生碰撞时隙数的期望值为:

$$E(m>1) = 1 - \left(1 - \frac{1}{F}\right)^n \left(\frac{nF}{F-1} + F\right) \quad (9)$$

由式(7)可得成功识别的概率为:

$$p = \frac{E(m=1)}{F} = \frac{n}{F} \left(1 - \frac{1}{F}\right)^{n-1} \quad (10)$$

对上式进行微分计算可得:

$$\frac{dp}{dF} = \frac{d}{dF} \left[\frac{n}{F} \left(1 - \frac{1}{F}\right)^{n-1} \right] = 0 \quad (11)$$

由式(11)可得,当 $F=n$ 时,即标签数等于帧长数,读写器的吞吐效率达到最优。

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 - \frac{1}{n}\right)^{n-1} \approx 0.36788 \quad (12)$$

由式(12)可知,帧时隙 ALOHA 算法的识别效率达到 36.8%。

图 4 为不同帧长下对应的标签数目与吞吐率的关系曲线,五条曲线分别对应的帧长数为 256、128、64、32 和 16,其中曲线的最高点均是在标签数量和帧长数目近似相等的条件下达到的。此时,系统的识别效率达到最佳。

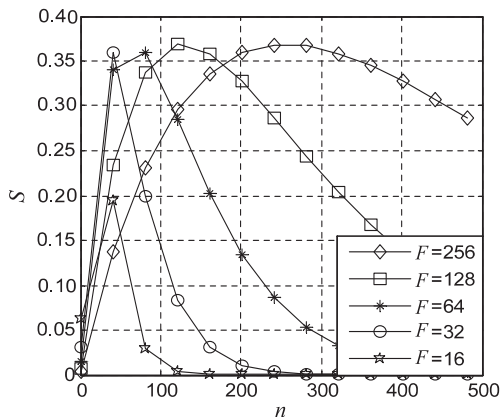


图 4 帧时隙 ALOHA 标签数目与吞吐率的关系曲线

要使 RFID 系统的识别效率达到最大,帧长度必须和等待被识别的标签数目近似相等。各种改进算法中对标签数目的估计提出了一些有效的改进措施,文献[16-17]中介绍了一种估计标签数的方法,可以比较准确地估计出标签数目。近似估计标签数目的表达

式如下所示:

$$N_{\text{tags}} = 2.39 * C_k \quad (13)$$

其中, N_{tags} 表示待估计标签的数目; C_k 表示在一帧中发生碰撞的总时隙数。

3 改进新型混合算法

改进的混合算法中首先判断标签数目是否大于 256, 若大于 256, 则需要对标签数进行分组处理, 使得标签数量和帧长数近似相等, 达到系统可识别的最大识别度。然后通过时隙 ALOHA 算法完成首次识别, 减少电子标签发生冲突的次数。此时, 仍有不确定数量的未成功识别标签。通过载波监听/冲突检测机制, 即边发送边监听信道来缩短碰撞时间, 使电子标签有充足的退避时间, 更合理地执行截断二进制指数退避算法, 循环上述过程直到所有标签被识别。

算法主要步骤为:

(1) 判断标签数目是否大于 256, 若大于 256, 标签进行预处理分组, 否则执行步骤(2);

(2) 标签开始向读写器发送消息, 进行识别, 称之为多路存取, 完成首次识别;

(3) 经过一轮查询后, 将统计成功识别的时隙数目记为 ω ;

(4) 根据 $\omega/F \geq \varepsilon (0.5 < \varepsilon < 1)$ 进行判断, 如果 ε 介于 0.5 和 1 之间, 说明成功识别的标签数目较多, 此时执行截断二进制指数退避算法进行二次识别, 否则执行步骤(5);

(5) 进行信道检测, 如果信道处于空闲状态, 立即发送标签;

(6) 反之加强信道干扰, 提前结束碰撞, 进入 TBEB 进行二次识别;

(7) 直到剩余标签通过 CSMA/CD 和 TBEB 完全识别, 结束算法, 否则执行步骤(2)。经过时隙 ALOHA 算法完成首次识别, 剩余标签由 CSMA/CD 和 TBEB 联合进行二次识别, 标签即可在最短的时间内完成识别。

混合算法流程图如图 5 所示。

4 仿真结果与分析

改进的混合 RFID 防碰撞算法中, 首先判断标签的数目, 在标签数目小于指定数量时, 通过时隙 ALOHA 算法完成首次识别, 否则进行分组处理。之后未识别的标签通过载波监听/冲突检测机制来增强碰撞干扰, 缩短碰撞时间。在载波监听/冲突检测和截断二进制指数退避作用下大大缩短了碰撞时间。

图 6 为改进混合算法和时隙 ALOHA 算法的标签数和吞吐率的性能比较, 在最大分组帧长数 256 处对

应的标签数大约为 256, 即就是标签数和帧长数相等, 重传效率达到 39.1%, 相比时隙 ALOHA 算法的吞吐率(36.8%)有所改进。

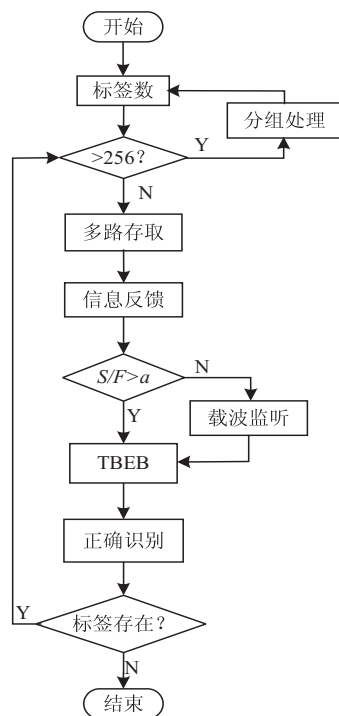


图 5 混合算法流程

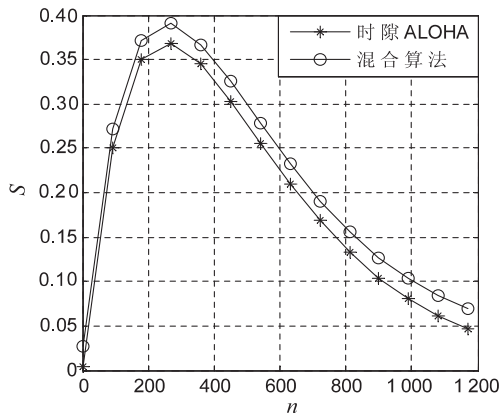


图 6 两种算法中标签数和吞吐率的关系曲线

时隙 ALOHA 算法中只是对未识别顽固标签进行重复识别。改进算法的初始阶段, 由时隙 ALOHA 算法完成, 在后续识别阶段, 改进算法在载波监听/冲突检测和截断二进制指数退避算法的作用下降低了重传次数。同时, 当两种算法处于相同的吞吐率情况下, 改进算法所需的识别时间明显小于时隙 ALOHA 算法的识别时间。

5 结束语

在时隙 ALOHA 算法的思想上, 结合载波监听/冲突检测和截断二进制指数退避算法机制, 提出了一种基于 CSMA/CD 的混合 RFID 防碰撞算法, 引入二次重传机制。相比时隙 ALOHA 算法, 标签信息吞吐率

较高。后续可以根据标签数目变化动态地改变帧长,进一步缩短截断二进制指数退避时所消耗的时间。

此外,RFID 新的防碰撞算法可能将会深入到 RFID 网络物理层(频率、信号调制和数据加密)和数据链路层的特性。在无线协同网络层可以实现信息编码,由此可以更好地实现分集性能,有效提高信息的传输速率,同时具有较低的硬件损耗。而在数据链路层中可以将数据信息自适应组合,并调节发送速率使得与接收端相匹配,使得防碰撞算法结合计算机协议思想得到更好的改进,充分提高 RFID 系统的工作效率。

参考文献:

- [1] ULLAH S, ALSALIH W, ALSEHAIM A, et al. A review of tags anti-collision and localization protocols in RFID networks[J]. Journal of Medical Systems, 2012, 36(6): 4037-4050.
 - [2] 李 晶. 一种改进的 RFID 防碰撞时隙 ALOHA 算法[D]. 长春: 吉林大学, 2009.
 - [3] 王 勇, 李 婷. 改进的基于 ALOHA 的 RFID 防碰撞算法[J]. 电信科学, 2016, 32(8): 77-81.
 - [4] DEMIRKOL I, ERSOY C, ALAGOZ F. MAC protocols for wireless sensor networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2006, 44(4): 115-121.
 - [5] KLAIR D K, CHIN K W, RAAD R. A survey and tutorial of RFID anti-collision protocols[J]. IEEE Communication Surveys and Tutorials, 2010, 12(3): 400-421.
 - [6] GALLAGER R G. A perspective on multiaccess channels[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1985, 31(2): 124-142.
 - [7] 李宝山, 乔 聪. 基于 P-坚持 CSMA 提高 RFID 系统吞吐率的改进算法[J]. 计算机测量与控制, 2013, 21(12): 3322-3324.
 - [8] 马 纯, 尹小燕, 房鼎盛, 等. 退避算法多负载状况下的退避窗口最优设定[J]. 计算机应用研究, 2015, 32(1): 175-178.
 - [9] CHEN Xiaoming, HONG Geok-Soon. A simulation study of the predictive p-persistent CSMA protocol[C]//Proceedings of the 35th annual simulation symposium. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2002.
 - [10] 蒋子峰, 陆建德. IEEE802.15.4 动态自适应 CSMA/CA 算法设计与仿真[J]. 计算机技术与发展, 2010, 20(9): 69-73.
 - [11] 黄 仁, 郜 辉, 任军华. 非时隙 CSMA/CA 性能分析与研究[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(7): 108-110.
 - [12] 何 伟, 南敬昌, 潘 峰. 改进的动态 p-坚持 CSMA 协议[J]. 计算机工程, 2010, 36(21): 118-120.
 - [13] 苏恒阳, 谭英丽. 改进的 RFID 动态帧时隙 ALOHA 算法[J]. 计算机仿真, 2011, 28(8): 148-152.
 - [14] 钱东昊, 张 琨, 张 磊. 基于标签识别码分组的防碰撞算法研究[J]. 计算机应用与软件, 2015, 32(7): 252-254.
 - [15] 高金辉, 郑晓彦. 新型的 RFID 混合防碰撞算法[J]. 电子技术应用, 2011, 37(12): 130-132.
 - [16] SCHOUTE F C. Dynamic frame length ALOHA[J]. IEEE Transactions on Communication, 1983, 31: 565-568.
 - [17] CHA J Y, KIM J Y. Novel anti-collision algorithms for fast object identification in RFID system[C]//Proceedings of the 11th international conference on parallel and distributed systems. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2005: 604-609.
- +++++
- (上接第 77 页)
- [2] 袁 晓, 蔡志平, 刘书昊, 等. 大规模网络仿真软件及其仿真技术[J]. 计算机技术与发展, 2014, 24(7): 9-12.
 - [3] 马浩然. 基于 NS3 的分布式消息系统 Kafka 的仿真实现[J]. 软件, 2015, 36(1): 94-99.
 - [4] FONT J L, IÑIGO P, DOMÍNGUEZ M, et al. Analysis of source code metrics from ns-2 and ns-3 network simulators[J]. Simulation Modelling Practice & Theory, 2011, 19(5): 1330-1346.
 - [5] RILEY G F, HENDERSON T R. Modeling & tools for network simulation[M]. Berlin: Springer, 2010.
 - [6] DAS B, SUBUDHI B, PATI B B. Cooperative formation control of autonomous underwater vehicles: an overview[J]. International Journal of Automation and Computing, 2016, 13(3): 199-225.
 - [7] RACHNA C, SHWETA S, RITA K, et al. A study of comparison of network simulator-3 and network simulator-2[J]. International Journal of Computer Science and Information Technologies, 2012, 3(1): 3085-3092.
 - [8] 闵圣天, 曾文序, 李满荣, 等. 基于 NS3 的网络协议分析与模拟[J]. 福建电脑, 2014, 30(2): 99-100.
 - [9] 张登银, 张保峰. 新型网络模拟器 NS-3 研究[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(11): 80-84.
 - [10] 栾 俊, 李太浩. 基于 NS-3 的 WiFi 场景仿真[J]. 农业网络信息, 2012(1): 18-20.
 - [11] 李广荣. 基于 NS-3 的虚实网络结合系统的设计与实现[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2015.
 - [12] 杨鸣亮, 张嘉毅, 孙 振, 等. 关于 NS3 中 GRE 仿真的研究[J]. 电子测量技术, 2011, 34(1): 22-26.
 - [13] GANGADHAR S, NGUYEN T A N, UMAPATHI G, et al. TCP Westwood(+) protocol implementation in ns-3[C]//Proceedings of the 6th international ICST conference on simulation tools and techniques. Brussels, Belgium: ICST, 2013: 167-175.
 - [14] 袁鹏飞, 郑 涛, 杨李冬, 等. 一种基于 CAPPROBE 带宽估计的 TCP Westwood 算法[J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 2014, 53(4): 469-476.