

## 无线移动环境下双链路通信机制的研究与应用

林威仪, 陈 兵

(南京航空航天大学 信息科学与技术学院, 南京 210016)

(linweiyi18@163.com)

**摘 要:**针对现有切换机制和算法存在切换延迟较大、丢包率较高、不够稳定可靠等问题,提出一种双链路通信机制,给出一种双链路选择和数据传输算法,通过平滑处理获取精确信号质量,根据差值阈值控制两条通信链路在适当时机进行切换,并使用双线程进行数据转发。实验结果表明,与单链路机制相比,双链路机制不会出现延迟脉冲,丢包率接近于零,平均吞吐量提升了20%,可以应用到轨道交通、高速公路等具有高速移动子网的应用场合。

**关键词:**双链路;通信机制;切换;延迟;丢包率

**中图分类号:** TP393.01 **文献标志码:** A

## Research and application of dual-link communication mechanism for wireless mobile environments

LIN Wei-yi, CHEN Bing

(College of Information Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing Jiangsu 210016, China)

**Abstract:** Problems such as high delay, high packet loss rate, low stability and reliability exist in current handoff scheme. To solve these problems, a dual-link communication mechanism and a dual-link selection were proposed, and the data transmission algorithm was presented in this paper to acquire accurate signal quality by smooth processing and control the handoff between two communication links at appropriate time by threshold of difference value and packet forwarding using dual-thread. The experimental results show that compared with the single link mechanism, no delayed pulse exists in dual-link mechanism, the packet loss rate is close to zero and the average throughput is increased by 20%. This mechanism can be applied to many environments owing high-speed mobile subnet such as metro, highway, etc.

**Key words:** dual-link; communication mechanism; handoff; delay; packet loss rate

### 0 引言

根据 IEEE802.11 协议规范<sup>[1]</sup>,在一个通信子网内,正在通信的移动主机(Mobile Host, MH)从一个接入点(Access Point, AP)区域移动到另一个 AP 区域时,必须断开跟当前 AP 的链路连接,在与新 AP 重新建立连接之后才能继续与对端节点进行通信,即发生切换。切换主要分为二层切换和三层切换,在同一子网里 AP 间切换称为二层切换,在不同子网间 AP 切换称为三层切换,本文仅讨论二层切换。依据 802.11 标准,完成一次二层切换大概需要中断 60 ms ~ 400 ms,在某些情况下甚至高达 1 s。较高的切换延迟和丢包率严重影响了实时性要求较高的应用,如网络电话(Voice over Internet Protocol, VoIP)、音视频传输等。因此,解决切换延迟和丢包问题已成为无线移动环境中提高网络服务质量(Quality of Service, QoS)的关键所在。

近年来国内外学者对如何减少切换延迟、降低丢包率等进行了大量研究。802.11 切换主要分为扫描、认证和重连接三个阶段<sup>[2-3]</sup>。由于扫描延迟占到了整个切换延迟的 90% 以上<sup>[2-3]</sup>,因此减少切换延迟很多都从减少扫描延迟来考虑,如邻居图法<sup>[4]</sup>和同步扫描法<sup>[5]</sup>。邻居图法从获取到的 AP 信息来推断整个无线局域网(Wireless Local Area Network, WLAN)拓扑结构,依据这些信息可使扫描延迟减少至 30 ms ~ 40 ms。同步扫描法要求所有 MH 和 AP 时间同步,可

将扫描延迟降低到几毫秒,但它不适用于很多传统 AP。除了对扫描延迟进行研究,也有部分学者针对认证和重连接进行改进<sup>[6-8]</sup>。而对降低丢包率目前互联网工程任务组 IETF 提出了平滑切换草案<sup>[9]</sup>,很多学者在此基础上提出了一些改进方案,如 AP 预先转发方案、缓冲区管理算法<sup>[10]</sup>等。

除了对单网卡切换进行研究,也有很多学者参照码分多址(Code Division Multiple Access, CDMA)的软切换思想<sup>[11]</sup>,提出了双网卡协同切换方案。如为 MH 配置两块无线网卡,主网卡专门用来进行切换,从网卡则用来扫描当前可用 AP 的信号强度,当主网卡需要切换时直接使用从网卡的扫描信息而不必进行扫描过程,该方案可使切换延迟降低到 40 ms 以下<sup>[12]</sup>。

上述研究虽然取得了良好的效果,但均较难保证低延迟和零丢包的均衡。本文提出一种双链路通信机制,为每个移动节点配置两条通信链路,两条链路均保持和不同 AP 的连接,但同一时刻只选取一条质量较好的链路进行应用数据的转发。

### 1 双链路通信机制的提出

本文讨论的通信模型如图 1 所示,分为固定设备和移动设备。固定设备主要有中心控制服务器 S、通信网关 G、交换机 Switch1 和沿途访问点 AP1、AP2 等,中心控制服务器通过通信网关和交换机连接到沿途 AP。移动设备可以看成是一个

收稿日期:2010-09-13;修回日期:2010-11-07。

作者简介:林威仪(1986-),男,湖南长沙人,硕士研究生,主要研究方向:计算机网络;陈兵(1970-),男,江苏南通人,教授,博士,主要研究方向:计算机网络、通信与安全。

移动子网,主要有移动电台(Station, STA)、交换机 Switch2 和移动节点 MN1、MN2 等,STA 通过无线网卡与沿途 AP 建立通信链路,实现移动节点和中心控制服务器的通信。

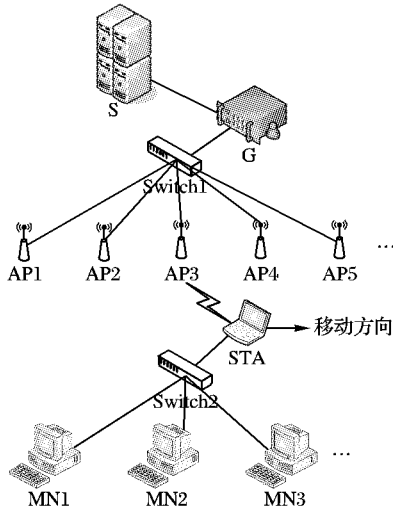


图1 原始通信模型拓扑结构

由于移动节点在不断前进,因此势必造成 STA 在不同的 AP 之间频繁切换,由此产生的丢包和延迟问题将严重影响无线通信的质量。因此,对现有的单链路模式有必要提出修改。如图 2 所示,在 STA 上安装两块无线网卡,每块无线网卡同时和不同的 AP 建立连接,STA 根据当前两条链路的通信质量来选择一条作为应用数据通信链路。为保证两块无线网卡可以同时连接到不同的 AP,无线网卡和 AP 均使用定向天线,并使两块网卡工作在不同信道。为了实现从中心控制服务器到移动节点之间透明的数据传输,本文提出了以下的双链路通信机制。

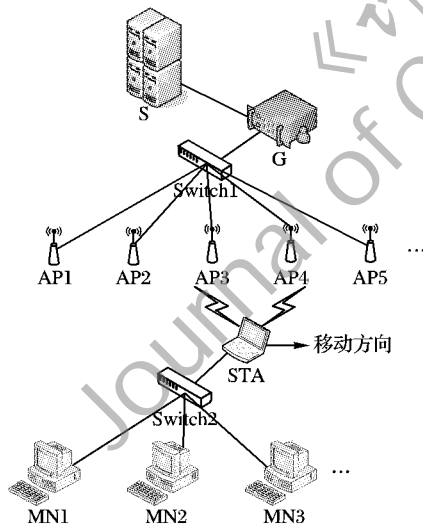


图2 改进通信模型拓扑结构

## 2 无线移动环境下的双链路通信机制

双链路通信环境中亟待解决的三个问题是链路信号质量的获取、链路的动态选择,以及业务数据的转发。

1) 获取链路信号质量。实时输出 STA 在移动过程中的信道质量指示(Channel Quality Index, CQI),并在此基础上进行平滑处理,克服获取到 CQI 的时变性和不确定性。

2) 链路选择。根据获取到两条链路的信号质量,以及是否能满足当前数据传输的阈值,动态选择一条质量较好的链路进行数据传输。

3) 数据转发。采用多线程进行数据的接收和转发,同时为接收数据设立大小合适的循环缓冲区,防止接收数据的丢失。

### 2.1 基于平滑处理的链路信号质量

链路信号质量的指标一般采用单纯的信号强度指示(Received Signal Strength Indication, RSSI),为获取精确的链路信号质量,本文将引入网络连接的信道质量指示。CQI 是无线信道通信质量的测量标准,它表征了无线链路的链路状态。衡量信道质量的指标有 RSSI、误帧率(Frame Error Rate, FER)和重传率(Retransmission Rate, RR),其关系可表述如下:

$$CQI = W1 \times RSSI + W2 \times (1 - FER) \times 100 + W3 \times (1 - RR) \times 100 \quad (1)$$

其中  $W1, W2, W3$  为权值且满足:  $0 < W1 < 1, 0 < W2 < 1, 0 < W3 < 1, W1 + W2 + W3 = 1$ 。

为了克服获取到 CQI 的时变性和不确定性,本文设计了平滑处理方式,在  $t$  时刻获取 CQI 的主要过程如下:

- 1) 连续获取  $n$  次 CQI 值;
- 2) 求  $n$  次 CQI 平均值;
- 3) 将远离平均值的  $m$  个 CQI 选择出来;
- 4) 对未被选择出来的  $n - m$  个 CQI 求平均值。

在  $t$  时刻获取的  $CQI_t$  可表述如下:

$$CQI_t = \left( \sum_{i=1}^n CQI_{it} - \sum_{j=1}^m \overline{CQI}_{jt} \right) / (n - m) \quad (2)$$

其中:  $CQI_t$  为  $t$  时刻链路信道质量指示值;  $CQI_{it}$  为  $t$  时刻获取的第  $i$  ( $0 < i < n$ ) 个信道质量指示值;  $\overline{CQI}_{jt}$  为  $t$  时刻获取的第  $j$  ( $0 < j < m$ ) 个远离 CQI 平均值的 CQI;  $n, m$  分别为  $t$  时刻获取 CQI 个数和  $t$  时刻获取 CQI 中远离 CQI 平均值的个数,  $n, m$  满足  $n > m$ 。

在后面的测试实验 1) 中,将给出  $n$  和  $m$  值的选择。

### 2.2 基于 CQI 差值阈值的链路选择

在正常情况下,当 STA 的无线网卡获取到当前连接 AP 信号质量低于指定阈值时,网卡驱动就会触发 AP 扫描,并从扫描到的 AP 中选择一个信号质量较好的 AP 进行重连接,紧接着进行认证,完成整个切换过程。这种方式不易控制且切换速度较慢,本文设计了一种链路选择算法,避免自动触发扫描和切换。

设在  $t$  时刻链路 1 和链路 2 获取的平滑处理后链路信号质量指示分别为  $cqi1$  和  $cqi2$ ,无线网卡能与 AP 保持正常通信的 CQI 阈值为  $cqi\_threshold$ ,两块网卡 CQI 的差值阈值为  $cqi\_diff\_threshold$ 。STA 对  $cqi1, cqi2$  及其差值进行判断,根据当前工作链路及差值阈值等信息决定是否对两块网卡进行切换及是否切换工作链路,其具体过程见算法 1。

算法 1

```
void * LinkState(void * para)
{
    /* 获取链路 1 和链路 2 平滑处理后 CQI 值 */
    cqi1 = get_link_cqi(sock_link_state, wnic[0].nic_name);
    cqi2 = get_link_cqi(sock_link_state, wnic[1].nic_name);
    /* 当前工作链路为链路 1 */
    if (wireless_nic_index_send == wnic[0].nic_index) {
        if (cqi1 < cqi_threshold && cqi2 < cqi_threshold) {
            /* 网卡 2 切换 */
            wnic_handoff(wnic[1].nic_name);
            /* 通知 STA 和通信网关,将工作链路设为链路 2 */
        }
    }
}
```

```

wnic_send_set(wnic[1].nic_name);
/* 网卡1 切换 */
wnic_handoff(wnic[0].nic_name);
} else if(cqi1 < cqi_threshold && cqi2 > cqi_threshold) {
    wnic_send_set(wnic[1].nic_name);
    wnic_handoff(wnic[0].nic_name);
} else if(cqi1 > cqi_threshold && cqi2 < cqi_threshold) {
    wnic_handoff(wnic[1].nic_name);
} else { /* cqi1 > cqi_threshold && cqi2 > cqi_threshold */
    /* 当链路2 质量比链路1 大给定差值 rssi_diff_threshold,
    将工作链路切换到链路2 */
    if(cqi2 > cqi1 + rssi_diff_threshold) {
        wnic_send_set(wnic[1].nic_name);
    }
}
} else { /* wireless_nic_index_send == wnic[1].nic_index */
    /* 类似 wireless_nic_index_send == wnic[0].nic_index 情形,
    仅下标需要对换过来,此处省略 */
}
}
}

```

### 2.3 基于多线程的数据转发

本文采用多线程进行数据的接收和转发,同时为接收数据设立大小合适的循环缓冲区,防止接收数据的丢失。以802.11g为例,数据最高传输速率为54 Mbps,以太网最大传输单元取1500 B,每秒最多可传输数据4719 帧,两条链路切换时间远小于100 ms,因此数据缓冲区最多需要缓存472 帧,可设置缓冲区大小为500。

进程主要有两个线程,为了实现线程间的通信,本文设置了两个线程间共享的发送信号量 sem\_buf\_send。一个线程负责接收所有的IP 数据分组,将其存储在循环缓冲区 BufRecv 中,并且将发送信号量 sem\_buf\_send 增1;另外一个线程等待 sem\_buf\_send 大于0 时,取出IP 分组,将 sem\_buf\_send 减1,然后分析该分组的地址,把 BufRecv 中的IP 数据分组转发给下一跳或目的主机。其具体过程可见算法2。

#### 算法2

```

/* 接收数据线程 */
void * RecvDataThread(void * data)
{
    /* 初始化循环缓冲区 */
    InitBufRecv(char * BufRecv, int BufCount);
    /* 初始化发送信号量 */
    sem_init(&sem_buf_send, 0, 0);
    /* 创建发送数据线程 */
    ret = pthread_create(&p_thread, NULL, SendDataThread,
        (void *) &option);
    while(1) {
        /* 接收数据分组到循环缓冲区 */
        pktl = recv(sockPacket, (buf + pBufRecv * MTU), MTU,
            MSG_TRUNC);
        buf[pBufRecv] = pktl;
        /* 对发送信号量进行 post 操作 */
        sem_post(&sem_buf_send);
    }
}
/* 发送数据线程 */
void * SendDataThread(void * data)
{
    while(sem_buf_send > 0) {
        /* 对发送信号量进行 wait 操作 */
        sem_wait(&sem_buf_send);
    }
}

```

```

/* 从循环缓冲区取出一个IP 数据分组 */
ip = (struct iphdr *) (buf + pBufSend * MTU);
/* 查找路由,获取下一跳或目的主机地址 */
if(router_search(ip->daddr) == 1) {
    /* 发送数据到下一跳或目的主机 */
    sendto(sockPacket, (buf + pBufSend * MTU),
        buf[pBufSend], MSG_DONTWAIT,
        (struct sockaddr *)&sll, sizeof(sll));
}
}
}

```

## 3 测试结果与分析

### 3.1 测试环境

本文以地铁信号系统为背景,搭建如图2 所示网络拓扑结构,中心控制服务器和通信网关为地铁控制中心设备,沿途AP 为轨旁AP,STA 为车顶移动电台,移动节点为车载主机。准备两台相同的STA,在STA1 上安装一块无线网卡,在STA2 上安装两块无线网卡,三块网卡均工作在STA 模式,且均使用定向天线,在STA1 中定向天线指向车辆前方,STA2 中定向天线指向车辆一前一后两个方向。实验中有线网络使用标准100 Mbps 以太网,无线网络采用802.11g 标准。在通信网关和STA 上运行数据转发程序,移动STA,满足条件后即可触发切换,切换过程中未采用特殊的预先鉴权和认证方式。

为了对普通单链路通信和改进后双链路通信机制性能进行测试,本实验采用国际通用网络测试软件 Ixchariot 进行测试,在中心应用服务器S 上安装 Ixchariot5.4,同时运行 endpoint4.5,车载MN1 上运行 endpoint4.5,测试网络延迟和吞吐量分别采用 Ixchariot 自带 Response\_Time.scr 脚本和 Throughput.scr 脚本。

### 3.2 测试内容

对本文提出的双链路通信机制,其衡量指标主要有网络延迟和吞吐量。为了测试这些指标,本文设计了5 组测试实验:1) 双链路状态下  $n, m$  取不同参数获取  $CQI$  值对比实验,确定最佳  $n, m$  取值;2) 双链路状态下信道质量指示变化实验,确定最佳链路切换阈值  $cqi\_threshold$ ;3) 双链路状态下吞吐量随  $cqi\_diff\_threshold$  变化实验,确定最佳  $cqi\_diff\_threshold$  取值;4) 单、双链路响应时间对比实验;5) 单、双链路不同包大小吞吐量对比实验。

由于测试环境的特殊性,本文只能提供单、双链路实际测试结果,而无法与其他改进算法进行对比。

### 3.3 测试结果与分析

图3 为双链路状态下  $n, m$  取不同参数获取的  $CQI$  对比曲线图,横坐标为时间,每隔一定时间  $\Delta t$  获取一次  $CQI$ ,经实验确定当  $\Delta t$  取1 s 时可达到较好效果,纵坐标为每隔1 s 获取到的  $CQI$  值。从图中可以看出:当  $n = 1, m = 0$  时,即没有使用本文平滑处理方法情况,获取的  $CQI$  波动性较大;当  $n = 5, m = 1$  时波动较  $n = 1, m = 0$  小,但仍然较大;当  $n = 10, m = 2$  和  $n = 15, m = 3$  时波动较小,且差别不大。考虑到  $n$  较大对系统性能影响,本文最终确定  $n, m$  取值分别为10 和2。

图4 为双链路状态下一块无线网卡和一个AP 关联后获取的从连接开始通信到切换时链路信道质量指示变化图,从图4 中可以看出  $CQI$  在20 到30 之间链路发生切换,因此  $cqi\_threshold$  可取值为25。

图5 为双链路状态下不同  $cqi\_diff\_threshold$  吞吐量对比

图,实验采用的传输协议是传输控制协议(Transmission Control Protocol, TCP),包大小为100 KB,列车在高速移动状态下运行30 min,期间经历了数十次AP切换。从图中可以看出当 $cqi\_diff\_threshold$ 取1到10时,曲线不断增长,这是因为 $cqi\_diff\_threshold$ 取值太小会导致两条链路不断来回切换,从而使吞吐量较低, $cqi\_diff\_threshold$ 取值较大可使系统每时刻均选择一条较好链路进行通信,从而吞吐量较大;当 $cqi\_diff\_threshold$ 取值大于15后曲线又开始有轻微的下降,这是因为 $cqi\_diff\_threshold$ 取值太大达不到每时刻均选择较好链路的效果,理论上当 $cqi\_diff\_threshold$ 取值足够大之后该处选择质量较好链路就失去作用了,因此 $cqi\_diff\_threshold$ 可取值10到14,本文取12。

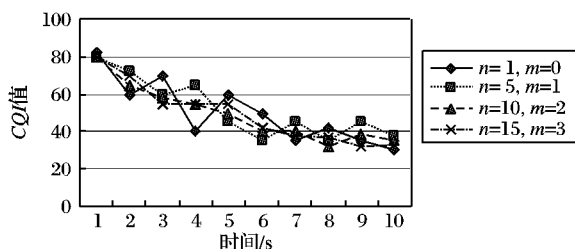


图3 不同参数获取CQI对比

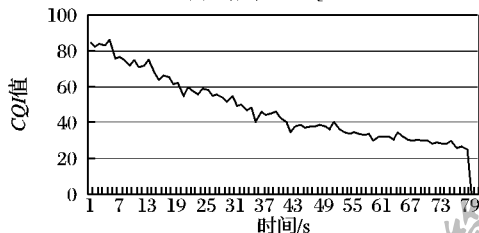
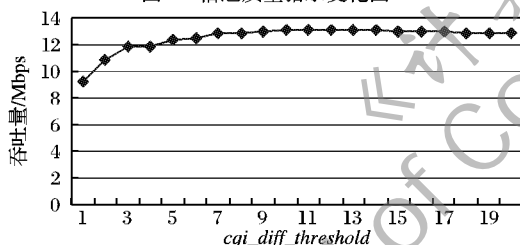


图4 信道质量指示变化图

图5 吞吐量随 $cqi\_diff\_threshold$ 变化图

各参数确定后,可进行单、双链路切换对比。图6为单、双链路响应时间对比图,实验采用的传输协议是TCP,包大小为100 KB。从图中可以看出,单链路状态下在49 s左右发生了一次切换,出现明显的中断,直至第53 s左右才重新建立无线链路,恢复正常的的数据发送,响应时间为110 ms左右;双链路状态下两条链路协同工作,使得整个链路看不出明显的切换。测试结果表明,采用双链路通信机制,可以屏蔽切换过程,不出现延迟脉冲,保持正常的网络连接。

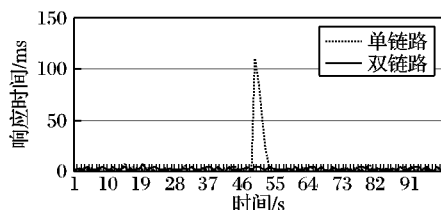


图6 单、双链路响应时间对比

图7表示单、双链路在切换过程中网络吞吐量对比,实验对TCP和用户数据包协议(User Datagram Protocol, UDP)分别采用400 B、1 KB、10 KB、100 KB、10 MB几种包大小进行测试,列车均在高速移动状态下运行30 min,期间经历了数十次

AP切换。从图中可以看出,无论是TCP还是UDP,双链路吞吐量曲线均在单链路吞吐量曲线之上。相对单链路而言,双链路平均吞吐量提高了20%左右。

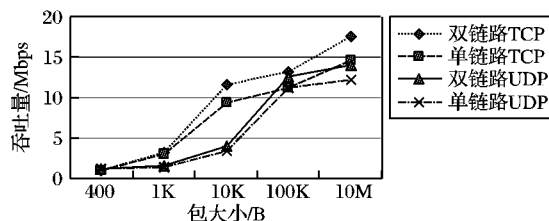


图7 单、双链路吞吐量对比

以上测试结果表明,采用双链路通信机制可控制两块网卡协同工作,共同完成无线切换和数据传输。与单链路环境相比,双链路通信机制可保证无线切换中不出现链路中断,最大限度地保证了各种特殊应用中网络零丢包的需求。

#### 4 结语

本文结合无线移动环境,针对现今单链路存在的延迟较大、丢包率较高等问题,提出了一种双链路通信机制,并在地铁信号系统环境下实现。实验结果表明,该机制能在地铁环境下实现较小延迟和零丢包,同时吞吐量也有相应提高,可以较好地适应地铁信号系统通信的要求。该机制是基于应用层的,无需改动网络驱动程序就可实现应用端到服务端的数据透明传输,可移植性较强。下一步工作考虑将因特网协议安全性(Internet Protocol Security, IPSec)应用到该机制,实现安全的数据传输。

#### 参考文献:

- [1] IEEE. IEEE Standard 802.11, Part II: Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications [S]. Washington, DC: IEEE Computer Society, 1999.
- [2] CHEN Y S, CHUANG M C, CHEN C K. DeuceScan: Deuce-based fast handoff scheme in IEEE 802.11 wireless network [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2008, 57(2): 1126-1140.
- [3] MUSTAFA N, MAHMOOD W, CHAUDHRY A A, et al. Pre-scanning and dynamic caching for fast handoff at MAC layer in IEEE 802.11 wireless LANs [C]// Proceedings of 2005 IEEE International Conference on Mobile Ad Hoc and Sensor Systems. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2005: 114-122.
- [4] SHIN M, MISHRA A, ARBAUGH W A. Improving the latency of 802.11 handoff using neighbor graphs [C]// International Conference On Mobile Systems, Applications And Services. Boston, MA: [s. n.], 2004: 70-83.
- [5] RAMANI I, SAVAGE S. SyncScan: Practical fast handoff for 802.11 infrastructure networks [C]// INFOCOM 2005: Proceedings of the 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2005: 675-684.
- [6] SUN H M, LIN Y H, CHEN S M, et al. Secure and fast handover scheme based on pre-authentication method for 802.16/WiMAX infrastructure networks [C]// TENCON 2007: Proceedings of the 2007 IEEE Region 10 Conference. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2007: 1-4.
- [7] ISSAC B, HAMID K A, TAN C E. Pre-authenticated and adaptive IP mobility for WLAN nodes [C]// Proceedings of the Second International Conference on Distributed Frameworks for Multimedia Applications. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2006: 1-8.

(下转第635页)

更高的测距精度需要更高的码率或采用其他的提高跟踪精度的方法。对于混沌测距而言,采用传统的伪码跟踪环路是不现实的,因而这方面的技术措施需要进一步研究。

#### 4 方案仿真

为了验证混沌测距的可行性,对连续混沌发送测距方案进行了工作过程仿真,其结果如图6~9所示。仿真时,取 $N = 1023$ ,  $M = 10 \times 1023$ , 并假设第一个周期内传播时延为 $5115T_c$ , 第二个周期内传播时延为 $3069T_c$ , 第三个周期内的传播时延为 $1023T_c$ 。伪码速率取 $10.23 \text{ MHz}$ 。仿真过程中,考虑到计算量的问题,没有考虑载波调制,而是基带仿真。

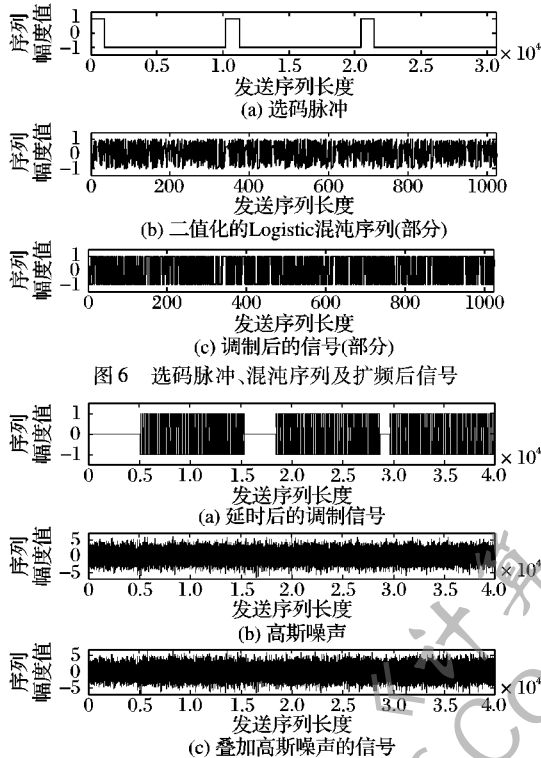


图6 选码脉冲、混沌序列及扩频后信号

发端每隔 $MT_c$ 时间,取该周期的前 $N$ 个混沌码,在选码脉冲的下降沿将此 $N$ 个混沌码锁存在移位寄存器中,同时进行匹配接收,由于匹配接收是在 $N$ 个码元结束时判决,因此将选码脉冲延时 $NT_c$ 后触发翻转触发器,用于与该时刻接收到的伪码比相。当本周期的所有伪码均进入接收移位寄存器后,输出相关峰,此即接收到所发送伪码的时刻。将它经翻转触发器与发送端翻转触发器输出进行异或,得出的脉冲宽度即电波传输一个来回的时间 $\tau$ 。

#### 5 结语

本文提出了两种混沌扩频测距方案,方案中扩频码长、检

测周期可灵活设置,从而提高了保密和抗截获性能;在码长特别长的情况下,进行多目标测距,采用数字匹配滤波器方式接收,只要满足扩频增益的要求,测距调制的伪码长度可任意设定(不一定要达到无模糊测距的要求),更方便易行。仿真结果表明利用混沌码作为扩频码实现测距是可行的,混沌扩频测距方案能够满足未来我国深空测控的需要,具有很好的应用前景。

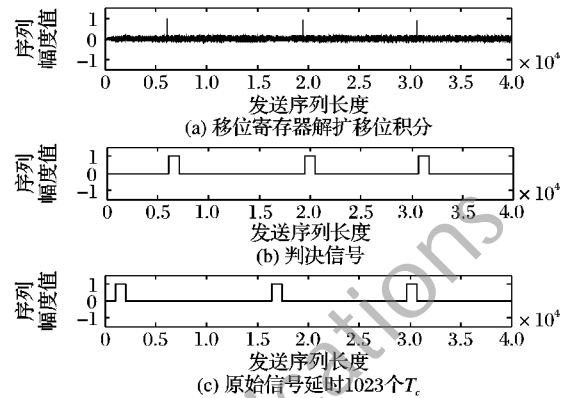


图8 匹配滤波器判决输出及用于比较的发端信号

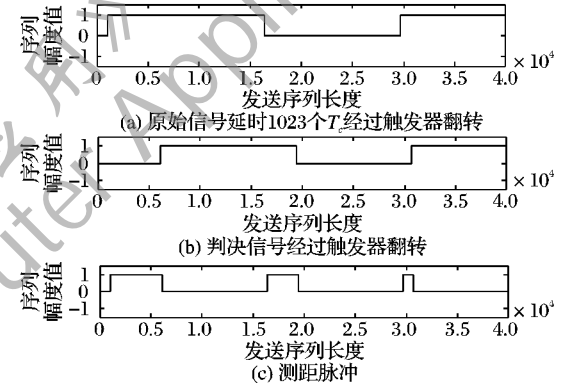


图9 测距脉冲形成过程

#### 参考文献:

- [1] BERNER J B, BRYANT S H, KINMAN P W. Range measurement as practiced in the deep space network [J]. Proceedings of the IEEE, 2007, 95(11): 2202-2214.
- [2] 高英, 谢有才. 伪码精确测距与测控体制探讨[J]. 飞行器测控学报, 2001, 20(1): 30-35.
- [3] 基于 Chebyshev 映射的混沌序列研究[J]. 计算机工程, 2009, 35(24): 1-3.
- [4] LAU F C M, CHEONG K Y, TSE C K. Permutation-based DCSK and multiple-access DCSK systems [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems, 2003, 30(50): 733-742.
- [5] PECORA M, CARROL L. Synchronization in chaotic systems [J]. Physical Review Letters, 1990, 64(8): 821-823.
- [6] 田日才. 扩频通信[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007.

(上接第624页)

- [8] HSU S-F, LIN Y-B. A key caching mechanism for reducing WiMAX authentication cost in handoff [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2009, 58(8): 4507-4513.
- [9] PERKINS C E, JOHNSON D B. Route optimization in mobile IP [EB/OL]. [2010-06-20]. <http://ftp.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-mobileip-optim-07.txt>.
- [10] TONG S-R, YANG S-H. Buffer control to support a seamless stream handoff in a WLAN that employs simulcast streaming [J]. IEEE

- Transactions on Wireless Communications, 2008, 7(1): 260-268.
- [11] MAO WANDUI, HE ZHAOFENG, LIU NINGNING, et al. Study on the soft handoff simulation based on received signal strength in CDMA [C]// AICT09: Proceedings of the 2009 International Conference on Artificial Intelligence and Computational Intelligence. Shanghai: [s. n.], 2009: 145-149.
- [12] MISHRA A, SHIN M, ARBAUGH W. An empirical analysis of the IEEE 802.11 MAC layer handoff process [J]. ACM Computer Communications Review, 2003, 33(2): 93-102.