

一款 CAN 总线收发器芯片的电路设计

唐兴刚^{1,2}, 贺克军¹, 王 丽¹, 李传南²

(1 华东光电集成器件研究所, 江苏 苏州 215163;

2 集成光电子国家重点联合实验室吉林大学实验区 吉林大学电子科学与工程学院, 吉林 长春 130012)

摘 要: 文中完成一款应用于 CAN 总线的收发器芯片的电路设计. 重点阐述了该收发器芯片的功能框图及其工作原理, 特别是接收模块和过压保护的设计. 该电路采用 5V 电源, 驱动总线负载为 $R=60\Omega$, $C=200\text{pF}$. 仿真结果表明该电路工作时的平均电流为 35.7mA, 电路总的延迟时间为 160ns, 具有较好的过压保护功能, 可应用于高速 CAN 总线通讯中.

关键词: CAN 总线; 收发器; 过压保护; 迟滞比较器

中图分类号: TN432

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2011)05-0125-05

Design for a Transceiver Apply to CAN BUS

TANG Xing-gang^{1,2}, HE Ke-jun¹, WANG Li¹, LI Chuan-nan²

(1 East China Institute of Photo-electronic, Suzhou 215163, China; 2 State Key Laboratory On Integrated Optoelectronics, College of Electronics Science and Engineering, Jilin University, Changchun 130012, China)

Abstract: In this paper, a transceiver for CAN bus is designed. The functional diagram and the designation on over-voltage protection and receiver module of this transceiver are principally introduced. The power supply of this chip is 5V, and this chip can drive a load such as 60Ω resistance and 200pF capacitance. Simulations show that its average current is 35.7mA and the total delay is 160ns when the circuit works. With the good performance of over-voltage protection, this circuit can be applied in the communication of high-speed CAN bus.

Key words: CAN BUS; transceiver; over-voltage protection; comparator with hysteresis

1 引言

CAN(Controller Area Network)总线是现场总线的一种, 目前已成为 ISO11898 标准, 由于其具有通讯速率高、可靠性强、连接方便、性价比高等特点, 并且 CAN 总线采用差分信号传输, 具有很强的抗干扰能力, 驱动能力强, 可提供高达 1Mbps 的串行数据传输速率, 而广泛应用于汽车、工业自动化等领域^[1].

文中介绍了一款用于 CAN 总线通讯的 CAN 总线收发器的设计.

图 1 为 CAN 总线网络及其节点的实现方式, CAN 总线包含多个节点, 每个节点均连在差分总线

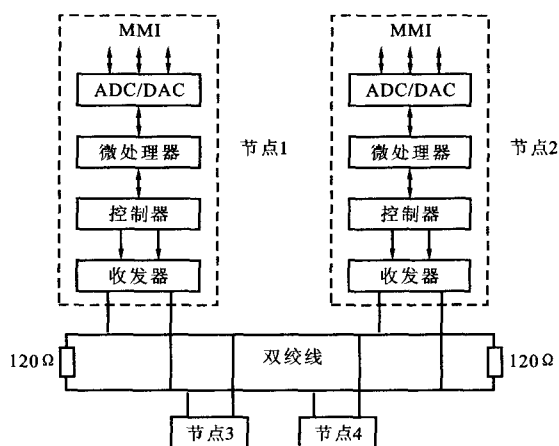


图 1 CAN 总线节点的实现方式

上, 这些节点包含人机交互界面如传感器、执行元件

收稿日期: 2010-07-13; 修回日期: 2010-08-11

基金项目: 吉林省科技发展项目(20060530)

等电路、微处理器、ADC/DAC 电路、CAN 控制器及 CAN 收发器电路等。从传感器上输入的模拟信号,通过 ADC 把模拟信号转化为数字信号并送至微处理器完成处理,然后 CAN 控制器按 CAN 总线的通讯协议处理这些数字信号并传给收发器,收发器再将其转化为差分信号输出到 CAN 总线上。总线上的其他节点都能接收到这个信号,并对该信号所包含的识别码进行检测,如果识别码一致则该节点处理后续的信号,否则忽略。同理,CAN 总线收发器将 CAN 总线上接收到的差分信号转换为数字信号电平,并经由 CAN 控制器处理送到 CPU 乃至输出到执行电路。虽然不同总线上的信号的传输速率不同,但它们均由 CAN 收发器芯片接收信号并发送到控制器进行处理,而不同总线间的数据交换需要通过网关来实现^[2]。

可以看出 CAN 总线收发器芯片的主要功能包括:

(1) 将 CAN 总线控制器送来的要传输的单端

数字信号转换成差分信号输出到总线上;

(2) 接收总线上的差分信号,并把它转换成单端数字信号输送给 CAN 总线控制器;

(3) 提高总线的驱动能力,并在总线故障时,对节点起到保护作用。

2 CAN 总线收发器芯片的电路设计

文中设计的收发器芯片的原理框图如图 2 所示。该芯片主要由逻辑控制、斜率控制、热关断保护、驱动电路、滤波电路、整形电路、比较器、参考和过压保护等模块构成。

CAN 总线控制器送来的数字信号从 TXD 管脚输入到收发器中,经过逻辑控制模块、驱动电路模块等电路转换成差分信号,并从 CANH 及 CANL 输出到总线上。CAN 总线收发器接收信号时,CAN 总线上的信号经滤波器及整形电路后传给比较器进行比较,将比较的结果从 RXD 管脚输出给 CAN 总线控制器,这样就完成了一次信号发送和接收。

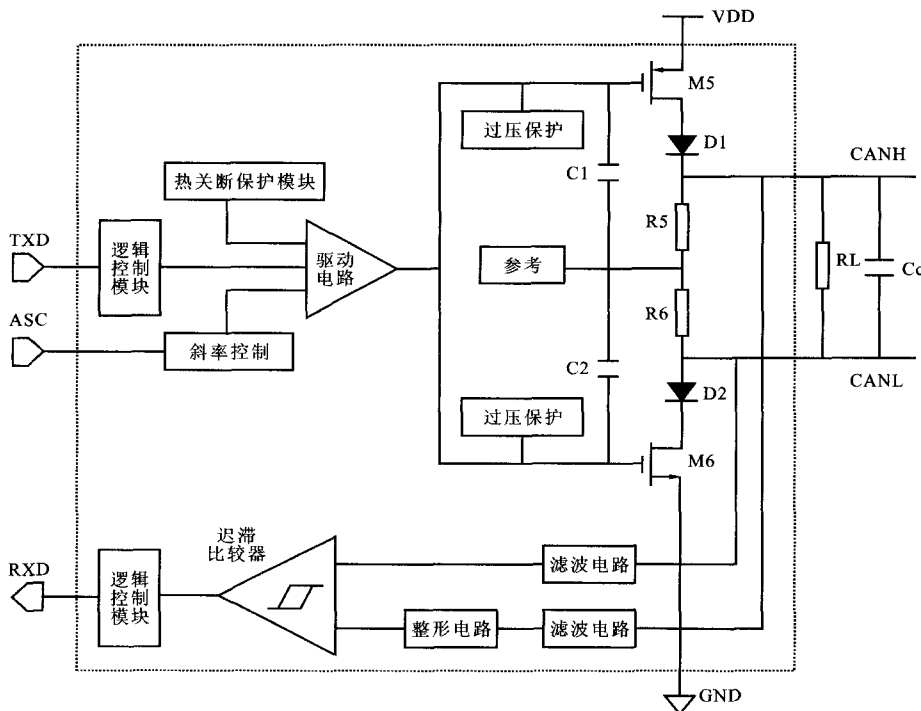


图 2 收发器原理框图

2.1 接收电路设计

CAN 总线的逻辑状态规定为:当总线上高低电平差大于 0.9V 时,总线为显性状态即逻辑电平“0”;当总线上电平差小于 0.5V 时,总线为隐性状态即逻辑电平“1”,其中 CANH 变化范围是 2.5V~3.5V,CANL 变化范围是 2.5V~1.5V,电平规范如图 3 所示^[1-2]。根据 CAN 总线的逻辑状态判定特

点,本设计先将 CANL 的电平提高 0.7V,之后再将该信号与 CANH 进行比较,将比较结果输出给下一级进行处理。图 4 所示为 CANL 提升后总线电平状态,理想情况下,当 $V_{CANH} = V_{CANL} + 0.7V = 2.85V$ 时,电平发生翻转,此时相对原来信号而言, $V_{CANH} - V_{CANL} = 0.7V$ 。为了增强收发器的抗干扰能力,接收电路不能使用一般的单限比较器,而要用迟滞比

较器. 因此电平在 $2.85\text{V} + V_{\text{HYS}}$ 处发生翻转, 在产生迟滞效果的同时, 也能很好的满足 CAN 总线逻辑电平要求.

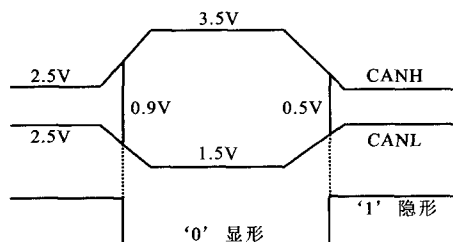


图3 CAN总线电平规范

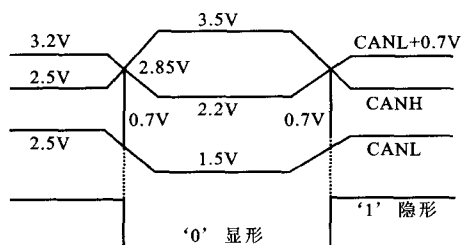


图4 CANL提升后总线电平

图5为文中设计的带电平提升电路的迟滞比较器. 其主要由比较器、电平提升电路、反馈网络三部分构成. 其中 M10、M11 及 M16~M21 组成比较器

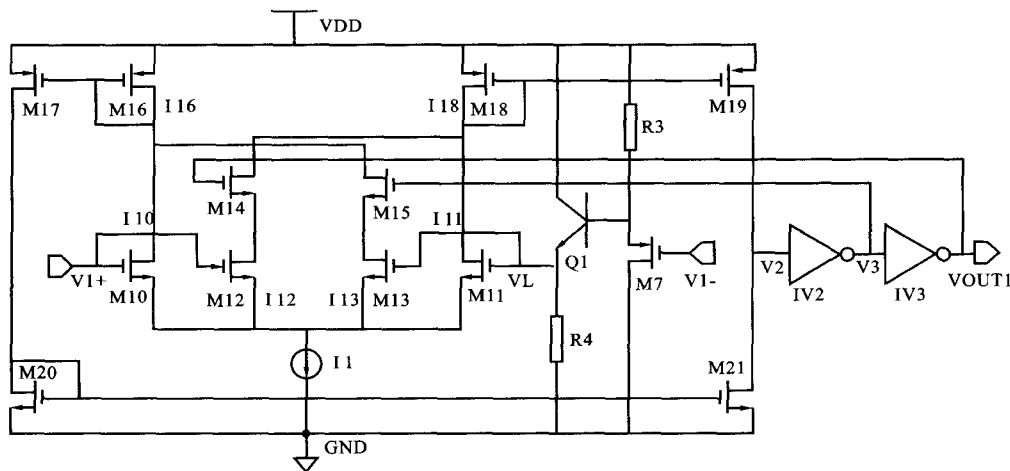


图5 带提升电路的迟滞比较器

现在考虑当 V_{OUT1} 为低电平时, M14 截止, V2 为低电平, 此时 M19 上拉能力要小于 M21 的下拉能力, 反映在电流上为 I_{11} 的电流要小于 I_{16} 的电流, 当发生翻转时, M19 上拉能力要大于等于 M21 的下拉能力, 反映在电流上应该为 I_{11} 的电流要大于等于 I_{16} 中的电流, 现考虑两个电流相等时, 不考虑沟道长度调制效应, 则有^[3-4]:

$$I_{16} = I_{11}, I_{16} = I_{10} + I_{13}, I_{10} + I_{11} + I_{13} = I_1 \quad (1)$$

$$V_{\text{GS10}} = \left(\frac{2I_{10}}{\beta_{10}} \right)^{1/2} + V_{\text{T10}}$$

的核心电路. M7、R3、Q1、R4 组成电平提升电路, 共同将 V1—信号提升一个台阶. 反馈网络是由 IV2、IV3、M12~M14 组成.

当比较器开始工作时, 信号 V1+ 和 V1— 分别由 M10、M7 输入. 由于电平提升电路是由源跟随器及射随器组成, 增益均小于 1, 所以 V1— 信号在 VL 点输出信号整体提升幅度小于 0.7V, 该信号与 V1+ 比较后在 V2 点输出, 经反馈网络控制比较器发生翻转时电平大小, 从而实现迟滞效果.

考虑当 V_{OUT1} 为低电平时, 此时 V3 为高电平, V2 为低电平, M16、M17、M20、M21 开启, M11、M18、M19 截止, V3 为高电平使得 M15 开启, 但由于此时 M13 截止, 因此 M15 开启但无电流流过.

当 V_{OUT1} 由低电平变为高电平, 此时 I_{18} 逐渐增大, I_{16} 逐渐减少, M10 上的栅压逐渐减少, M11 上的栅压逐渐增大, M13 逐渐开启. 由于 M15 此时是开启的, 所以 I_{13} 逐渐增大. 由于 I_{13} 的影响, V_{OUT1} 发生翻转时, I_{11} 的电流必须大于 I_{10} 的电流, 因此 M10 的栅需要更低的电压, 而 M11 需要更高的电压才能发生翻转, 因此产生迟滞效果.

$$V_{\text{GS11}} = \left(\frac{2I_{11}}{\beta_{11}} \right)^{1/2} + V_{\text{T11}} \quad (2)$$

$$V_{\text{TH1}} = V_{\text{GS11}} - V_{\text{GS10}} = \left(\frac{2I_{11}}{\beta_{11}} \right)^{1/2} - \left(\frac{2I_{10}}{\beta_{10}} \right)^{1/2} \quad (3)$$

因为 $V_{\text{GS13}} = V_{\text{GS11}}$, 则有

$$I_{13} = \frac{(W/L)_{13}}{(W/L)_{11}} I_{11} \quad (4)$$

$$V_{\text{TH1}} = \sqrt{\frac{1}{K_n'}} \left(\sqrt{\frac{1}{(W/L)_{11}}} - \right.$$

$$\sqrt{\frac{1}{(W/L)_{10}} \frac{(W/L)_{13}}{(W/L)_{11}(W/L)_{10}}} \quad (5)$$

因为电路是对称的, 所以其迟滞宽度 $V_{HYS} = 2V_{TH1}$, 仿真结果如图 6 所示. 该比较器的迟滞宽度为 280mV, 当低电平为 2.85V 时, 转折点分别为 2.71V 和 2.99V. 即当高低电平差大于 0.84V 时, 接收器输出逻辑电平“0”, 当高低电平差小于 0.56V 时, 接收器输出逻辑电平“1”很好的满足总线电平要求.

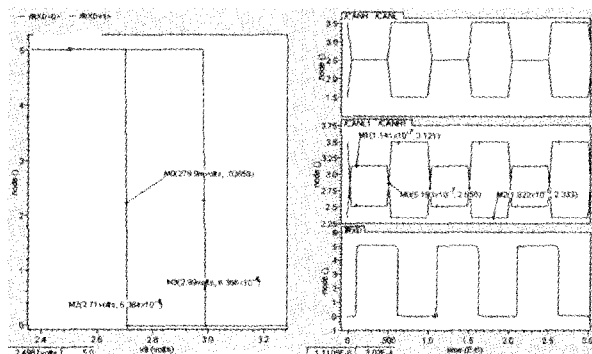


图 6 迟滞比较器电平提升及迟滞宽度仿真图形

2.2 过压保护模块设计

CAN 总线由于应用于汽车、工业控制等各种复杂的环境中, 有时外部环境会导致总线上的电压瞬间增大, 超过总线的额定值. 同时由于总线是与收发器直接相连, 当总线电压过大时, 很容易损坏与总线直接相连的收发器内的功率管, 因此引入过压保护是必要的.

文献[5-7]中分别介绍了多种过压和欠压保护电路, 文中结合 CAN 总线的传输特点, 设计出一款应用于 CAN 总线收发器中的过压保护电路. 该过压保护电路检测总线上电压的大小以控制功率管开启和关断. 当总线上电压过高时, 过压保护启动, 输出高电平信号, 拉低功率管的栅压, 使输出功率管截止, 实现保护目的.

过压保护电路如图 7 所示. CANL 与总线相连, 经电阻 R1、R2 分压输出一个随总线电压的变化分压 V_c , V_{bgam} 为带隙基准产生的参考电压, M1 为比较器的偏置电流控制管, 用于控制比较器的开启和关断. 比较器的输出经两个反相器整形后输出到开关管 M2, 用于控制功率管 M6 的工作与否; D2 为保护二极管.

总线电压正常时, V_c 为低电压并使 M1 关断, 比较器不工作, 且输出低电平信号, 此时 M6 仅受到 A6 端的信号电压控制而处于正常工作状态. 当总线上产生瞬间正高电压时, V_c 电压升高, M1 开启,

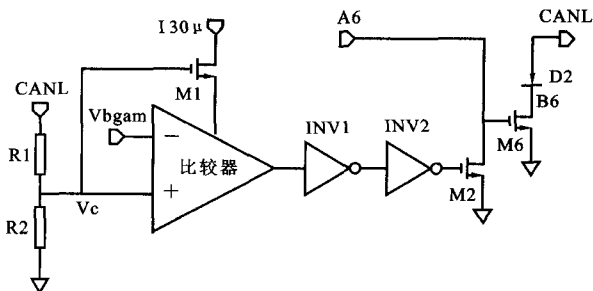


图 7 过压保护电路

给比较器提供偏置电流. 同时 V_c 高于带隙电压 V_{bgam} , 比较器输出高电平信号, 该高电平信号经两级反相器整形后, 使 NMOS 管 M2 导通, 将功率管 M6 的栅极电压拉低, 使功率管 M6 关断. 当总线上产生瞬间的负电压时, 此时二极管 D2 反相截止, 驱动电路也不工作, 从而达到保护的目的.

在 CANL 处进行直流扫描, 其仿真结果如图 8 所示. 其中横坐标为 CANL 处的电压大小, 上图的纵坐标为 B6 处电流大小, 下图的纵坐标为 A6 及 CANL 处电压大小. 可以看到, 当 CANL 处电压为负时, 由于二极管 D2 反相截止, MOS 管 M6 的 B6 点无电流流过; 当 CANL 在 0.6V 到 5V 范围内, MOS 管正常工作, 漏端电流逐渐增大; 当 CANL 点电压大于 5V 时, 过压保护电路启动, M6 截止. 因此该电路对功率 MOS 管起到了很好的保护作用. 对于 CANH 采用相似结构进行设计, 也取得很好的保护效果.

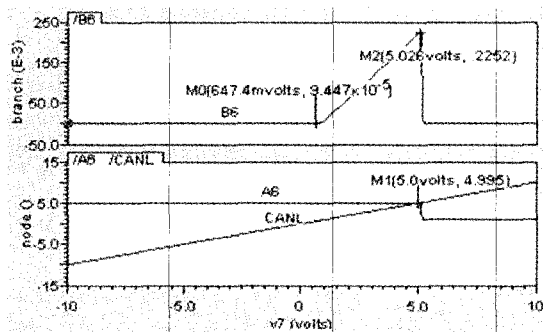


图 8 过压保护电路仿真图形

2.3 电路整体性能仿真

文中采用 CSMC 的 $0.5\mu\text{m}$ 40V BCD 工艺, 经 HSPICE 仿真后得到的电路整体仿真结果如图 9 所示. 图中 TXD 输入 0~5V 方波信号, 频率为 1MHz, 在 CANH 及 CANL 处分别得到 2.5V~3.5V、2.5V~1.5V 电压信号, 该信号同时被接收器电路接收后在 RXD 处输出 0~5V 的信号, TXD 输入信号在总线负载为 $R=60\Omega$ 、 $C=200\text{pF}$ 下完整的输出到 RXD 端, 该电路具有约 160ns 的延迟, 该

电路工作时的平均电流为 35.7mA.

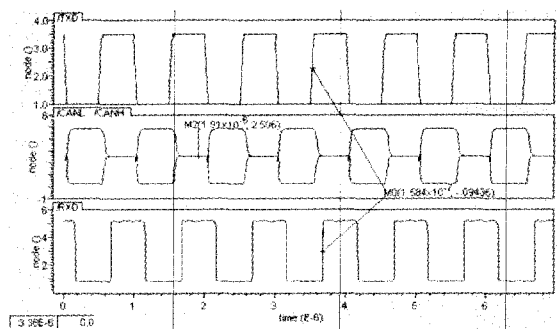


图9 电路整体仿真结果

3 结束语

文中设计了一款应用于 CAN 总线的收发器芯片电路. 主要介绍了其中的接收电路、过压和负压保护电路的设计, 以及电路的总体仿真结果. 电路采用 $0.5\mu\text{m}$ 40V BCD 工艺, 仿真结果表明该电路具有较好的过压保护功能. 在接收模块中, 采用了一带电平提升电路的迟滞比较器, 在总线负载为 $R=60\Omega$ 、 $C=200\text{pF}$ 下完整地实现了信号传输功能. 该收发器可很好的应用于 CAN 总线通讯中.

参考文献:

- [1] 邹宽明, 现场总线技术应用选编(上)[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2003.
- [2] Gert N. Helles(丹麦), CAN 总线及其集成解决方案[J]. 技术与市场, 2003, (5): 29-31.
- [3] Phillip E Allen, CMOS Analog Circuit Design[M]. 冯军译. 北京: 电子工业出版社, 2005: 379-386.
- [4] Behzad Razavi. Design of Analog CMOS Integrated Circuits[M]. 陈贵灿, 译. 西安: 西安交通大学出版社, 2005.
- [5] 陈惠新, 模拟集成电路中的保护电路分析[J]. 微电子技术, 1999, 27(5): 32-37.
- [6] 周庆生, 吴晓波. 一种新型欠压锁定电路的设计[J]. 微电子学与计算机, 2006, 23(11): 199-201.
- [7] 刘冬生, 邹雪城. 多节锂电池过电压保护芯片的设计[J]. 微电子学与计算机, 2006, 23(2): 79-82.

作者简介:

唐兴刚 男, (1981-), 硕士, 工程师. 研究方向为模拟集成电路设计.

贺克军 男, (1981-), 硕士, 工程师. 研究方向为混合电路设计.

王丽 女, (1982-), 本科, 工程师. 研究方向为混合信号测试.

(上接第 124 页)

均匀消耗以延长无线传感器网络生命周期的目的. 实验结果显示, 该算法较一些重要的路由算法(如 LEACH, DEEC)在均衡节点能量负载、提高网络生存周期方面都有良好的改善. 该算法还有进一步改进的空间, 如在 CLEEC 算法第一阶段也可以根据剩余节点能量选举簇头节点来提高节点能量负载均衡, 还可以考虑通过路径的权重评价函数^[8]进行簇头节点的选择.

参考文献:

- [1] 赵彤, 郭田德. 无线传感器网络能耗均匀路由模型和算法[J]. 软件学报, 2009, 20(11): 1588-1600.
- [2] Heinzelman W, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks[C]// Proceedings of the 33rd International Conference on System Sciences (HICSS '00). Washington, DC, USA: IEEE, 2000: 3005-3014.
- [3] Handy M J, Haase M, Timmermann D. Low energy adaptive clustering hierarchy with deterministic cluster-head selection[C]// Proceedings of 4th International Workshop Mobile and Wireless Communications Network. [s. l.]: IEEE, 2002: 368-372.

- [4] 苗紫晖, 于海勋. 无线传感器网络中 LEACH 算法的改进研究[J]. 微电子学与计算机, 2009, 26(12): 142-145.
- [5] Qing L, Zhu QX, Wang MW. A distributed energy-efficient clustering algorithm for heterogeneous wireless sensor networks[J]. Journal of Software, 2006, 17(3): 481-489.
- [6] Lindsey S, Raghavendra C S. PEGASIS: Power Efficient Gathering in Sensor Information Systems[C]// Proceedings of the IEEE Aerospace Conference, Big Sky, Montana: IEEE, 2002: 1125-1130.
- [7] Yoon SunHee, Cyrus Shahabi. Exploiting spatial correlation towards an energy efficient clustered aggregation technique (CAG)[C]// IEEE International Conference on Communications (ICC), Seoul, Korea: IEEE, 2005, (5): 16-20.
- [8] 张玉花, 赵笑声, 朱恩峰. 一种基于路径的新型自适应路由算法[J]. 微电子学与计算机, 2010, 27(1): 116-119.

作者简介:

刘联欢 男, (1962-), 研究方向为网络与数据库.

白光伟 男, (1961-), 博士后, 教授. 研究方向为计算机网络.