

7-2-2020

Multi-channels Converged Communication Method in Mobile Terminals Based on Virtual Link

Wenqiang Yao

School of Computer Science and Technology, Soochow University, Suzhou 215006, China;

Kaisheng Xu

School of Computer Science and Technology, Soochow University, Suzhou 215006, China;

Feng Jie

School of Computer Science and Technology, Soochow University, Suzhou 215006, China;

Yanqin Zhu

School of Computer Science and Technology, Soochow University, Suzhou 215006, China;

See next page for additional authors

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Multi-channels Converged Communication Method in Mobile Terminals Based on Virtual Link

Abstract

Abstract: In the region overlapping multiple radio signals such as 3G/4G and Wi-Fi, the mobile terminal usually only chooses one of signals to transmit data. It limits the access bandwidth of the mobile terminal, influences the upper applications running on the devices, and increases the costs of data communication. *A new multi-channels converged communication method was proposed according to the analysis of existing technology. The method used the virtual link receiving all the packets sent by upper applications, and sent the packets simultaneously in multi-channels according to the status of every physical channel.* The specific implementation processes were given about the system of multi-channels converged communication, and the system was tested and analyzed. The result of test shows that the method is able to start simultaneously using the physical channels such as 3G/4G and Wi-Fi. The average access bandwidth of the mobile terminal is improved significantly.

Keywords

converged communication, multi-channels, traffic splitting, Wi-Fi, 3G/4G

Authors

Wenqiang Yao, Kaisheng Xu, Feng Jie, Yanqin Zhu, and Lingzhi Li

Recommended Citation

Yao Wenqiang, Xu Kaisheng, Feng Jie, Zhu Yanqin, Li Lingzhi. Multi-channels Converged Communication Method in Mobile Terminals Based on Virtual Link[J]. Journal of System Simulation, 2016, 28(3): 720-726.

基于虚拟链接的移动终端多通道融合通信方法

姚文强, 许恺晟, 冯捷, 朱艳琴, 李领治

(苏州大学计算机科学与技术学院, 江苏 苏州 215006)

摘要: 移动终端在 3G/4G, Wi-Fi 等多个无线信号重叠的区域, 通常只会选择其中的一种信号进行数据通信, 限制了终端网络接入的带宽, 影响了上层应用的实现, 增加了数据通信的成本。在分析现有的多信道混合通信技术的基础上, 提出了一种新的多通道融合通信方法。使用虚拟链接接收上层应用程序发送的所有数据包, 根据各个物理信道的状况, 将数据包分流到多个物理通道上同时发送出去。给出了该多通道融合通信系统的具体实现过程, 对系统进行了测试与分析。测试结果表明: 该方法可以同时启用 3G/4G, Wi-Fi 等物理通道, 大幅提升了移动终端的平均接入带宽。

关键词: 融合通信; 多通道; 分流; Wi-Fi; 3G/4G

中图分类号: TP393 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2016) 03-0720-07

Multi-channels Converged Communication Method in Mobile Terminals Based on Virtual Link

Yao Wenqiang, Xu Kaisheng, Feng Jie, Zhu Yanqin, Li Lingzhi

(School of Computer Science and Technology, Soochow University, Suzhou 215006, China)

Abstract: In the region overlapping multiple radio signals such as 3G/4G and Wi-Fi, the mobile terminal usually only chooses one of signals to transmit data. It limits the access bandwidth of the mobile terminal, influences the upper applications running on the devices, and increases the costs of data communication. A new multi-channels converged communication method was proposed according to the analysis of existing technology. The method used the virtual link receiving all the packets sent by upper applications, and sent the packets simultaneously in multi-channels according to the status of every physical channel. The specific implementation processes were given about the system of multi-channels converged communication, and the system was tested and analyzed. The result of test shows that the method is able to start simultaneously using the physical channels such as 3G/4G and Wi-Fi. The average access bandwidth of the mobile terminal is improved significantly.

Keywords: converged communication; multi-channels; traffic splitting; Wi-Fi; 3G/4G

引言

融合通信是目前计算机通信领域的一个研究热点。由于多设备通信环境的复杂性和多样性, 导

致现在计算机网络的通信方式越来越多^[1], 在各种类型的移动终端上使用广泛并具有一定代表性的有 Wi-Fi, 3G/4G, WiMax, ZigBee, 蓝牙, UWB(Ultra Wideband)等无线通讯技术, 同时在有线网络中也存在着以太网、PPP 等技术。每种技术都有其各自的特点, 在特定领域中也有相当的适用性, 所以终端设备在多种信号覆盖区域一般只会选用其中的一种技术进行通信。这种通信方式大大限制了终端



收稿日期: 2014-07-15 修回日期: 2014-10-06;
基金项目: 国家自然科学基金(61373164); 江苏省产学研前瞻性联合研究(BY2013030-06); 苏州市应用基础研究计划(SYG201238);
作者简介: 姚文强(1992-), 男, 江苏苏州, 硕士生, 研究方向为计算机网络与信息安全。

<http://www.china-simulation.com>

网络的接入带宽,影响了上层应用的实现性能。许多应用场景需要一种更普遍的通信技术,它能够把已有的通信技术进行融合,以保证在原有通信网络结构不变的情况下提高数据通信的带宽、降低数据通信的成本。

融合通信技术的实现方式有很多种,比较具有典型性有:无线 Mesh 网络技术^[2-3]、3G 和 Wi-Fi 数据的无缝切换技术、基于蓝牙的复合通信技术^[4]。这三种多通道融合通信技术分别代表了 3 种解决方法和思路^[5-6]。无线 Mesh 网络技术对节点的要求太高,并与现有网络结构和移动终端的功能存在一定差异。3G 和 Wi-Fi 无缝切换技术能够在一定程度上降低了数据通信的成本;但是本质上并没有提升数据通信的带宽;但是本质上并没有提升数据通信的带宽。基于蓝牙的复合通信技术虽然有效的提高了数据通信的带宽,但是在通信范围上受限较大^[7]。如上所述,3 种技术虽然各有优点,满足了多通道融合通信的部分需求,但是还不能完全符合所有的要求^[8-9]。

本文设计并实现了一种基于虚拟链接的多通道融合通信平台,各个链路通过一个虚拟链路进行绑定。上层应用发出的所有数据包都通过虚拟链路进行分流,然后通过多个无线物理通道传输出去。测试与分析表明,该方法能够提高数据传输的带宽,提高数据传输的可靠性,降低数据通信的成本。

1 多通道融合通信构架

多通道融合通信就是指当移动终端在同时具有多种无线信号覆盖的区域时,能够通过本技术同时使用两种或者两种以上无线信号进行数据通信,而非现在的只选择其中的一种信号进行数据传输的方式。

1.1 虚拟链接融合多通道

以手机为代表的移动终端使用的无线数据通道主要有 3G/4G 和 Wi-Fi 两大类。在本文提出的多通道融合通信方法中,基站与每个移动终端之间建立物理通道主要有 3G 与 Wi-Fi 两条,其它物理通

道的使用方法与这两条物理通道相似,这里不做详细说明。在进行数据传输时,使用自定义的首部来进行控制信息的交互,从而达到在双通道同时传输数据的目的。

多通道融合通信在结构上分为两大部分,一是移动终端模块,另一个是基站处理模块,两个模块的数据交互过程如图 1 所示。

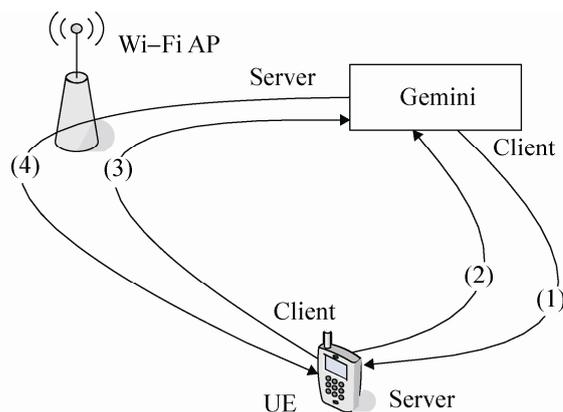


图 1 双通道通信结构图

移动终端模块在终端把数据传输给一个自定义的虚拟网络设备,这样便可以获取到移动终端所有上层应用的数据了。移动终端通过虚拟链接与基站处理模块建立两条套接字链接,通过修改移动终端本身的路由表来引导两条链接分别位于 3G/4G 通道和 Wi-Fi 通道。此时,移动终端的数据已经可以通过双通道传输至基站处理模块了,由于数据是分流传输的,所以在基站处理模块还需要对双通道的数据进行混流处理后才能转发至中央核心网络。

1.2 移动终端的数据包处理

虚拟链接只是修改了移动终端的数据传输方式,所以转发至中央核心网络的移动终端的数据内容和包头等信息与单通道并没有区别。因此,中央核心网络也能够对移动终端的数据作出相对响应。当终端请求的数据从中央核心网络返回时,通过相同的方法回传至移动终端。图 2 显示了移动终端模块的程序流程。

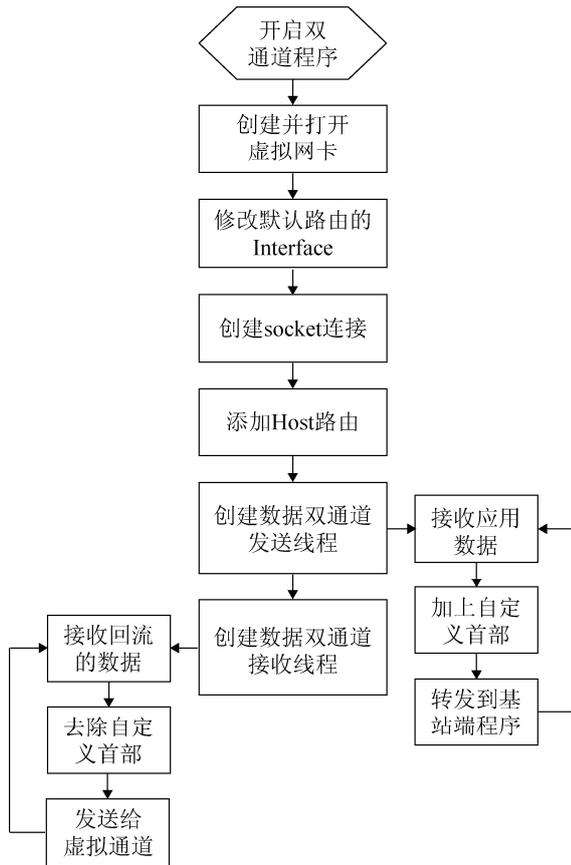


图 2 移动终端模块的程序执行流程

由于移动终端设备选用的是基于 Linux 的 Android 设备, 所以使用 C 语言作为核心开发语言, 然后通过 Android NDK 提供的 AGCC 工具交叉编译成可执行文件, 然后在设备上运行并通过本地套接子或者 PIPE 与上层 APP 交互。Linux 遵循一个特性就是把所有设备都会抽象成一个文件, 创建虚拟网络设备只需要使用 `open("/dev/tun", O_RDWR)` 函数, 具体的设备名字可以通过 `ioctl` 函数和 `TUNSETIFF` 这个宏来实现。

当虚拟通道打开之后, 数据不会自动通过虚拟网卡转发, 这时需要修改路由表默认路由的 Interface 信息, 让上层应用的数据传输给创建的虚拟通道。由于在系统对路由表提供的接口没有修改, 所以本文中通过删除和添加路由功能来实现修改。这两个操作是通过 `struct rtenry` 结构体来存储路由记录信息, 然后通过 `ioctl` 函数和 `SIOCDELRT` 和 `SIOCADDRT` 两个宏来实现的。

数据全部通过虚拟网卡转发到移动终端的程序中后, 通过修改路由表来引导两条链接分别位于 3G/4G 通道和 Wi-Fi 通道。这里的引导就是创建 Host 路由, 在创建 Host 路由之前需要和基站端程序建立两条连接, 在实现上采用 TCP socket 的方式来作为连接的通信方案。套接字部分的函数, 需要包含 `sys/socket.h` 这个头文件, 创建 socket 等函数和 Linux 上的方式相同。

1.3 同时启用多通道融合通信

对于以手机为代表的移动终端, 多通道同时启用主要包括 3G/4G 模块启动和 Wi-Fi 模块启动两大部分。两个通道的同时启用的过程如图 3 所示。

3G/4G 模块启动部分主要是在消息框架中注册模块信息, 这样当基站获取到新的 3G 连接或者有数据传输时都会通过消息框架通知本程序。使用 `msg_handle` 函数集中处理了基站的新连接接纳、终端断开、3G/4G 数据接收等。

当收到新的移动终端连接时, 程序会向数据结构中添加新的移动终端的信息, 然后会创建一条新的线程用于处理和该移动终端的信息交互, 在该线程中首先会向该移动终端发送 TCP 连接请求, 然后发送基站本身的 Wi-Fi 的 IP 地址和端口信息, 并等待数据回复。

移动终端有可能会收到 Type-4/11/21 三种类型的信息, 该线程会分别执行断开连接/调整分流比例/转发数据的操作。当收到移动终端断开连接时, 会依据移动终端的 ID 移除数据结构中的相应数据, 关闭并释放其占用的相应系统资源, 包括套接字、线程等。当收到移动终端的 3G/4G 数据时则执行转发至核心网的相关操作。当收到来自核心网的回流数据时, 首先需要区分是否为本技术的数据。如果是, 则加上自定义首部之后, 再回送给移动终端; 否则直接转发给移动终端。

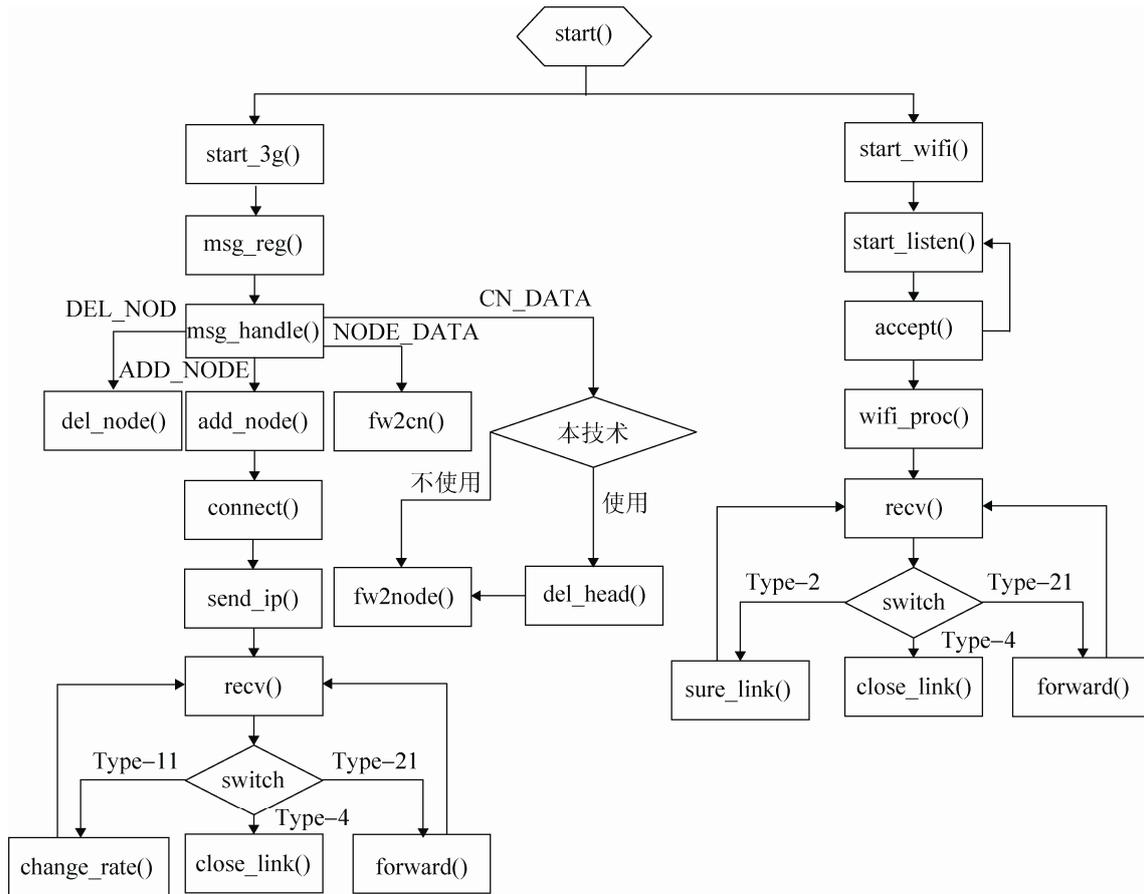


图 3 多通道融合通信的启用流程

Wi-Fi 模块启动部分主要是启动一个连接监听线程, 等待移动终端的连接。当移动终端连上之后, 会创建一条线程负责与移动终端进行数据交互, 在该线程中会对收到的数据进行分类处理, 有可能会收到 Type-2/4/21 三种类型的信息, 分别对应确认双通道信息/关闭连接/转发数据的操作。

2 多通道分流算法

在实际应用中, 网络通信质量会受到多方面因素的影响。在上层应用的数据包分流进入多通道时, 需要对通道当前的通信质量进行预测, 然后根据通道的通信质量确定数据包分流比例。

本文综合 3 个方面的因素来设计各个通道的分流比例, 包括: 通道的带宽比例、接入终端的数量以及信号强度的变化状况, 设计了一种分流算法。物理通道的带宽比例是指各个信道的最大传输速率(即带宽)的比例, 这个比例也是数据包双通道

分配的极限。接入终端数是指同一时刻接入 AP 的移动终端数量。信号强度的变化状况是指根据对该信道之前的信号强度变化值的统计预测下一刻的信号强度。由于数据传输速率受各方面因素影响不能带到理论的最大下行带宽, 信号强度或信噪比被作为重要的参数适用, 信号强度越大, 数据的通信带宽越接近理论带宽。

2.1 信道的分流比例运算

本文移动终端所使用的物理通道主要包括 Wi-Fi 和 3G/4G 两类。在本系统中, 移动终端 3G/4G 通道使用多路复用技术, 它的可用带宽是固定不变的, 例如: 使用 WCDMA 技术, 3G 通道的带宽始终为 $D_{3G}=3.6$ Mbps。移动终端 Wi-Fi 通道的最大可用带宽 D_{WF} 是可变的, 例如: 使用 IEEE 802.11n 技术, 移动终端与 AP 之间的可用带宽有 6.5 Mbps, 13 Mbps, 19.5 Mbps, 26 Mbps, 39 Mbps, 52 Mbps,

58.5 Mbps, 65 Mbps 等多种。

移动终端 Wi-Fi 通道的最大可用带宽的最小值与 3G/4G 通道的带宽的比值称为基本分流比 P_0 ，其计算公式为：

$$Pr_0 = \min(D_{WF})/D_{3G} \quad (1)$$

在本文中，3G/4G 通道使用 WCDMA 技术，Wi-Fi 通道使用 IEEE 802.11n，其基本分流比例为 1.8。

Wi-Fi 通道的可用带宽都是其最小值的倍数，各个可用带宽值的倍数组成一个倍数向量 M ，例如上述 Wi-Fi 通道可用带宽的倍数向量为：

$$M = (1, 2, 3, 4, 6, 8, 9, 10) \quad (2)$$

则上述 IEEE802.11n 标准中 H20 的 MCS0~MCS7 带宽与 3G 通道的带宽的比例 Pr_{0-7} 可用以下公式求得：

$$Pr'_{[0,1,2,3,4,5,6,7]} = M \times Pr_0 \quad (3)$$

Wi-Fi 使用 CSMA/CA 技术以竞争方式使用信道，当多个终端接入同一个 AP 时，多个终端会共享该 AP 的最大带宽，所以当有 N 个终端接入同一个 AP 时，单个终端获得的带宽分配为最大带宽比上 N 。因此，当有新的节点接入到基站中时，要重新统计基站中所连接的 Wi-Fi 终端的数量 N ，然后重新计算分流比例：

$$Pr'_{[0,1,2,3,4,5,6,7]} = Pr_{[0,1,2,3,4,5,6,7]}/N = M \times Pr_0/N \quad (4)$$

本系统中，新节点的接入降低了信道的可用带宽，各个节点使用平均分配 Wi-Fi 通道总带宽的方式进行流量分配。

在上述流量分配方法中，信道分流比例都是以基本比例为基础进行计算的，数据包转发也是以基本分流比例进行设计的。

2.2 转发比率修正

移动终端在 Wi-Fi 移动迅速时，信号的强度将会发生剧烈变化，从而影响未来一段数据流的分流比例。为了更好的预测数据流在接下来的分流比例，适应网络的动态变化，使用调整系数 T 对数据包转发进行调整，调整过程如下：

(1) 记录近期各个时间段的物理信号强度的

变化，这里使用一个数组 SNR 的方式对 10 s 内的信号强度进行记录，信号强度每秒更新 10 次，所以有：

$$SNR[t-1]=SNR[t], SNR[t]=SNR_{now} \quad (5)$$

其中： t 为整数且 $0 \leq t < 100$ ； SNR_{now} 为当前的信道的信噪比。

(2) 用信号强度变化数组 ΔSNR 记录各个时刻的信号变化情况，变化的大小就是前后两个信号强度之差：

$$\Delta SNR[t-1]=\Delta SNR[t] \quad (6)$$

$$\Delta SNR[t]=SNR[t]-SNR[t-1] \quad (7)$$

(3) 使用线性预测的方法预测下一个时刻信号的变化数值，该变化数值与以前的变化状况有关：

$$\Delta SNR[t+1]=2 \times \Delta SNR[t] - \Delta SNR[t-1] \quad (8)$$

(4) 根据预测的变化情况，对下一个时刻信号强度，即信噪比的数据值进行运算和预测：

$$SNR[t+1]=SNR[t] + \Delta SNR[t+1] \quad (9)$$

(5) 根据未来信号的强度，判断根据分流比例运算所得到 Wi-Fi 通道的数据包转发数量数量是否要进行调整，是减少数据包转发还是增加数据包转发。如果下一个时刻的信噪比 $SNR[t+1] > \text{thres}(i)$ (或者 $SNR[t+1] < \text{thres}(i-1)$)，即传输速率将要发生变化。要转发比例修正系数 T 的伪代码如下：

```

If SNR[t+1]>thres(i)
T={SNR[t+1]-thres(i)}/{thres(i+1)-thres(i)};
Else if SNR[t+1]< thres(i-1)
T={SNR[t+1]-thres(i-1)}/{thres(i-1)-thres(i-2)};
Else
T=0
End if

```

其中： $\text{thres}(i)$ 为信号强度变化引起带宽变化的阈值，当信号强度大于该阈值时，带宽会上升一个台阶，反之会下降一个台阶。

2.3 数据包转发策略

数据包在两个通道的转发方式是以基本分流比 $Pr_0=1.8$ 为基础进行设计的，其他分流比例都是

基本分流比例的倍数,按照基本分流比例的转发方式进行修正得到的。

当分流比例函数返回值为基本分流比 1.8 时,数据包转发策略为:

(1) 3G 通道的转发数据包数量组成的向量为: (1, 1, 1, 1, 1);

(2) Wi-Fi 通道的转发数据包数量组成的向量为: (2, 2, 2, 2, 1)。

上述转发方式中 3G 通道与 Wi-Fi 通道的转发数据包的比例依次为: 1:2, 1:2, 1:2, 1:2, 1:1, 1:2, 1:2, ...。这里的 1:2 为 3G 通道先转发一个数据包, Wi-Fi 通道再转发两个数据包。

当使用 IEEE 802.11n 各个标准 MCS1~MCS7 带宽时,它与 3G 通道的带宽的比例 Pr_{0-7} 都是基本比 Pr_0 的整数倍,则流比例函数返回值为基本分流比例的整数倍,即:

(1) 3G 通道的转发数据包数量组成的向量为: (1, 1, 1, 1, 1);

(2) Wi-Fi 通道的转发数据包数量组成的向量为: $M \times (2, 2, 2, 2, 1)$;

当节点数量增加时,各个节点要平分可用带宽,分流比例函数返回值也是基本分流比例的整数倍,即:

(1) 3G 通道的转发数据包数量组成的向量为: $N \times (1, 1, 1, 1, 1)$;

(2) Wi-Fi 通道的转发数据包数量组成的向量为: $M \times (2, 2, 2, 2, 1)$;

当转发比率修正系数 T 不为 0 时, Wi-Fi 的转发数据包数量开始时要进行修正,修正的方法如下:

(1) 3G 通道的转发数据包数量组成的向量为: $N \times (1, 1, 1, 1, 1)$;

(2) Wi-Fi 通道转发数据包数量组成的向量为: $M \times (2, 2, 2, 2, 1) + b \times C$ 。

上述转发方式的含义为: 3G 通道与 Wi-Fi 通道的转发数据包的比例依次为: $N:M \times (2+b \times C)$, $N:M \times (1+b \times C)$, $N:M \times 2$, $N:M \times 2$, ...; ...。

3 测试与分析

系统开发完成后,对于本文提出的多通道融合通信方法,设计了一组对比实验,用于验证本平台是否可以提升数据带宽。实验的参数和测试结果如表 1 所示。

表 1 对比试验数据结果

序号	实验内容	下行带宽(Mbps)		
		最大	平均	标准差
1	Wi-Fi 单通道数据传输	11.40	9.76	1.54
2	3G 单通道数据传输	9.82	6.91	2.39
3	多通道融合通信 分流比为 3G:Wi-Fi = 1:0	9.06	6.67	2.16
4	多通道融合通信 分流比为 3G:Wi-Fi = 0:1	10.65	9.04	1.43
5	多通道融合通信 分流比为 3G:Wi-Fi = 1:1	19.62	17.52	1.25

图 4 采用实验 1 和实验 4 的数据绘制了使用本技术前后 Wi-Fi 单通道通信能力的对比分析图 2.5, 并采用实验 1、实验 2 和实验 5 的数据绘制了单双通道带宽数据的对比折线图 5。实验 2 和实验 3 的数据对比与实验 1 和实验 4 的数据对比类似,这里没有单独列出。

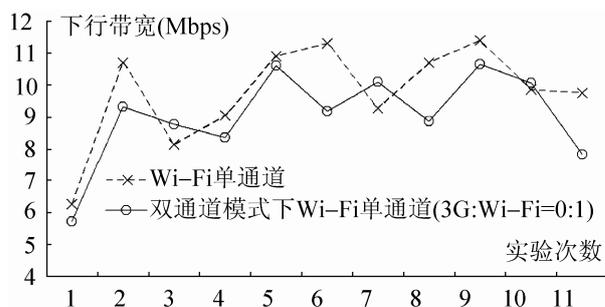


图 4 单通道通信能力对比(最大下行带宽)

通过图 4 可知使用本技术之后在单通道通信能力方面略低于没使用本技术,原因可能是由于本技术的使用导致对移动终端和基站产生了一定的额外系统资源消耗。经查实,移动终端和基站端 CPU 和内存使用情况在启动本技术之后都有一定幅度的上升。但是通过图 5 可知当双通道同时启用之后,测试得到的最大下行带宽高于任何一种单通

道的情况, 并且通信质量更加稳定, 证明本文提出的多通道融合通信技术是可行的。

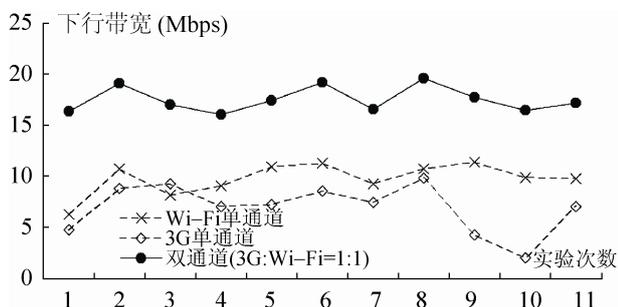


图 5 单双通道通信能力对比(最大下行带宽)

对于本文提出的多通道分流算法, 同样设计了一个对比实验, 用于验证本算法是否可以有效提升数据带宽, 更加拟合现实情况。

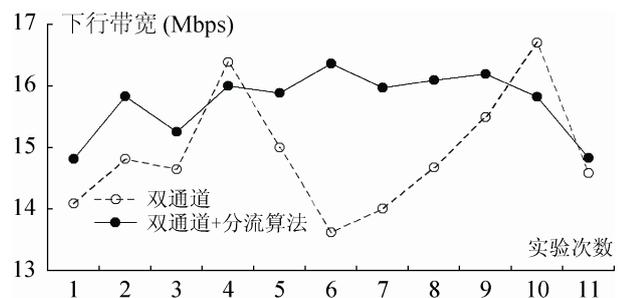


图 6 使用分流算法前后多通道通信质量对比

图 6 的数据对比验证了分流算法的有效性, 在接近真实情况的信号波动的情况下, 动态的调整分流比例有利于进一步稳定通信质量, 提升平均带宽。

4 结论

充分利用以手机为代表的移动终端的多个通道进行数据传输, 是进来融合通信技术的一个研究热点。本文参考对比了现有的几种融合通信技术, 提出了一种基于虚拟链接的多通道融合通信方法。通过对实验数据的分析处理结果, 对实际网络的进一步拟合, 设计了一种 3G/4G 和 Wi-Fi 通道分流的算法。实验结果表明, 该方法可以同时启用多个物

理通道, 大幅提高数据传输的带宽。

参考文献:

- [1] Rad A H M, Wong V W S. Joint channel allocation, interface assignment and mac design for multi-channel wireless mesh networks [C]// INFOCOM 2007. 26th IEEE International Conference on Computer Communications, IEEE. USA: IEEE, 2007: 1469-1477.
- [2] Kaveh Ghaboosi, Matti Latva-aho, Yang Xiao. A Distributed Multi-channel Cognitive MAC Protocol for IEEE 802.11s Wireless Mesh Networks [C]// CognitiveRadio Oriented Wireless Networks and Communications, 3rd International Conference on. USA: IEEE, 2008: 1-8.
- [3] Maiya M, Hamdaoui B. iMAC: improved Medium Access Control for multi - channel multi - hop wireless networks [J]. Wireless Communications and Mobile Computing (S1530-8677), 2013, 13(11): 1060-1071.
- [4] Sairam K, Gunasekaran N, Redd S R. Bluetooth in wireless communication [J]. Communications Magazine (S0163-6804), 2002, 40(6): 90-96.
- [5] Maheshwari R, Gupta H, Das S R. Multichannel MAC protocols for wireless networks [C]// Sensor and Ad Hoc Communications and Networks, 2006. SECON'06. 2006 3rd Annual IEEE Communications Society on. USA: IEEE, 2006 (2): 393-401.
- [6] Li Q, Li G, Lee W, et al. MIMO techniques in WiMAX and LTE: a feature overview [J]. Communications Magazine, IEEE (S0163-6804), 2010, 48(5): 86-92.
- [7] Mathew A, Chandrababu N, Elleithy K, et al. Interference of 802.11b WLAN and Bluetooth: Analysis and performance evaluation [J]. International Journal of Computer Networks & Communications (IJCNC) (S0975-2293), 2010, 2(3): 140-150.
- [8] Muharar R, Evans J. Downlink beamforming with transmit-side channel correlation: A large system analysis [C]// Communications (ICC), 2011 IEEE International Conference on. USA: IEEE, 2011: 1-5.
- [9] Kammoun A, Muller A, Bjornson E, et al. Linear precoding based on polynomial expansion: Large-scale multi-cell mimo systems [J]. Selected Topics in Signal Processing, IEEE Journal of (S1932-4553), 2014, 8(5): 861-875.