

# 移动多跳中继网络中的混合式认证延时性能分析

鲁蔚锋<sup>1,3,4</sup> 於科远<sup>1,3,4</sup> 陈思光<sup>2,3,4</sup>

(南京邮电大学计算机学院 南京 210003)<sup>1</sup> (南京邮电大学物联网学院 南京 210003)<sup>2</sup>

(江苏省无线传感网高技术研究重点实验室 南京 210003)<sup>3</sup>

(宽带无线通信与传感网技术教育部重点实验室 南京 210003)<sup>4</sup>

**摘要** 首先分析了在移动多跳中继(Mobile Multihop Relay, MMR)WiMAX网络中,新的移动中继(Relay Station, RS)节点在进入网络之前存在的两种认证方案:集中式和分布式接入认证方案。接着在这两种接入认证方式的基础上,提出了一种新的混合式认证方案。然后使用排队论对集中式和混合式认证方案在不同中继节点分布下的认证延时性能进行了分析。最后数值分析结果表明,混合式认证方案相较于集中式认证方案在认证延时性能方面具有更大的优势。

**关键词** 全球微波互联接入,移动多跳中继网络,混合式认证,延时

**中图分类号** TP393.08 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2015.2.010

## Performance Analysis of Time-delay of Hybrid Authentication in Mobile Multihop Relay Networks

LU Wei-feng<sup>1,3,4</sup> YU Ke-yuan<sup>1,3,4</sup> CHEN Si-guang<sup>2,3,4</sup>

(College of Computer, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)<sup>1</sup>

(College of IOT, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)<sup>2</sup>

(Jiangsu High Technology Research Key Laboratory for Wireless Sensor Networks, Nanjing 210003, China)<sup>3</sup>

(Key Lab of Broadband Wireless Communication and Sensor Network Technology,

Ministry of Education Jiangsu Province, Nanjing 210003, China)<sup>4</sup>

**Abstract** This paper firstly analyzed the existing two authentication schemes, the centralized authentication scheme and the distributed authentication scheme before a new relay node accessing into the MMR WiMAX Network. Secondly a new hybrid authentication scheme was proposed based on the two existing authentication schemes. Then we used the queuing theory to analyze time-delay of the centralized and hybrid authentication scheme under different relay nodes distribution. Finally the results of numerical analysis show that the hybrid authentication scheme has great advantage in the performance of authentication time-delay compared with the centralized authentication scheme.

**Keywords** Worldwide interoperability for microwave access, Mobile multi-hop relays network, Hybrid authentication scheme, Time-delay

## 1 引言

WiMAX即全球微波互联接入,也叫802.16无线城域网。该技术以IEEE802.16的系列宽带无线标准为基础,是一项新兴的宽带无线接入技术。WiMAX能提供面向互联网的高速连接,数据传输距离最远可达50km,还具有服务质量(Quality of Service, QoS)保障、传输速率高、业务丰富多样等优点<sup>[1]</sup>。尽管WiMAX使用了先进的信号处理技术,如OFDM和MIMO等,但还是较难保证在一个WiMAX蜂窝小区边缘的接收数据的可靠性。WiMAX与其他无线接入技术竞争就必须保证较高的数据率和可靠性,然而提高覆盖率和数据率之间存在着矛盾。一种解决方法是通过增加基站(Base Station, BS)来缩小每个小区覆盖范围,但是这需要耗

费过多的基站以及每个基站所需要的资源。因此一种较好的策略是采用中继协作通信技术,即在每个小区中增加多个移动中继站(Relay Station, RS)来协助基站和用户端之间的通信<sup>[2]</sup>。这种网络就被称为MMR网络。MMR网络可以为IEEE802.16e网络扩展覆盖范围,并为提高吞吐量提供较好的解决方案。因此IEEE802.16工作组制定了IEEE802.16j标准。

WiMAX作为一种无线城域网,由于传输信道的开放性和城域网的传输距离远,应用环境复杂,信息容易被截窃和破坏,因此其安全接入问题备受关注<sup>[3]</sup>。尽管相比于IEEE802.16e, IEEE802.16j提供了更好的加密方法、密钥管理协议和认证策略,但是由于在MMR WiMAX网络中信息传播要通过一个或者多个RSs,因此暴露出更多的安全问题,

到稿日期:2014-03-05 返修日期:2014-06-04 本文受国家自然科学基金(61201160),江苏省自然科学基金(BK20131377),江苏省高校优秀中青年教师和校长境外研修计划资助。

鲁蔚锋(1979-),男,博士,副教授,主要研究方向为无线通信与信息安全, E-mail: luwf@njupt.edu.cn; 於科远(1987-),男,硕士,主要研究方向为无线通信与信息安全; 陈思光(1984-),男,博士,副教授,主要研究方向为无线网络通信安全。

这始终限制着 MMR WiMAX 网络的发展<sup>[4]</sup>。目前已经有一些文献针对新 RS 的接入认证方案进行改进。文献[5]描述了在分布式模式和集中式模式对应的两套安全机制。因而分别存在两种接入认证方案,即分布式和集中式接入认证方案,在文献[6]中对这两种接入认证方案进行了详细介绍。在 MMR WiMAX 网络中,当新 RS 想要加入网络时,必须先通过集中式认证,这样才能确保进入该网络的节点和该网络是安全可信的。但是如果每个进入 MMR 网络的 RS 都与 BS 进行集中式认证,认证服务器(Authentication Server, AS)承受的负载和认证延时过大,可能会造成网络拥塞<sup>[7]</sup>。另一方面 MMR WiMAX 网络需要具备 RS 之间相互认证的能力。而 RS 之间的相互认证是采用分布式认证,因此当网络单独使用分布式认证时,一个恶意节点可以轻易通过与网络中相邻 RS 的认证而加入到该 MMR WiMAX 网络,从而威胁到整个 MMR WiMAX 网络的安全<sup>[8]</sup>。鉴于上述问题,MMR 网络应该提供对 RS 的集中式认证和多个相邻 RS 间的分布式认证。因此本文在对集中式认证和分布式认证研究的基础上提出了一个混合式认证方案,并分析其在 IEEE802.16j 移动多跳网络中不同节点分布下的认证延时性能。

本文第 2 节首先介绍了 IEEE802.16j 的两种接入认证方案:集中式认证与分布式认证;第 3 节提出了一种结合集中式和分布式的混合式认证方案;第 4 节利用排队理论对认证延时性能进行了数值计算,分别获得了集中式和混合式认证方案在 3 种移动中继分布情况下的延时表达式;第 5 节通过仿真分析比较了两种认证方案的延时性能;最后对本文的研究内容做了总结。

## 2 IEEE802.16j 的两种认证方案

图 1 显示了一个新的 RS 加入到 MMR 网络时的集中式认证过程:

- (1)步骤 1:RS 通过最近的一个 BS,发出认证请求信息,对 AS 执行相互的集中式认证;
- (2)步骤 2:在 AS 和 RS 相互认证完成之后,AS 可以信任 RS,然后发送产生的成对主密钥(Pairwise Master Key, PMK)给 RS 和接入服务网(Access Service Network, ASN)网关;
- (3)步骤 3:ASN 网关和 RS 用 PMK 产生鉴权密钥(Authentication Key, AK);
- (4)步骤 4:通过 AK,BS 和 RS 可以相互认证和共享流加密密钥(Traffic Encrypting Key, TEK)。

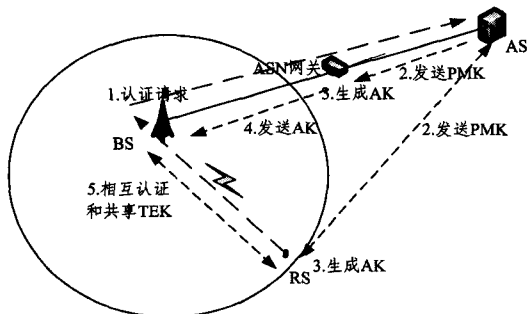


图 1 集中式认证过程

图 2 显示了 WiMAX MMR 网络中移动 RSs 之间的分布式认证过程:

在  $RS_1$  和  $RS_2$  分别通过  $RS_3$  的认证之后,  $RS_3$  分别得到

了  $AK_1$ (来自和  $RS_1$  的认证)和  $AK_2$ (来自和  $RS_2$  的认证)。当  $RS_1$  和  $RS_2$  之间需要进行分布式认证时,在  $RS_1$  和  $RS_2$  之间需要产生一个新的 AK。

- (1)步骤 1: $RS_2$  向  $RS_1$  发送请求认证信息;
- (2)步骤 2: $RS_1$  广播  $AK_2$  请求信息;
- (3)步骤 3: $RS_3$  是离  $RS_1$  最近的拥有  $AK_2$  的节点,  $RS_3$  使用  $RS_3$  和  $RS_1$  之间共享的 TEK 加密  $AK_2$  发送给  $RS_2$ ;
- (4)步骤 4: $RS_1$  和  $RS_2$  用  $AK_2$  执行分布式认证。在完成认证以后两个 RS 之间产生了一个新的  $AK_{2,1}$ ,  $RS_1$  和  $RS_2$  共享由  $AK_{2,1}$  产生的 TEK。

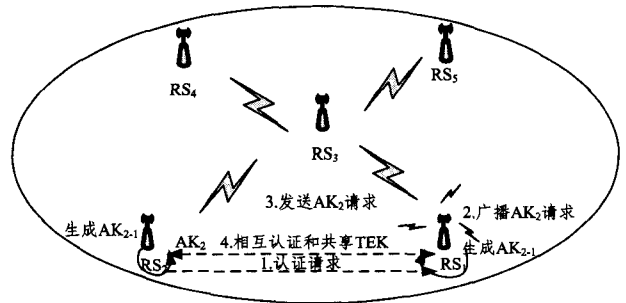


图 2 分布式认证过程

## 3 混合式认证方案

从上述两种认证方案的过程中可以看出,对于集中式认证方案,每个 RS 总是要连接到 AS,因此 AS 可能会因处理所有节点间的认证而超负荷,从而导致网络拥塞。这对每个节点都在持续移动并想要去认证邻居节点的 MMR 网络来说不是很有利。而且当一个 RS 在切换时,需要通过 AS 才能得到认证,这也会产生认证延时,从而影响切换时的服务质量<sup>[10]</sup>。而对于分布式认证方案,如果 RS 之间的分布式认证过程中缺少可信任节点 AS,那么 MMR 网络可能无法可靠地识别新加入的节点是否是伪装的恶意节点,从而受到潜在恶意节点的攻击。因此单独的分布式认证方案存在着一定的安全隐患<sup>[11]</sup>。

为了解决上述两种认证方案各自的缺点,本文提出一种结合分布式和集中式认证方案的混合式认证方案。在一个 RS 初始加入 MMR 网络时,和 AS 相互认证时会选择集中式认证。当这个节点从 AS 获得了用来和相邻 RSs 之间相互认证的 AK 之后,开始进行分布式认证。所提出的混合式认证方案不仅大大缩短了认证延时,而且可以提供和集中式认证方案相同的安全性。这个混合式认证方案主要包括两个方面:(1)在 RS 和 AS 之间与 RS 相互之间的初始化认证过程;(2)移动 RS 切换时的快速认证过程。下面将详细介绍所提出的混合式认证方案的两种过程。

### 3.1 初始化认证过程

图 3 显示了新的移动 RS 初始化加入到 MMR 网络中的认证过程。其中步骤 1 到步骤 4 显示了一个 RS 通过另一个 RS 加入到 MMR 网络时的认证过程,步骤 5 到步骤 8 显示了 RS 和与其相邻的 RS 之间进行分布式认证的过程。

- (1)步骤 1: $RS_3$  发送认证请求给  $RS_2$ ,  $RS_2$  只是将  $RS_3$  的信息传递给 AS;
- (2)步骤 2:AS 对  $RS_3$  进行认证,发送新的 PMK 给  $RS_2$  和  $RS_3$ ;
- (3)步骤 3: $RS_2$  和  $RS_3$  可以通过 PMK 产生  $AK_3$ ;

- (4)步骤 4:RS<sub>2</sub> 和 RS<sub>3</sub> 将会共享由 AK<sub>3</sub> 产生的 TEK;
- (5)步骤 5:RS<sub>3</sub> 发送认证请求信息给邻近的 RS<sub>1</sub>;
- (6)步骤 6:RS<sub>1</sub> 广播 AK<sub>3</sub> 请求;
- (7)步骤 7:离 RS<sub>1</sub> 最近的 RS<sub>2</sub> 把 AK<sub>3</sub> 发送给 RS<sub>1</sub>;
- (8)步骤 8:RS<sub>1</sub> 用 AK<sub>3</sub> 和 RS<sub>3</sub> 进行相互认证,在完成认证以后两个 RS 之间产生了一个新的 AK<sub>3-1</sub>,RS<sub>1</sub> 和 RS<sub>3</sub> 共享由 AK<sub>3-1</sub> 产生的 TEK。

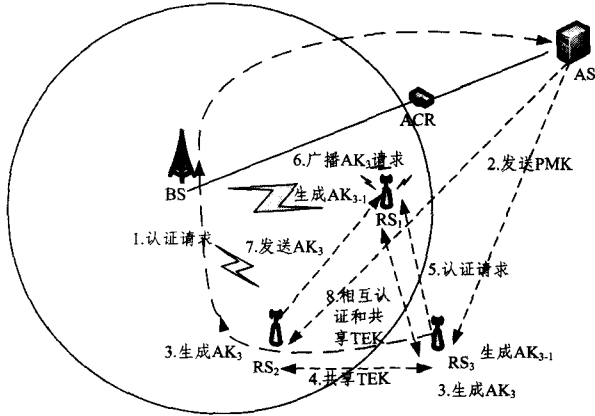


图3 新的RS初始化时的认证过程

### 3.2 切换认证过程

图4显示了在MMR网络中RS切换到靠近RS<sub>4</sub>位置时的认证过程<sup>[12]</sup>:

- (1)步骤 1:RS<sub>3</sub> 对 RS<sub>4</sub> 发送认证请求;
- (2)步骤 2:RS<sub>1</sub> 广播 RS<sub>3</sub> 可以通过 PMK 产生 AK<sub>3</sub>;
- (3)步骤 3:离 RS<sub>4</sub> 最近的 RS<sub>2</sub> 发送 AK<sub>3</sub> 给 RS<sub>4</sub>;
- (4)步骤 4:RS<sub>2</sub> 和 RS<sub>3</sub> 通过 AK<sub>3</sub> 完成相互认证,并产生了一个新的 AK<sub>3-4</sub>,RS<sub>2</sub> 和 RS<sub>3</sub> 共享由 AK<sub>3-4</sub> 产生的 TEK。如果 RS<sub>3</sub> 移动经过的 RS<sub>s</sub> 中没有 RS<sub>4</sub> 的邻居节点,则 RS<sub>3</sub> 执行集中式认证。

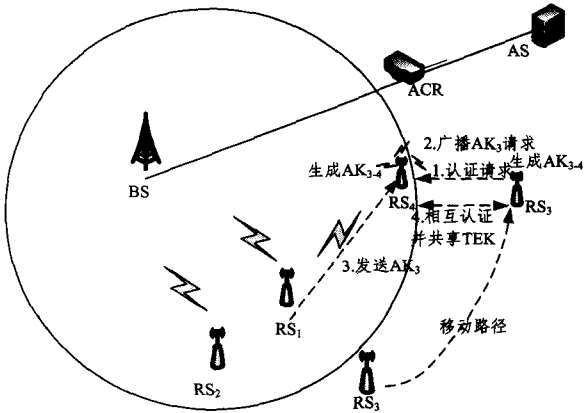


图4 移动RS切换时的认证过程

## 4 认证延时计算

本节将使用排队论方法对集中式和混合式两种认证方案的延时进行计算。假设  $\lambda_1$  为新加入到 MMR 网络的 RS 的泊松到达率,并且在网络中已经有  $m$  个 RS,其中  $m$  服从某种概率分布。此时在集中式认证方案中需要进行  $m$  次集中式认证,而混合式认证方案只需要进行 1 次集中式认证和  $m-1$  次分布式认证。其中 1 次集中式认证的延时组成包括:认证信息从 RS 到 AS 所花平均时延  $t_b$  和在 AS 中的平均队列处理时间  $t_a$ 。假设  $t_a$  服从指数分布,并且在分布式认证中和一

个相邻 RS 的分布式认证延时为  $t_d$ 。假设  $\lambda_2$  为已在 MMR 网络中的 RS 切换时的泊松到达率,此时 RS 需要和新的邻居节点相互认证。所以此时集中式认证方案需要进行  $m$  次集中式认证,而混合式认证方案需要进行  $m$  次分布式认证。在集中式认证方案中,假设  $m$  次集中式认证的认证请求信息几乎同时到达 AS,因而到达服务器的认证队列模型可以用批量到达的泊松分布和服务率服从指数分布的单服务窗口来模拟。根据文献[13]中平均系统逗留时间  $U$  的计算公式,我们可以推导出当  $m$  服从不同概率分布时的  $U$ 。本文主要分析  $m$  服从 3 种概率分布情况下的认证延时性能。

1. 当  $m$  服从均匀分布  $[1, N]$ ,且  $N$  为  $m$  的最大取值时,根据文献[13]可以获得:

$$U = \frac{\rho t_a (\overline{k^2} + \bar{k})}{2(1-\rho)\bar{k}} + t_a \cdot k, \rho = \lambda t_a \bar{k} \quad (1)$$

式中,变量  $k$  代表每个到达服务器的队列的消息数量,变量  $\rho$  为系统服务强度。

在集中式认证方案中,假设  $A_1$  为新加入 RS 节点的平均认证总延时, $A_2$  为一个已经存在于 MMR 网络中的 RS 切换过程中的平均认证总延时。对于集中式认证方案,变量  $k$  和  $m$  具有相同的分布,并且  $A_1$  和  $A_2$  是相等的,所以根据式(1)可以得到:

$$A_1 = A_2 = t_b + \frac{\rho t_a (\overline{m^2} + \bar{m})}{2(1-\rho)\bar{m}} + t_a \cdot \bar{m} \quad (2)$$

式中,  $\rho = (\lambda_1 + \lambda_2) t_a \cdot \bar{m}$ ,  $\bar{m} = \frac{N+1}{2}$ ,  $\overline{m^2} = \frac{(N+1)(2N+1)}{6}$ 。

在混合式认证方案中,假设  $B_1$  为新加入 RS 节点的平均认证总延时, $B_2$  为一个已经存在于 MMR 网络中的 RS 切换时的平均认证总延时。对于混合式认证方案,一个新加入 RS 只需要一次集中式认证,因此消息数量等于 1。因此如果要计算混合式认证方案中的  $U$ ,只需要将  $\overline{k^2} = \bar{k} = 1$  带入式(1)中即可得到:

$$U = \frac{\rho t_a}{(1-\rho)} + t_a, \rho = \lambda_1 t_a \quad (3)$$

在混合式认证方案中,经过 1 次集中式认证之后,还需要  $m-1$  次分布式认证,因此可以得到:

$$B_1 = t_b + \frac{\rho t_a}{(1-\rho)} + t_a + \frac{N-1}{2} t_d \quad (4)$$

对于  $B_2$ ,只需要计算  $m$  次分布式认证延时即可,所以可以得到:

$$B_2 = \bar{m} \cdot t_d = \frac{N+1}{2} t_d \quad (5)$$

2. 当  $m$  服从正态分布  $N(\mu, \sigma^2)$ ,且它的概率密度为

$f(x) = (1/\sigma \sqrt{2\pi}) e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$ ,  $-\infty < x < +\infty$ 。我们假定  $P\{\mu - 3\sigma < x < \mu + 3\sigma\} = 99.74\%$ 。取  $\mu = 8, \sigma = 2.5$ ,即  $\mu - 3\sigma = 0.5, \mu + 3\sigma = 15.5$ 。

在集中式认证方案中,假设  $C_1$  为新加入 RS 节点的平均认证总延时, $C_2$  为一个已经存在于 MMR 网络中的 RS 切换时的平均认证总延时。而在混合式认证方案中,假设  $D_1$  为新加入 RS 节点的平均认证总延时, $D_2$  为一个已经存在于 MMR 网络中的 RS 切换过程中的平均认证总延时。根据式(1),我们可以分别获得  $C_1, C_2, D_1, D_2$  的表达式:

$$C_1 = C_2 = t_b + \frac{\rho t_a (\overline{m^2} + \bar{m})}{2(1-\rho)\bar{m}} + t_a \cdot \bar{m} \quad (6)$$

$$D_1 = t_b + \frac{\rho_d t_a}{(1-\rho_d)} + t_a + (\mu-1)t_d \quad (7)$$

$$D_2 = \bar{m} \cdot t_d = \mu t_d \quad (8)$$

3. 当  $m$  服从固定分布, 且  $m=8$  时, 可以获得  $\bar{m}=8, \overline{m^2}=64$ 。

在集中式认证方案中, 假设  $E_1$  为新加入 RS 节点的平均认证总延时,  $E_2$  为一个已经存在于 MMR 网络中的 RS 切换时的平均认证总延时。而在混合式认证方案中, 假设  $F_1$  为新加入 RS 节点的平均认证总延时,  $F_2$  为一个已经存在于 MMR 网络中的 RS 切换过程中的平均认证总延时。根据式 (1), 我们可以分别获得  $E_1, E_2, F_1, F_2$  的表达式:

$$E_1 = E_2 = t_b + \frac{9\rho_d t_a}{2(1-\rho_d)} + 8t_d \quad (9)$$

$$F_1 = t_b + \frac{\rho_d t_a}{1-\rho_d} + t_a + 7t_d \quad (10)$$

$$F_2 = m \cdot t_d = 8t_d \quad (11)$$

## 5 仿真及性能比较

表 1 为计算延时所需参数, 且令  $\lambda_2 = 2\lambda_1$ 。将具体数值代入式 (1)~式 (11) 中, 我们可以分别获得  $m$  在服从均匀分布、正态分布、固定分布 3 种情况下的认证延时数值。

表 1 计算参数

认证信息从 RS 到 AS 所花平均延时	$t_b$	5 ms
认证信息在 AS 中平均队列处理时间	$t_a$	1 ms
分布式认证时 1 次认证的延时	$t_d$	1 ms
MMR 网络中 $m$ 的最大个数	$N$	15

图 5 说明了在  $m$  服从均匀分布的情况下, 混合式认证和集中式认证延时曲线随着服务强度  $\rho_c$  逐渐增加时的变化情况。从图中我们可以看出当  $\rho_c < 0.7$  时, 集中式认证的延时  $A_1, A_2$  随着  $\rho_c$  增大而小幅增加; 而当  $0.7 < \rho_c < 1$  时, 集中式认证的延时将快速增大。而混合式认证的延时  $B_1, B_2$  基本不变。

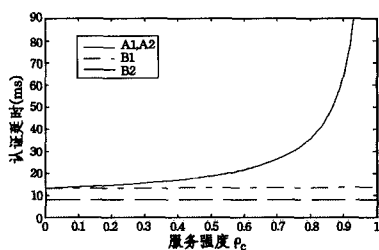


图 5  $m$  服从均匀分布下的认证延时性能

图 6 说明了在  $m$  服从正态分布的情况下, 混合式认证和集中式认证延时曲线随着服务强度  $\rho_c$  逐渐增加时的变化情况。从图中可以看出, 当  $\rho_c < 0.6$  时, 集中式认证的延时  $C_1, C_2$  基本维持不变; 当  $0.6 < \rho_c < 0.9$  时, 集中式认证的延时小幅增加; 而当  $0.9 < \rho_c < 1$  时, 集中式认证的延时将快速增大。而混合式认证的延时  $D_1, D_2$  基本保持不变。

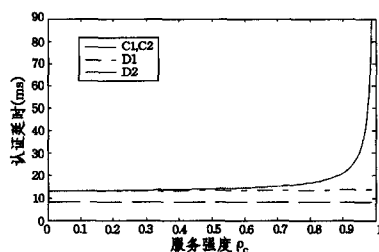


图 6  $m$  服从正态分布下的认证延时性能

图 7 说明了在  $m$  服从固定分布的情况下, 混合式认证和集中式认证延时曲线随着服务强度  $\rho_c$  逐渐增加时的变化情况。从图中可以看出, 当  $\rho_c < 0.8$  时, 集中式认证的延时  $E_1, E_2$  随着  $\rho_c$  增大而小幅增加, 而当  $0.8 < \rho_c < 1$  时, 集中式认证的延时将快速增大。而混合式认证的延时  $F_1, F_2$  基本保持不变。

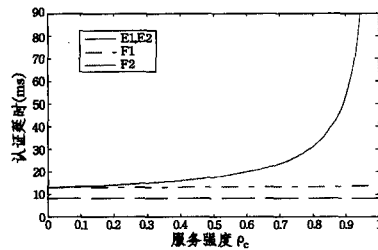


图 7  $m$  服从固定分布下的认证延时性能

从上述结果分析中可以看出, 随着系统服务强度  $\rho_c$  增大, 混合式认证方案的认证延时基本保持不变。同时切换认证延时比初始加入时的认证延时稍小。而在集中式认证方案中, 当  $\rho_c$  较小时, 它的延时性能与混合式认证方案中 RS 初始加入时的延时较为接近, 但是随着  $\rho_c$  的逐渐增加, 集中式认证方案的延时将会快速增加。因此在 AS 具有相同容量的情况下, 采用混合式认证方案的 MMR WiMAX 网络相比较集中式认证方案而言, 可以容纳更多数量的 RS。

**结束语** 本文在 MMR WiMAX 网络中提出一种混合式认证方案, 在 3 种不同分布下对集中式和混合式认证方案的认证延时进行了分析和比较。数值分析结果表明: 随着系统服务强度  $\rho_c$  的增大, 混合式认证方案的认证延时基本不变, 而集中式认证方案的认证延时将随着  $\rho_c$  的增大而快速增加。因此混合式认证方案相比集中式认证方案具有更好的认证延时性能, 同时与分布式认证方案相比具有更高的安全性能。

## 参考文献

- [1] Daan P, Bart L, Ingrid M, et al. The History of WiMAX: A Complete Survey of the Evolution in Certification and Standardization for IEEE 802.16 and WiMAX[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2012, 14(4): 1183-1211
- [2] Steven W S, Robert W H. The Future of WiMAX: Multihop Relaying with IEEE 802.16j[J]. IEEE Standards in Communication and networking, 2009, 47(1): 104-111
- [3] 吴乾. WiMAX 无线网络安全接入技术分析[J]. 技术研发, 2013(20): 61-70
- [4] Perumalraja R, Lung C-H, Anand S. Design of Distributed Security Architecture for Multihop WiMAX Networks[C]// 2010 Eighth Annual International Conference on Privacy Security and Trust. Ottawa, Canada, 2010: 54-61
- [5] LAN/MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society, IEEE Microwave Theory and Techniques Society. IEEE Standard for Local and metropolitan area networks Part 16: Air Interface for Broadband Wireless Access Systems Amendment 1: Multihop Relay Specification[S]. New York, the Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2009
- [6] Dai Xin-min, Xie Xiao-yao. Analysis and Research of Security Mechanism in IEEE 802.16j [C]// 2010 International Conference on Anti-Counterfeiting Security and Identification in Communication. Chengdu, China, 2010: 33-36

(下转第 54 页)

**结束语** 本文针对无人机网络的特殊性和实际运用中多种可能出现的情况,提出了一种高动态自组织的体系架构和网络管理方案。与以往的研究相比,本文的主要工作在于以下几个方面:

(1)宏观上从组网通信模式、时间帧设计、MAC调度和路由选路4个方面对无人机自组织网络的体系架构进行了系统的设计。

(2)提供了两种组网模式并且实现了两种模式的自主切换,突破了以往无人机系统组网模式设计单一的局限性。

(3)基于系统的两种组网模式,在设计系统架构的基础上,提出了网络的具体管理方式,实现了无人机网络的自主管理。

综上所述,本文通过对无人机自组织网络的多方面研究,提出了新的体系架构和管理方式,并进行了详细的设计,为无人机技术向集群化、智能化和网络化方向发展提供了一定的参考。

### 参 考 文 献

- [1] 徐琳. 无人机控制数据链跳频时频同步关键技术研[D]. 成都: 电子科技大学, 2012
- [2] Wesler M M, Lucas J R, Gallimore J J, et al. Managing uninhabited aerial vehicle (UAV) information employing a reduced area/depth separated display[C]//Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting. SAGE Publications, 1999, 43(1): 91-95
- [3] Johnson L F, Herwitz S, Dunagan S, et al. Collection of ultra high spatial and spectral resolution image data over California vineyards with a small UAV[C]//Proceedings of the 30th International Symposium on Remote Sensing of Environment. 2003, 20: 845-849
- [4] Sugihara R, Gupta R K. Optimal speed control of mobile node for data collection in sensor networks[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, January 2010, 9(1): 127-139
- [5] Zhao W, Ammar M, Zegura E. A message ferrying approach for data delivery in sparse mobile ad hoc networks[C]//Proceedings of the 5th ACM international symposium on Mobile ad hoc networking and computing. ACM, 2004; 187-198
- [6] 葛扬帆. 应用于无人机集群的路由协议研究[D]. 南昌: 南昌航空大学, 2012
- [7] 吴平, 唐文照. 无人机集群数据链组网技术研究[J]. 空间电子技术, 2012, 3: 16
- [8] Lei H, Perkins C. Ad hoc networking with mobile IP[C]//Mthe Second European Personal Mobile Communications Conference (EPMCC, 97). Bonn, Germany, 1997; 197-202
- [9] 张程, 朱庆生, 陈自郁, 等. 基于移动自组网的服务发现体系结构设计[J]. 计算机科学, 2010, 37(12): 70-75
- [10] Chlamtac L, Conti M, Liu J J N. Mobile Ad Hoc networking, imperatives and challenge[J]. Ad hoc Networks, 2003, 1(1): 13-64
- [11] 张可, 张伟, 李炜, 等. 快速移动环境中上下文感知优化链路状态路由协议[J]. 计算机科学, 2011, 38(6): 110-113
- [12] 林林. 基于协同机制的多无人机任务规划研究[D]. 北京: 北京邮电大学, 2013
- [13] 张可, 张伟, 李炜, 等. 无人机自组织网络先应式路由协议适应性研究[J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(2): 4-18
- [14] Zhang K, Zhang W, Zeng J Z. Preliminary study of routing and date integrity in mobile Ad hoc UAV network[C]//International Conference on Apperceiving Computing and Intelligence Analysis, 2008(ICACIA 2008). IEEE, 2008; 347-350
- [15] Brown T X, Argrow B, Dixon C, et al. Ad hoc UAV-ground network (AUGNet) test bed[C]//Proceedings of the 4th Scandinavian workshop on wireless ad-hoc networks Stockholm. Sweden, 2004
- [16] Raissi-Dehkordi M, Chandrashekar K, Baras J S. UAV placement for enhanced connectivity in wireless ad-hoc networks [OL]. [http://drum.lib.umd.edu/bitstream/1903/6445/1/TR\\_2004-34.pdf](http://drum.lib.umd.edu/bitstream/1903/6445/1/TR_2004-34.pdf)
- [17] 张程, 朱庆生, 陈自郁, 等. 基于移动自组网的服务发现体系结构设计[J]. 计算机科学, 2010, 37(12): 70-75
- [18] 姚敏, 王绪芝, 赵敏. 无人机群协同作战任务分配方法研究[J]. 电子科技大学学报, 2013, 42(5): 723-727
- [7] Yang Fan, Qian Ya-li. Two Different Schemes of Authentication in IEEE802. 16j Multi-hop Relay Network[C]//2012 8th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing. Shanghai, China, 2012; 1-4
- [8] Huang Jie, Huang Chin-Tser. Secure Mutual Authentication Protocols for Mobile Multi-hop Relay Wimax Networks against Rogue Base/Relay Stations[C]//2011 IEEE International Conference on Communications. Kyoto, Japan, 2011; 1-5
- [9] 郎为民, 刘波. WiMAX 技术原理与应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2008
- [10] Anju B, Ramesh P, Chaurasia B K. Traffic Analysis for WiMAX [C]// 2013 5th International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks. Mathura, India, 2013: 138-140
- [11] Stuart J. WiMAX Subscriber and Mobile Station Authentication Challenges [J]. IEEE communications Magazine, 2011, 49(11): 166-172
- [12] Sun Hung-min, Chang Shih-Ying, Lin Yue-Hsun, et al. Efficient Authentication Schemes for Handover in Mobile WiMax [C]// Eighth International Conference on Intelligent Systems Design and Applications. Kaohsiung, Taiwan, 2008, 3: 235-240
- [13] Kleinrock L. Queueing Systems volume 1 [M]. New York: A Wiley-Interscience Publication, 1975: 126-137

(上接第 49 页)