

文章编号:1001-9081(2006)09-2178-04

## 一种适用于煤矿安全监控系统的 CAN 总线应用层通讯协议

李 恩<sup>1,2</sup>, 蔡 丽<sup>1,2</sup>, 梁自泽<sup>1</sup>, 赵现军<sup>3</sup>, 张文亚<sup>1</sup>

(1. 中国科学院 自动化研究所, 北京 100080; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049;

3. 中国电力财务有限公司, 北京 100054)

(en.li@ia.ac.cn)

**摘 要:**针对煤矿安全监控系统中的 CAN 总线通讯,提出了一种适用于该系统的应用层通讯协议。通过对 CAN2.0B 帧结构的分析,根据监控系统的通讯要求对扩展帧的报文标识符的各位进行了定义,用来存放通讯中的控制信息,而 8 字节长度的数据场可以全部用来存放通讯数据,进而提高了通讯效率。基于管道技术设计了支持多线程通讯的应用层通讯协议,实现了监控系统中的命令和数据并行传输。基于帧号和位图进行数据包的拆分与重组,解决了由于 CAN 总线本身的短帧结构所造成的大数据量传输困难的问题。最后对通讯过程中的控制协议及其帧格式的构成进行了简要的阐述。

**关键词:**现场总线; 通讯协议; 监控系统; 多线程

**中图分类号:** TP393.04 **文献标识码:** A

## CAN-bus based communication application layer protocol for the colliery safety monitoring system

LI En<sup>1,2</sup>, CAI Li<sup>1,2</sup>, LIANG Zi-ze<sup>1</sup>, ZHAO Xian-jun<sup>3</sup>, ZHANG Wen-ya<sup>1</sup>

(1. Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China;

2. School of Graduate, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. China Power Finance Co., Ltd., Beijing 100054, China)

**Abstract:** In this paper, we proposed an application layer communication protocol which was suitable for CAN( Controller Area Networks) bus based colliery safety monitoring systems. After analyzing the frame structure of CAN 2.0B and the communication requirements of the monitoring system, we gave a definition for each bit of message identifier in the extended data frame to carry communication control information. Consequently, all of the eight bytes in the data field can be used to transmit actual data and then the CAN bus based communication efficiency was improved. The application layer protocol with multi-pipe technique can support the multi-thread communication between the transmitter and the receiver, and the command and captured data can be transmitted simultaneously in the monitoring system. The CAN bus short frame structure may result in the transmission failure of the large size data, while the frame number and bitmap technique can effectively solve the problem. Finally, the control protocol of the application layer and its frame format were briefly introduced.

**Key words:** field bus; communication protocol; monitor system; multi-thread

## 0 引言

目前煤矿安全监控系统中普遍采用的是基于 RS485 总线的半双工通讯方式,只能构成主从式结构系统,通信方式也只能以主站轮询的方式进行,系统的实时性、可靠性较差。这种通讯方式信息传输速度慢,很难满足大规模煤井的安全监控系统对实时性的要求。针对原有系统中存在的这一不足,本文提出了采用 CAN 总线实现的无主式通讯方式。

CAN 总线即控制器局域网,是国际上应用最广泛的现场总线之一,广泛应用在安全监控领域。CAN 控制器工作于多主方式,网络中的各节点都可根据总线访问优先权(取决于报文标识符),采用无损结构的逐位仲裁的方式竞争向总线发送数据,而且 CAN 协议废除了站地址编码,而代之以对通

信数据进行编码,这可使不同的节点同时接收到相同的数据,这些特点使得 CAN 总线构成的网络各节点之间的数据通信实时性强,并且容易构成冗余结构,提高系统的可靠性和系统的灵活性。CAN 协议是建立在国际标准组织(ISO)的开发系统互联模型基础上,取其上的三层:物理层、数据链路层和应用层,网络的物理层和数据链路层的功能由 CAN 接口芯片实现,而应用层的功能则需要由用户根据具体应用环境来实现。本文所探讨的正是对于煤矿监控系统这一具体应用的 CAN 总线应用层协议的实现方式。

CAN 通讯的信号传输采用短帧结构,每帧有效数据场长度最多为 8 个,并有 CRC 及其他校验措施,这样可以保证总线传输时间短,受干扰的概率低,数据出错率极低。当节点严重错误时,具有自动关闭的功能,以切断该节点与总线的联

收稿日期:2006-03-24; 修订日期:2006-05-30

基金项目:信息产业部电子信息产业发展基金重点资助项目

**作者简介:**李恩(1979-),男,山东滨州人,博士研究生,主要研究方向:巡检机器人、嵌入式系统; 蔡丽(1975-),女,浙江建德人,博士研究生,主要研究方向:智能机器人; 梁自泽(1963-),男,贵州人,副研究员,主要研究方向:智能控制、先进机器人控制、先进制造系统; 赵现军(1975-),男,河南洛阳人,硕士,主要研究方向:国际金融、信息科学; 张文亚(1983-),男,河南陕县人,硕士研究生,主要研究方向:无线网络,智能控制。

系,使总线上的其他节点及其通信不受影响,具有较强的抗干扰能力。但另一方面,由于每一帧中的数据场长度太短,在传输较大的数据量时,就需要将数据拆分为多帧进行传输,因此应用层协议的设计就成为影响总线性能的关键。如果将所有的通讯信息和数据都放在只有8字节的数据场中,将会造成传输帧中有效数据少、而通讯信息多的弊端,降低了CAN总线的通讯效率。为此,本文提出了一种CAN总线应用层通讯协议,利用报文标识符中的仲裁场来包含通讯控制信息、数据场来包含实际数据,可以解决煤矿监控系统中的大数据量传输问题。

## 1 监控系统应用层通讯协议

### 1.1 CAN总线的帧构成

CAN2.0B总线标准中定义下列类型的帧:

1) 数据帧:将通讯的数据从发送器传送到接收器,根据报文标识符的位数可分为标准帧和扩展帧两种,其中标准帧的报文标识符为11位,而扩展帧为29位。由于系统中CAN总线所挂接的设备最多为110个,只需要7位ID来区别各个设备,因此报文标识符中除了可以包含设备地址外,还可以将通讯中的控制信息也放在报文标识符中,而8字节的数据场全部用来存放通讯数据,从而提高了通讯效率。

2) 远程帧:请求对方传送指定报文标识符的数据帧。

3) 错误帧:表明一个节点检测到了总线/网络故障。

4) 超载帧:在帧的发送之间提供一个延时来控制数据的流动。

CAN总线的数据帧格式如图1所示。其中仲裁场主要用于标识信息内容以及决定信息优先级的高低;控制场包含数据场中的长度信息(0字节~8字节);数据场包含要通讯的数据;CRC场包含从仲裁场到数据场的CRC校验码,用于接收器检验所接收到的位序列;ACK场用于发送器接收任意接收器所发出的应答。由于CAN的数据包传送采用CRC循环冗余码检验,所以数据通信误码率极低。CRC场中包含着用于CRC检验的序列,由发送器初始化产生。当接收器计算的校验值与发送器发送的CRC值不符时,则检测到CRC错误,要求发送器重新发送,这样就保证了数据帧能够正确无误地传送到接收方。

起始帧	仲裁场	控制场	数据场	CRC场	ACK场	结束帧
-----	-----	-----	-----	------	------	-----

图1 CAN总线的帧格式

### 1.2 CAN应用层协议

煤矿安全监控系统由监控主机和多个井下分站构成,其结构组成如图2所示。其中井下分站采集挂接在其上的传感器数据,并通过CAN总线实时传输给监控主机。另一方面,分站在检测到瓦斯超限等情况下,可以通过CAN总线直接与其他分站通信,实现无主式异地紧急断电的功能。

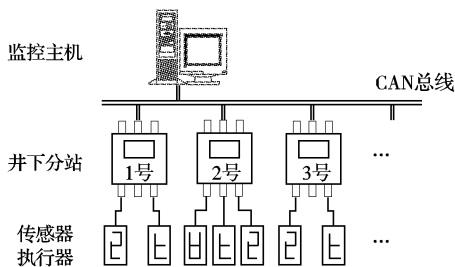


图2 煤矿安全监控系统结构框图

在本监控系统中,传输的数据量大小不是固定不变的,在

向下传输控制命令时,可能只有几个字节,而在上传采集数据时,可能会传输几kB甚至几十kB,因此CAN应用层通讯协议既要有大数据量传输能力,又要快速高效。在本系统中,CAN通讯采用带29位报文标识符的扩展帧,主要通过报文标识符中的内容来确定该帧数据的类型和通讯目的地址等信息。其中报文标识符中包含有紧急标记、目的地址、源地址、帧类型、帧号、管道号、结束标记,其格式如图3所示。

ID28	ID27	ID26	ID25	ID24	ID23	ID22	ID21
紧急标记	目的地址						
ID20	ID19	ID18	ID17	ID16	ID15	ID14	ID13
帧类型	源地址						
ID12	ID11	ID10	ID9	ID8	ID7	ID6	ID5
帧号							
ID4	ID3	ID2	ID1	ID0			
管道号				结束标记			

图3 扩展帧报文标识符格式

其中紧急标记(1位)是用来标记当前帧的优先级,对于正常信息,该位置为1,对于紧急信息(如报警信息、紧急断电等),将该标记置0,使其先于其他帧占用总线,在最短的时间内到达目的地址;

目的地址(7位)指定该帧数据或信息所要到达的目的地址,可以是具体的CAN卡地址(点对点方式),也可以是广播地址(广播方式);

帧类型(1位)用来标记该帧数据场中的内容是要传输的数据内容还是通讯协议的控制信息;

源地址(7位)指定该帧数据或信息的来源地址;

帧号(8位)是用来标记数据拆分后的帧块序号;

管道号(4位)来标记不同虚拟通讯通道,用于多线程通讯;

结束标记(1位)是用来标记该数据包传输过程的结束。

在系统中,对每个CAN通讯卡都设定一个地址号,用来区分不同的设备。由于CAN总线上设备最大容量为110个,地址号可以采用7位数据表示,其中1为管理权限最高的CAN主控卡,10~119为权限等同的CAN从设备,127为广播方式时的目的地址,120为尚未编址的新设备的默认地址。CAN总线通讯采用点对点方式和广播方式两种模式来实现。

虽然CAN总线本身采用无主式的通讯方式,但在监控系统中,需要有管理调度中心计算机(上位机)对各个分站节点进行实时监测与控制,这实际上就是一个主从式的结构形式。但如果完全采用主从式的方式,则在上位机死机或上位机通讯线路故障时,整个系统就会完全失去监控功能,造成安全上的隐患。因此,在设计CAN应用层协议时,采用无主式和主从式相结合的通讯方式,系统在正常运行过程中,采用主从式的方式,由上位机进行管理协调各个分站进行工作;一旦某个分站监测到数据异常(瓦斯超限等),采用无主式方式,该分站按照设定好的连锁动作直接跟其他分站进行通讯,由其他分站执行断电等操作,然后再将报警数据传送给上位机。这样一方面可以体现出一般监控系统的主从式的特点,另一方面也充分体现了分站的自主智能性,缩短了从发现异常到执行操作之间的时间延迟,避免了在此过程中因上位机死机而造成的安全隐患。

在CAN数据链路层中,采用双滤波方式来获取本通讯卡所需要的信息,两个滤波器都采用7位有效数据,分别是通讯卡的地址和广播方式下的通讯地址。这样,在进行通讯时,只

有目的地址是本卡的帧和广播帧能够进入到应用层中进行处理,而其他与本卡无关的通讯内容都被过滤掉,不会进入到应用层中来,避免了分站对无关数据处理的可能性,提高了系统的运行效率。

通讯过程中的数据流向如图 4 所示,发送方先通过管道占用标志字来选取一个空闲的管道,然后将待发送的数据拆

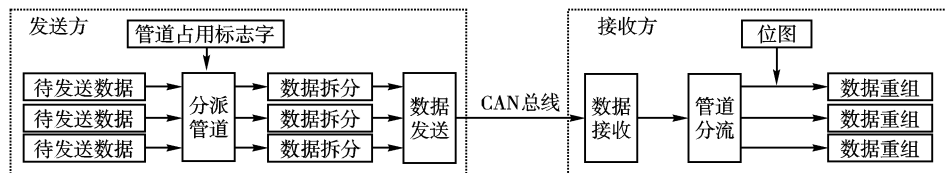


图 4 应用层协议示意图

### 1.3 基于管道号的多线程通讯

一个好的通讯协议不应该是单线程应答式的通讯方式,更应该能够支持多线程通讯。在 CAN 应用层协议中,本文引入了管道号的概念。管道可以认为是目的设备和源设备之间所建立的虚拟的数据通道,可以通过使用不同的管道进行数据传输进而实现多线程通讯。在报文标识符中,留出 4 位的宽度作为管道号,针对每个目的地址都可有 16 个通讯管道(0~15),采用管道号来区分不同的通讯管道,多个管道可以并行通讯而互不影响。发送方在发送数据之前先查看该目的设备与源设备之间的管道占用情况,如果存在空闲管道,则获取一个尚未被占用的管道号,并将其占用,通过该管道发送数据,直至数据发送完毕才释放管道。

在发送方为每个目的设备都建立了一个 16 位的管道占用标志字,在初始状态下这些标志字都是被清为 0 的,表明所有管道都处于空闲状态。当应用程序需要发送数据到目的地址时,则先查看该地址所对应的管道占用标志字,从最低位开始逐位查看,如果检查到第  $n$  位为 0,说明该管道尚未被占用,则在构造扩展帧时将该数据所对应的报文标识符的管道号设定为  $n$ ,利用该管道进行数据传输,并将标志字的该位置为 1,使其他线程在通讯时不再使用该管道。发送方在占用管道之后,要先发送一个申请建立连接的握手信息帧,其中的管道号为所占用的管道,帧类型为控制信息帧,控制信息中的控制命令为建立管道连接。如果接收方尚未处理完上一次来自该管道的信息,则发送该管道忙的信息帧,发送方则要等待一段时间后再发送握手信息帧,直到接收方发送管道连接成功的信息帧。建立起连接之后,双方就可以用该管道传输数据了。在数据传输结束后,接收方发送释放该管道的控制信息帧,发送方收到后将管道占用标志字的相应位清为 0,以表明该管道进入空闲状态。

另外,如果在发送紧急信息时没有空闲管道,为了保证紧急信息的快速发送,可以由紧急信息强行占用已被其他线程占用的管道。发送方先发送管道强行释放的控制信息帧通知接收方以尽快的速度释放该管道,然后紧急信息直接占用该管道,并发送信息至接收方。

在 CAN 总线通讯中使用管道技术,一方面提高了总线通讯的能力和通讯信道的使用效率,使 CAN 信道能够被多个线程同时使用(不是真正意义上的同时,物理信道还是串行的,只是被各个线程分时复用),另一方面也可以防止在通讯过程中由于某条管道拥塞而造成重要信息发送不出去的问题,特别是当需要发送紧急信息时,保证信息能够发送至目的地址,避免了安全隐患的出现。

分成 CAN 总线所要求的 8 字节数据块,经由 CAN 数据链路层和物理层传输至接收方。接收方收到数据后,按照管道号将数据进行分流,使数据流进入不同的通讯线程,再利用帧号和位图将数据进行重组,从而完成多线程大数据量的传输。下面两小节将分别对通讯过程中管道和帧号的作用和实现进行详细的阐述。

### 1.4 基于帧号和位图的大数据量通讯

由于 CAN 扩展帧每帧最多只能传送 8 个字节的数据,所以在传输超过 8 字节长度的数据时,就需要对数据进行拆分处理,数据接收方就需要对其进行数据重新组合。本文采用了帧号和位图相结合的方式进行数据的拆分和组合。在构造扩展帧时,按照每块 8 字节对数据进行拆分,根据数据的先后顺序,指定相应的帧号,从 0 递增。帧号采用 8 位表示,取值范围为 0~255,因此用这种方式最大支持 2kB 的数据长度,如果需要传输大于 2kB 的数据,可以利用应用程序来定义更高一层的用户层协议来予以实现。对于煤矿安全监控系统而言,由于通讯数据主要是参数、命令、实时数据等内容,一般长度不会大于 2kB,因此完全可以满足系统通讯的要求。

接收方在收到数据之后,首先查看先前有没有收到来自该源地址的该管道的数据,如果没有则先分配一段 2kB 的存储区域,并建立一张 256bit 的位图,将该位图初始化为全 0,然后根据所收到数据的帧号,将该帧中的数据内容拷贝到存储区域内的相应地址,并将位图中相应的位置 1。以后凡是收到来自该源地址该管道的数据,都按照帧号进行数据的拷贝和位图的修改。报文标识符的最后一位是数据传输结束标志,当该位为 1 时表明该管道的传输过程结束。一旦接受方检测到该位为 1,将会结束对该管道数据的接收,并对位图中的各位进行查看。帧号是从 0 开始依次递增的,如果收到结束标志时的帧号为  $n$ ,则在位图中的前  $n$  位就应该全部为 1,而后面的各位应全部为 0。如果前  $n$  位中存在某位为 0,则表示该帧号对应的帧在传输中丢失。接收方将发送一帧包含该管道号和所丢失的帧号的控制信息帧至发送方,其中控制信息中的控制命令段为出错重发命令。发送方接收到该命令后将相应的数据帧发送回来,并将结束标识符置 1。接收方重新对位图表进行查看,直到前  $n$  位全部为 1,说明数据已经接收完毕。然后接收方发送一帧包含该管道的控制信息帧至发送方,其中控制信息中的控制命令段为释放管道命令,双方通讯时所占用的该管道被释放为空闲状态。此时,接收方就可以对所接收到的数据进行分析处理了。

### 1.5 控制协议

设计通讯协议时,不仅要考虑正常通讯情况下的各种信息交互,更重要的是要考虑在通讯过程中出现数据出错、数据丢失、双方通讯不同步等情况下的处理,所以除了数据帧传输外还应该考虑通讯过程的控制协议。

对于 CAN 总线来讲,由于其扩展帧中包含有 CRC 校验场,它在收发数据之前由硬件自动实现对数据的 CRC 校验,而且一旦检测到 CRC 校验错误,由接收方自动发送错误帧,要求发送方重新发送该帧数据,直到接收方校验无误后才通

知应用层收到数据。另外当收发双方在通讯速度上存在差异时,接收方会自动发送过载帧,在帧的发送之间提供一个延时,从而控制数据流动速度。也就是说在CAN总线中,物理层和数据链路层基本都可以用硬件实现,差错控制和流量控制都由硬件自动完成。因此,在CAN总线的应用层协议中无需再考虑数据出错情况下的控制协议,要考虑的主要是针对应用层的通讯控制。控制信息帧与数据帧的格式相同,所不同的是报文标识符中的帧类型为0,数据场中的8字节数据是控制信息码,而不再是实际数据。数据场的控制信息采用如图5所示的格式。

其中控制命令码表明该控制信息帧所代表的命令含义,如新建管道连接、重发指定管道指定帧等命令;命令参数值是该命令码需要附带的一些参数,如管道被强行释放时可以由参数值指定原有通讯数据是否丢弃等;通道状态字用来存储发送方的各通道的占用状态,接收方通过比较该状态和自己存储的通道标志字可以检测哪些通道处于通讯状态,哪些通道处于死锁状态,以便及时对标志字进行修正,保证有更多的可用传输通道。

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
控制命令码		命令参数值		通道状态字		预留	

图5 控制信息帧的数据场格式

(上接第2174页)

为连接数变大,网络的业务量随之变大,整个网络的发包次数增多,使得吞吐量增大;但吞吐量性能增益减小,是因为网络业务量增大的同时,新协议使得网络拥塞加剧,导致丢包率上升,所以吞吐量增益会下降。

从图4.6可以看出,相比DSDV路由协议,新协议的递交率性能下降。这是因为新协议是在多径独立传输模式下,两个路径同时传输两个不同的数据包,网络业务量增大一倍,在网络负载比较大的时候,容易引起网络拥塞,导致链路失效,引起丢包。但也可以看到,新协议递交率性能下降的幅度并不大,对追求网络资源利用率,提高整个网络吞吐量的实际需求来说,是可行的。

总的来说,新协议在多径独立传输模式下,以少量的递交率性能为代价,大幅度提高了网络的吞吐量,提高网络资源的利用效率。

## 4 结语

本文提出了一种新颖的基于DSDV无线Ad Hoc网络多径路由协议。在选择路径时采用一种基于最佳信道状态准则和最短路径准则的混合路径选择准则,该准则需要用到MAC层的信息,涉及跨层设计;多径的传输模式采用多径独立传输模式。新协议以少量的递交率性能为代价,大幅度增加整个网络的吞吐量,提高了整个网络资源的利用率。

随着Ad Hoc网络的不断发展,在Ad Hoc网络上传送不同类型的业务的需求日益增加,对路由协议的要求也越来越高。把传统的路由协议和多路径机制结合起来,更能充分利用网络的资源,从而能有效地提高网络丢包率、时延、负载均衡等方面的性能,以满足实际中的不同需求。本文作者的下一步工作将继续考虑涉及跨层设计,采用基于几种路径选择准则的混合准则,并结合路由的独立性原理,实现新的节点独立的多径路由协议。

## 2 结语

设计的基于管道的支持多线程通讯的通讯协议,实现了监控系统中的命令和数据并行传输的问题,基于帧号和位图有效地解决了CAN总线本身的短帧结构给较大数据量传输所带来的弊端。这种通讯协议不仅可以用于煤矿安全监控系统中,对于其他基于现场总线的工业控制系统和监测系统都有一定的参考价值。

### 参考文献:

- [1] 董珂,李克强,冯能莲,等. CAN总线技术及其在混合动力电动车上的应用[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2003, 43(8): 1130-1133.
- [2] 黄天成,余智欣,袁学文. 一种新型的CAN现场总线与以太网互连方案的设计与研究[J]. 计算机工程与应用, 2005, 41(4): 125-127.
- [3] SJA1000 stand-alone CAN controller[Z]. Philips Semiconductors application note, 1997.
- [4] 马晨普. 一种适合于铁路机车车辆适用的CAN协议开发[J]. 电力机车与城轨车辆, 2005, 28(4): 17-23.
- [5] 杨飞,郑贵林. 基于CAN总线的监控系统设计[J]. 微计算机信息, 2005, 21(7): 34-36.
- [6] 潘健,陈立彬,童星. 基于CAN总线的网络监控系统[J]. 现代电子技术, 2005, 28(6): 70-71.

### 参考文献:

- [1] DOW CR, LIN PJ. A study of recent research trends and experimental guidelines in mobile ad-hoc network[A]. Advanced Information Networking and Applications. AINA 2005[C]. Taipei, China, 2005.
- [2] PERKINS CE, BHAGWAT P. Highly dynamic destination sequenced distance-vector routing (DSDV) for mobile computers [A]. Proceedings of the SIGCOMM'94 [C], 1994. 234-244.
- [3] JOHNSON DB, MALTZ DA. Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks[A]. IMIELINSKI T, KORTH H, eds, Mobile Computing[C]. Kluwer Academic, Publishers, 1996. 152-181.
- [4] PERKINS CE. Ad Hoc on demand distance vector (AODV) routing Internet-draft [DB/OL]. <http://moment.cs.ucsb.edu/AODV/aodv.html>, 1999.
- [5] WISITPONGPHAN N, TONGUZ OK. Disjoint Multi-path Source Routing in Ad Hoc Networks: Transport Capacity[A]. Proceedings of IEEE Vehicular Technology Conference[C], 2003. 2207-2211.
- [6] MARINA MD, DAS SR. On-Demand Multipath Routing for Mobile Ad Hoc Networks[A]. Proceedings of IEEE ICCCN 99[C]. Boston, MA, 1999. 64-70.
- [7] WANG L, ZHANG LF, SHU YT, et al. Multipath Source Routing in Wireless Ad Hoc Networks[A]. proceedings of the 2000 IEEE Canadian conference on Electrical and Computer Engineering[C]. Halifax, Nova Scotia, Canada, 2000. 479-483.
- [8] LEE SJ, GERLA M. Split Multipath Routing with Maximally Disjoint Paths in Ad hoc Networks[A]. Proceedings of IEEE ICC 2001 [C]. Helsinki, Finland, 2001. 3201-3205.
- [9] 孙磊,葛临东. 一种节点独立的MANET网络多径路由协议[J]. 计算机工程与应用, 2005, (1).
- [10] MAHESH KM, DAS SR. On-demand Multipath Distance Vector Routing in Ad Hoc Networks[A]. Proceedings of the 2001 IEEE Ninth International Conference on Network Protocols[C], 2001. 14-23.
- [11] 徐雷鸣,庞博,赵耀. NS与网络模拟[M]. 北京:人民邮电出版社, 2003.