

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2014.10.023

引用格式:贺晓,刘芸江,李曼,等.一种多信道的分簇式短波令牌协议[J].电讯技术,2014,54(10):1441-1445. [HE Xiao, LIU Yun-jiang, LI Man, et al. A Cluster HF Token Protocol Based on Multi-channel[J]. Telecommunication Engineering, 2014, 54(10):1441-1445.]

## 一种多信道的分簇式短波令牌协议\*

贺 晓<sup>1,\*\*</sup>, 刘芸江<sup>1</sup>, 李 曼<sup>1</sup>, 刘 梅<sup>2</sup>

(1. 空军工程大学 信息与导航学院, 西安 710077; 2. 西安理工大学, 西安 710048)

**摘 要:**传统的短波令牌协议(HFTP)调度方式单一,在没有数据传送时,信道资源会被各节点间的令牌传递所占用,且令牌在通信质量较差时易丢失。基于此,提出一种多信道的分簇式短波令牌协议(CHFTP),通过以通信质量评估为标准的分簇算法和基于预约的动态令牌调度,减小了令牌丢失的概率和令牌传递、处理的开销,并给出了仿真分析。仿真结果表明,该协议的端到端平均时延和网络吞吐量明显优于短波令牌协议,CHFTP的平均时延最多可减少75%,网络吞吐量最多可增加66.7%,适合在短波通信网络中使用。

**关键词:**短波数据通信;短波令牌协议;分簇算法;通信质量评估;多信道;令牌动态调度  
**中图分类号:**TN92   **文献标志码:**A   **文章编号:**1001-893X(2014)10-1441-05

## A Cluster HF Token Protocol Based on Multi-channel

HE Xiao<sup>1</sup>, LIU Yun-jiang<sup>1</sup>, LI Man<sup>1</sup>, LIU Mei<sup>2</sup>

(1. School of Information and Navigation, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China;  
2. Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

**Abstract:** The scheduling mode of traditional High Frequency Token Protocol(HFTP) is inflexible, whose channel resource would be occupied by the token passing between nodes when there is no data to send, and it is easy to lose the token if the communication quality is not good. A Cluster High Frequency Token Protocol(CHFTP) based on multi-channel is introduced. By using the cluster algorithm based on the assess of communication quality and the dynamic token scheduling through order, the probability of token loss as well as the overhead of token passing and processing, are both decreased. The simulation results show that the end-to-end average delay and the network throughput of CHFTP are better than those of HFTP obviously, and mostly the delay can be reduced by 75%, the throughput can be increased by 66.7%. The protocol is suitable for the High Frequency(HF) communication network.

**Key words:** HF data communication; HF token protocol; cluster algorithm; communication quality assess; multi-channel; dynamic token scheduling

### 1 引 言

短波令牌协议(HFTP)是应用于短波数据通信网络的一种非竞争型媒体接入控制(Media Access Control, MAC)技术,能通过依次传递令牌的方式动态分配信道资源,有效克服数据碰撞,并能自行实现系统同步。它最早是在无线令牌环协议(Wireless

Token Ring Protocol, WTRP)的基础上加入令牌中继、令牌合并的概念而形成的<sup>[1-3]</sup>,并被应用于舰艇编队之间的通信。随后,国内外学者对相关改进方法进行了深入研究。其中,文献[4]针对原本非常复杂的节点状态转移机制,采用简化成环流程的方法加以改善;文献[5-6]分别提出令牌中继子队列

\* 收稿日期:2014-04-23;修回日期:2014-06-11    Received date:2014-04-23;Revised date:2014-06-11

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61302153);陕西省自然科学基金资助项目(SJ08-ZT06)

Foundation Item: The National Natural Science Foundation of China(No. 61302153); The Natural Science Foundation of Shaanxi Province(SJ08-ZT06)

\*\* 通讯作者:a555wa@163.com    Corresponding author:a555wa@163.com

和中继更新门限,实现动态搜索令牌中继路径和对中继队列的实时更新;文献[7]引入计时器队列,使网络中能有多个令牌同步并行传递。

以上研究都是建立在单一的令牌调度方式上,即按照初始建立的节点顺序表,无论节点是否发送数据,在逻辑环中都将依次传递令牌,有数据发送的节点在持有令牌时进行发送,否则获得令牌后再将令牌传递给其后继节点<sup>[8]</sup>。这使得消耗在令牌传递上的开销过大,特别是节点数目过多但仅有个别节点进行数据发送时,网络吞吐量偏低。

同时,由于短波信道存在误码率较高、信号衰落等缺点,在节点间多次传递令牌可能会出现令牌丢失、重复等情况,造成链路回转时间增大,从而影响数据传输时延和实效性。

针对研究中的不足,本文提出一种基于多信道的分簇式短波令牌协议(CHFTP),先给出协议核心——分簇算法,再对协议进行详细描述;通过仿真分析,对所提出的分簇式短波令牌协议和HFTP的性能进行对比;最后给出结论和研究方向。

## 2 分簇算法

短波组网通信中,信号可通过地波、天波传播<sup>[9]</sup>,网络节点类型常区分高级节点和普通节点。

无线通信网络常通过某种分簇算法将网络节点划分到若干簇,每个簇由一个簇头成员和若干簇成员构成,能有效扩充网络,进行控制开销,并提高系统容量。经典的分簇算法有最小ID分簇算法、最高节点连通度分簇算法等,也可根据实际需要直接选定簇头进行分簇。基于此,首先提出短波通信网中选定高级节点为簇头的分簇算法,以解决因原有令牌调度方式单一而造成的令牌传递开销大、网络吞吐量低的问题。

网络初始化,按先高级节点再普通节点的顺序随机分配全网唯一的ID号(为从0开始的连续整数);分簇过程全网节点使用同一频率 $f_0$ ,以广播方式进行通信;各簇能容纳的成员总额根据“节点总数整除高级节点数,再随机分配余数”的方法进行设定。

分簇算法的具体步骤如下:

**Step 1:**高级节点将MAC地址、ID、地理位置、节点类型记录在标识信息中,按ID顺序依次启动定时器 $T_1$ ,在 $T_1$ 时间内广播自己的标识信息;

**Step 2:**各节点均设有缓存器,存储接收到的节点标识信息;

**Step 3:**高级节点按ID顺序依次启动定时器

$T_2$ ,在 $T_2$ 时间内广播测试信息,带有一组通信双方提前已告知的比特流及节点ID,重复3次;

**Step 4:**普通节点接收到高级节点广播3次的测试信息后,将统计的数据接收时间和误码率大小取平均值,按一定权重,评估与高级节点之间频率 $f_0$ 的通信质量,存储到缓存器;

**Step 5:**高级节点按ID顺序依次启动定时器 $T_3$ ,在 $T_3$ 时间内广播成簇信息,邀请普通节点加入它创建的簇,高级节点ID即为簇号,进入如图1所示的成簇流程。

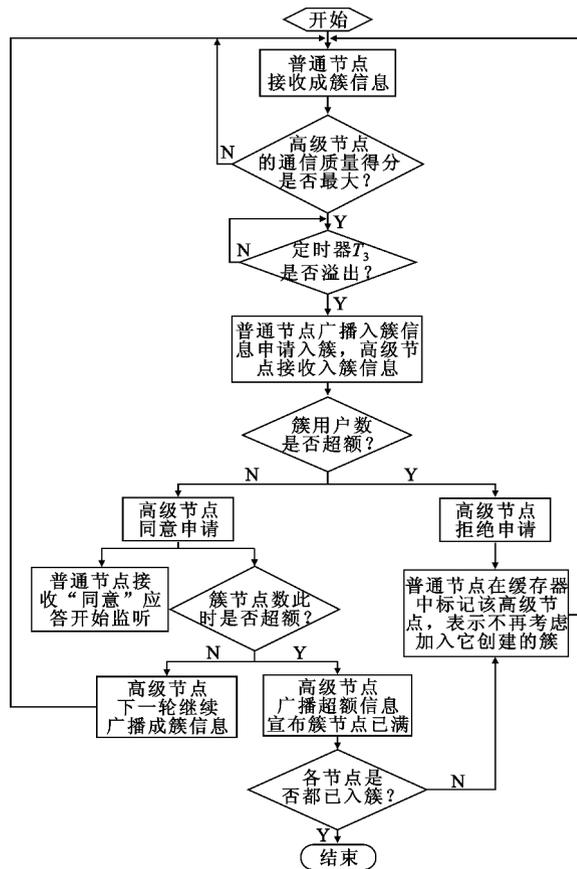


图1 CHFTP的成簇流程

Fig. 1 The building cluster progress of CHFTP

## 3 CHFTP描述

### 3.1 令牌帧结构

在HFTP的基础上<sup>[10]</sup>,设计CHFTP的令牌帧结构如图2所示。

FT	TC	Retry	NoN	NoC	CA	DA	SA	Seq	CluSeq	GenSeq
1	3	1	6	4	6	6	6	6	4	8 bit

图2 CHFTP的令牌帧结构

Fig. 2 The token frame structure of CHFTP

FT:帧类型字段(Frame Type),设置“0”表示帧类型为令牌,“1”是节点发送的数据。

TC:令牌控制字段(Token Control),定义了令牌类型,如代表普通令牌、设置前驱/后继令牌、特殊令牌等,可用于节点正常的数据传递和节点加入、退出等进程。

Retry:重传字段,表明该令牌是原令牌因链路出错丢失而重新传递的。

NoN:节点数目(Number of Node),网络中入环的节点总数,其值在 0~63 之间。

NoC:簇数目(Number of Cluster),簇的总数,也是高级节点总数,其值在 0~15 之间。

CA:簇地址(Cluster Address),由高级节点地址充当,表明令牌正运行在哪个簇中。

DA/SA:目的地址/源地址(Destination/Source Address),由节点地址充当。

Seq:序列号(Sequence number),初始值为 0,当令牌在簇内每经过一个节点,序列号就加 1(非首次经过簇头除外);当令牌完成整个网络循环一周的传递时,Seq 就清 0。

CluSeq:簇序列号(Cluster Sequence),初始值为 0,令牌每传递完一个簇,序列号就加 1;当令牌完成整个网络循环一周的传递时,CluSeq 就清 0。

GenSeq:生成序列号(Generation Sequence),初始值为 0,令牌每循环整个网络一周,GenSeq 就加 1,其值在 0~255 之间。

### 3.2 运行机理

CHFTP 对 HFTP 的改进主要体现在分簇算法初始化网络时,以通信质量评估为标准把网络节点划分到多个簇中,并设立高级节点为簇头(下文将高级节点统称为簇头),令牌依次在各簇间和各簇内传递。在各簇间传递时只由簇头收发令牌;在各簇内由簇头根据普通节点是否有数据发送选择节点传递令牌,如图 3 所示。

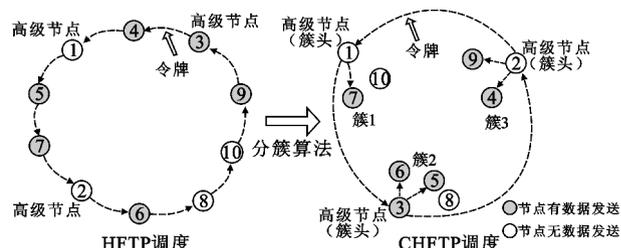


图 3 短波令牌协议的改进  
Fig. 3 The improvement of HFTP

簇头向普通节点传递令牌前复制令牌作为备份,传递后簇头设定节点的持有令牌最大时间,监听普通节点的数据发送。节点发送的数据都带有结束标志位,表明发送数据结束。当簇头接收到结束标

志位时,认为普通节点已发送完数据,将根据令牌预约的顺序传递备份令牌给下一普通节点;当超出持有令牌最大时间,簇头仍未接收到结束标志位时,认为普通节点发送数据超时或数据包丢失,也将传递备份令牌给下一普通节点;两种情况普通节点都将自行销毁令牌。

同时,由于软件无线电的广泛应用,已能在同一电台上实现两个不同信道数据的同时收发,加之短波第三代短波链路自动建立技术(3G-ALE)<sup>[11]</sup>和短波宽带通信<sup>[12]</sup>的快速发展,使得 CHFTP 通过多信道多频率来对令牌调度成为可能。即:若网络共有  $N$  个节点,其中高级节点数为  $m$ ,则簇的个数也为  $m$ 。那么,网络所有节点将使用分簇时的频率  $f_0$  进行令牌传递、数据收发和簇头对数据的监听,而各簇在等待令牌到达簇的过程中,簇  $i$  ( $i=1,2,\dots,m$ ) 内有数据发送的普通节点将使用频率  $f_i$  ( $i=1,2,\dots,m$ ),通过退避算法<sup>[13]</sup>向簇头进行数据发送预约,并规定令牌在簇内每一轮的传递过程中,节点只有一次机会得到令牌发送数据,以保证节点公平性。簇头收到预约信息后,使用频率  $f_i$  向普通节点进行预约确认,并在令牌到达时按照预约的顺序依次向普通节点传递令牌,普通节点持有令牌后发送数据。

### 3.3 协议特点

CHFTP 相比 HFTP,通过在初始阶段分簇以及对令牌调度的改进,具有以下特点:

(1) 设置高级节点为簇头,规定令牌每次进出簇时必须经过簇头,突出了簇头的控制和管理作用,能实时掌握令牌在本簇内的位置信息;

(2) 簇头可根据普通节点有无数据发送动态调整令牌在各簇的传递顺序,无数据发送的普通节点得不到令牌,减少了传递和处理令牌的时间开销,提升了各簇吞吐量;

(3) 成簇时将簇头与它之间通信质量较好的普通节点划为同簇,保证簇头与普通节点间的可通率较高,降低了传递令牌丢失的概率,减少了因令牌丢失而造成的延迟增加;

(4) HFTP 中的节点传递令牌后若没收到令牌确认信息,将认为令牌丢失,就会重新产生新令牌,导致环上可能出现多个令牌,而 CHFTP 通过簇头备份令牌、普通节点自毁令牌的方式,减少了环上出现多令牌的情况,只留下一个最新最有效的令牌。

## 4 仿真分析

在 OPNET 中对 HFTP 和 CHFTP 进行仿真。仿真参数设置为:令牌最大持有时间 8 s;令牌长度

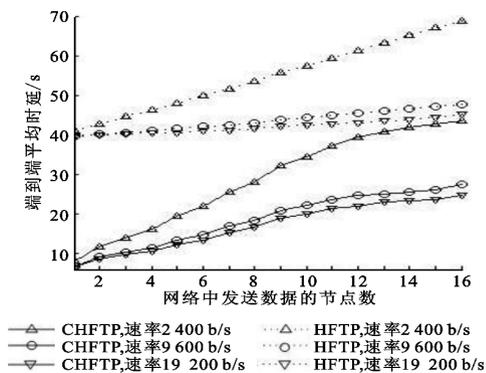
51 b; 为保证令牌可靠传输, 令牌传输速率取 75 b/s; 数据传输按照通信标准取短波常用的标称速率 2 400 b/s、9 600 b/s、19 200 b/s; 网络规模取 10、16、32, 其中高级节点数均取 4; 按照数据包长度 60 B (30%)、200 B (30%)、500 B (20%)、1 500 B (10%) 和 2 000 B (10%) 的比例加载短波常用的短报文混合业务。

因着重研究网络的 MAC 协议性能, 因此将短波信道对数据传输的影响集中体现在接收机处的数据误码上面, 通过在仿真的管道阶段加入误码率实现。当 HFTP 节点成环完毕以及 CHFTP 分簇算法完成后, 正式开始网络通信。分别对比发送数据的节点数与端到端平均时延、网络吞吐量的关系 (其中发送数据的节点数与网络规模呈正相关, 与数据包到达时间间隔呈反相关关系)。

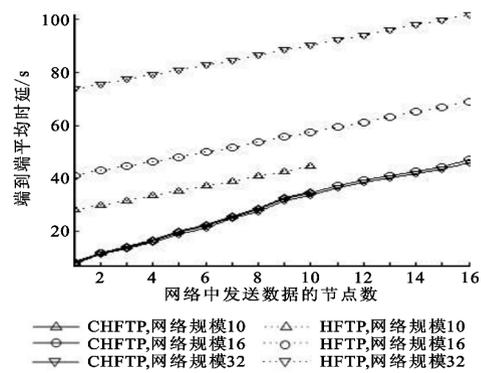
### 4.1 端到端平均时延对比分析

当网络规模均为 16, 数据传输速率变化时的端到端平均时延对比结果如图 4(a) 所示。由图可见, 两种协议在同一发送节点数的平均时延均随数据传输速率的减小而上升, 说明传输速率减小减慢了数据的发送。两者的平均时延都随发送数据节点数的增大而增大, 且在发送节点数较少时, CHFTP 的时延远远低于 HFTP, 最大时延差可达到 30 s, 说明对 HFTP 的改进使得令牌传递次数减少, 从而大大降低了在令牌传递、处理上的开销; 在接近发送节点饱和时, 两种协议的时延差值有所减小, 发送数据的节点队列都呈现出堵塞状态, 但由于 CHFTP 在分簇阶段, 高级节点通过通信质量评估将与之通信质量较好的普通节点划为同簇, 减少了因恢复丢失令牌而消耗的时间, 所以 CHFTP 平均时延更低、性能更优。

当数据传输速率均为 2 400 b/s、网络规模变化时的端到端平均时延对比结果如图 4(b) 所示。由图可见, 当发送节点数一定时, 网络规模的变化对 HFTP 的影响很大, CHFTP 在各种网络规模下的平均时延基本相同, 两协议最大时延差可达到 60 s, 说明 HFTP 的令牌额外开销过大, 时延增加, 直接限制了节点对数据的实效性要求, 而 CHFTP 规定只有需要发送数据的普通节点才能得到令牌, 降低了平均时延。同时, 网络规模分别为 10、16、32 的仿真结果中, 规模为 10 的结果在 HFTP 的 3 组值中时延最低, 却在 CHFTP 中时延最高, 说明 HFTP 的时延一直受令牌传递次数的制约。但 CHFTP 为获得相同的发送节点数, 网络规模大的, 需要的数据包到达时间间隔就长, 节点数据排队的概率就越小, 时延因此就小; 而规模小的, 需要的到达时间间隔就短, 数据到达后可能需要等待较长时间才能得到发送。



(a) 网络规模相同, 数据传输速率不同



(b) 数据传输速率相同, 网络规模不同

图 4 CHFTP 与 HFTP 端到端平均时延对比  
Fig. 4 The end-to-end average delay comparison between CHFTP and HFTP

### 4.2 网络吞吐量对比分析

当网络规模为 16、数据传输速率为 2 400 b/s 时的吞吐量对比结果如图 5 所示。由图可见, 两种协议的吞吐量都随发送节点数的增多而上升, 且 CHFTP 的性能一直优于 HFTP, 但两者的吞吐量差值从 200 b/s 到 50 b/s 呈现出由大变小的趋势。这是因为有无通信质量评估方式一直都是反映两种协议性能差异的主要因素, 而发送节点数较少时, HFTP 的令牌传递时间较高; 但发送节点数越多, 特别是越接近全网节点发送数据的饱和状态时, 令牌传递次数的影响力就越小。

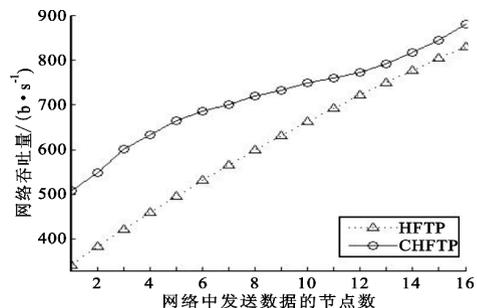


图 5 CHFTP 与 HFTP 网络吞吐量对比  
Fig. 5 The network throughput comparison between CHFTP and HFTP

## 5 结束语

本文针对 HFTP 令牌调度方式单一和易丢失的缺点,提出 CHFTP,采用分簇算法和提前预约的动态令牌调度,减少令牌丢失的概率和网络消耗在令牌传递、处理上的时间,并通过网络仿真进行验证。结果表明,CHFTP 在端到端平均时延和网络吞吐量的性能上较 HFTP 都有较大提升。下一步的研究方向是:在 CHFTP 的基础上,当短波网络中出现警报、控制、气象等对时延要求较高的突发信息时,寻找一种策略对其实效性进行保障。

## 参考文献:

- [1] Ergen M. WTRP—Wireless Token Ring Protocol [J]. IEEE Vehicular Technology, 2004, 53(6): 1863–1881.
- [2] Johnson E E, Anaya G, Tang Zibin. Performance of the HF Token Protocol [C]//Proceedings of 2004 MILCOM. Monterey, CA: IEEE 2004: 1021–1027.
- [3] Johnson E E, Tang Zibin, Balakrishnan M. Token Relay with Optimistic Joining [C]//Proceedings of MILCOM 2005. Atlantic, NJ, USA: IEEE, 2005: 2216–2222.
- [4] Kurtulus T. Improvement and Development of High-Frequency Wireless Token-Ring Protocol [D]. Ankara: Middle East Technical University, 2010.
- [5] 曹鹏, 景渊, 黄国策. 基于子队列的分布式动态令牌中继协议 [J]. 北京邮电大学学报, 2009, 32(5): 88–92.  
CAO Peng, JING Yuan, HUANG Guo-ce. A Distributed Dynamic Token Relay Protocol Based on Sub-Queue [J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2009, 32(5): 88–92. (in Chinese)
- [6] 屠文超. 短波 IP 网络分布式动态令牌中继协议研究 [D]. 西安: 空军工程大学, 2013.  
TU Wen-chao. The Distributed Dynamic Token Relay Protocol Research of HFIP Network [D]. Xi'an: Air Force Engineering University, 2013. (in Chinese)
- [7] 曹鹏, 黄国策, 景渊. 空间复用令牌协议错误检测机制的 QoS [J]. 北京邮电大学学报, 2011, 34(4): 28–33.  
CAO Peng, HUANG Guo-ce, JING Yuan. QoS Failure Detection Mechanism for Spatial Multiplexing Token Protocols [J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2011, 34(4): 28–33. (in Chinese)
- [8] 许丽阳. 具有子节点的无线自组织令牌网协议研究 [D]. 北京: 北京邮电大学, 2013.  
XU Li-yang. Research on Wireless Token Network With Sub-Nodes Protocol For Wireless Ad Hoc Network [D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2013. (in Chinese)
- [9] 杨青彬, 余毅敏, 郭马坤. 大区域网络化应急短波通信中的频率管理方法 [J]. 电讯技术, 2013, 53(4): 470–475.  
YANG Qing-bin, YU Yi-min, GUO Ma-kun. Frequency Management Methods for Large Regional Network of Emergency HF Communication [J]. Telecommunication Engineering, 2013, 53(4): 470–475. (in Chinese)

- [10] STANAG 5066, Profile for HF Data Communications Annex C – Edition 2 Draft 2, High-Frequency Wireless-Token-Ring-Protocol (HFTRP) Requirements [S].
- [11] 杨凯陟, 叶向阳. 短波信道质量评估技术综述 [J]. 电讯技术, 2013, 53(8): 1113–1118.  
YANG Kai-zhi, YE Xiang-yang. A Survey on Channel Quality Estimation Technique for HF Communications [J]. Telecommunication Engineering, 2013, 53(8): 1113–1118. (in Chinese)
- [12] 屠文超, 江天娇, 叶向阳. 美军短波宽带数据通信标准的最新进展 [J]. 电讯技术, 2012, 52(9): 1547–1551.  
TU Wen-chao, JIANG Tian-jiao, YE Xiang-yang. Latest Development of US Wideband Standard for Data Communications over HF Radio [J]. Telecommunication Engineering, 2012, 52(9): 1547–1551. (in Chinese)
- [13] 毛建兵, 毛玉明, 冷鹏, 等. 一种利用信道侦听的 IEEE 802.11 自适应优化算法 [J]. 软件学报, 2010, 21(8): 968–1981.  
MAO Jian-bin, MAO Yu-ming, LENG Peng, et al. Adaptive Optimization Scheme for IEEE 802.11 Based on Channel Sensing [J]. Journal of Software, 2010, 21(8): 1968–1981. (in Chinese)

## 作者简介:



贺 晓 (1990—), 男, 四川江油人, 2012 年于空军工程大学获学士学位, 现为硕士研究生, 主要研究方向为通信与信息系统;

HE Xiao was born in Jiangyou, Sichuan Province, in 1990. He received the B. S. degree from Air Force Engineering University in 2012.

He is now a graduate student. His research concerns communication and information system.

Email: a555wa@163.com

刘芸江 (1976—), 男, 四川内江人, 2005 年于空军工程大学获博士学位, 现为副教授、硕士生导师, 主要研究方向为航空通信;

LIU Yun-jiang was born in Neijiang, Sichuan Province, in 1976. He received the Ph. D. degree from Air Force Engineering University in 2005. He is now an associate professor and also the instructor of graduate students. His research concerns aeronautical communication.

李 曼 (1977—), 女, 陕西西安人, 2010 年于空军工程大学获博士学位, 现为副教授、硕士生导师, 主要研究方向为计算机仿真;

LI Man was born in Xi'an, Shaanxi Province, in 1977. She received the Ph. D. degree from Air Force Engineering University in 2010. She is now an associate professor and also the instructor of graduate students. Her research concerns computer simulation.

刘 梅 (1989—), 女, 陕西西安人, 2012 年于西安交通大学获学士学位, 现为硕士研究生, 主要研究方向为技术管理。

LIU Mei was born in Xi'an, Shaanxi Province, in 1989. She received the B. S. degree from Xi'an Jiaotong University in 2012. She is now a graduate student. Her research concerns technology management.