

# 支持云计算的无线网络安全垂直切换算法

马彬<sup>1,2</sup>, 谢显中<sup>1</sup>

(1.重庆邮电大学 宽带接入网络研究所, 重庆 400065; 2.重庆大学 计算机学院, 重庆 400044)

**摘要:**提出了一种基于信任度的安全垂直切换算法(T-SVHO)。其基本思想是:借助异构无线网络中自身历史采样信息计算网间信任度,并以此为依据评价异构无线网络行为可信程度。在行为可信度高的异构无线网络间建立动态信任关系并传递信任信息,在确保切换性能的同时实现了对网间不可信行为的防范。仿真实验结果表明,智能移动终端在异构无线网络间安全接入率和系统吞吐率方面都优于现有典型垂直切换算法。

**关键词:**无线网络;垂直切换;云模型;云计算

**中图分类号:** TN 929.5

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-436X (2011)9A-0016-08

## Security vertical handoff algorithm to support cloud computing in wireless mobile networks

M A B in<sup>1,2</sup>, X IE X ian-zhong<sup>1</sup>

(1.School of Computer Sci. and Tech., Chongqing University of Posts and Telecom., Chongqing 400065, China;

2. Institute of Broadband Access Network, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**Abstract:** An efficiency security vertical handoff algorithm based on trust was developed, called T-SVHO. Its basic idea is that: trust is computed based on historical sampling information between heterogeneous wireless mobile networks, and evaluate the extent of behavior's trust in heterogeneous wireless mobile networks using trust. The relational of dynamic trust between heterogeneous wireless networks was established, which the extent of behavior's trust is high, and spread trust informations. The algorithm not only optimizes the performance of the vertical handoff, but also keeps away the untrustworthy behaviors between wireless networks. The simulation results show that it performs much better than the existing representative vertical handoff algorithms in security access ratio and system throughput ratio.

**Key words:** wireless mobile networks; vertical handoff algorithm; cloud model; cloud computing

### 1 引言

随着无线通信技术、计算机技术、集成电路技术的飞速发展以及人类对信息通信的需求和普适

计算需求,用户对移动性的要求越来越高。为了适应不同的应用需求,各具特色的无线接入技术层出不穷,包括无线个域网(WPAN, wireless personal area network, 如 802.15)、无线局域网(WLAN,

**收稿日期:** 2011-02-28

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(60872037);重庆市教委科学研究计划基金资助项目(KJ110530);重庆市自然科学基金资助项目(CSTC2010BB2415);重庆市/信息产业部“计算机网络与通信技术重点实验室”开放基金资助项目(CY-CNCL-2010-02)

**Foundation Items:** The National Natural Science Foundation of China (60872037); The Science & Technology Research Program of the Municipal Education Commission of Chongqing of China (KJ110530); The Natural Science Foundation of Chongqing (CSTC 2010BB2415); The Foundation of Chongqing Key Laboratory of Computer Network and Communication Technology of China (CY-CNCL-2010-02)

wireless local area network, 如 802.11 a/b/e/g/n 等)、无线城域网(WMAN, wireless metropolitan area network, 如 802.16d/e/f/g/i 等)、无线广域网(WWAN, Wireless Wide Area Network, 如 3G、B3G)、卫星网络等有基础设施网络, 以及 ad hoc 网络、无线传感器网络等无基础设施网络。这些应用背景、目标、发展方向、系统结构、覆盖范围、通信协议、链路特性、应用场景和业务服务能力等方面各不相同的异构无线网络, 以及未来可能应新的要求产生的各种新型接入网络技术, 共同为用户提供了普适、无知觉、透明的接入网络环境。

下一代通信网络(NGN)不再由单一的接入方式构成, 而是采用不同的无线接入技术的多种无线移动网络的融合<sup>[1]</sup>。融合了包括采用 3G、4G 的下一代无线通信网络, 采用软交换技术的分组化的话音网络及以 MPLS、IPv6 为重点的下一代 IP 网络等, 集成了多种灵活的接入方式。为了满足用户对移动性的需求, 向用户提供跨异构网络的普适、无缝服务, 支持用户的异构网络间的无缝漫游和无知觉切换, 异构网络间的垂直切换技术等移动管理中的关键技术成为未来基于全 IP 架构的网络中必须解决的关键问题之一。

切换是指移动终端或智能终端与其他基站或终端之间的当前连接, 从一个接入网络(或小区)转移到另一个接入网络(或小区)的机制和过程, 包括网络感知子过程、切换判决子过程和切换执行子过程, 是移动终端(或智能终端)实现无缝漫游、普适服务的一项重要技术, 属于移动管理的范畴。异构无线网络中的切换分为水平切换(horizontal handoff)和垂直切换(vertical handoff)。水平切换是指移动终端在基于同一种网络接入技术的不同接入点间的切换, 而垂直切换则是指在异构的网络接入技术之间的切换。

垂直切换作为异构无线网络相互融合的基础, 也作为云计算平台为智能移动终端提供无所不在、无缝、安全的透明服务的关键, 是一个相当复杂的过程, 要求高吞吐、高可信、快速的切换。现有的垂直切换算法主要利用水平切换的算法和机制演变而来, 普遍存在系统吞吐量小、切换安全风险大的问题。

本文提出一种支持云计算服务的基于信任度的无线移动网络垂直切换算法。通过对借助异构无线网络中自身历史采样信息计算网间信任度,

并以此为依据评价异构无线网络行为可信程度。在行为可信度高的异构无线网络间建立动态信任关系并传递信任信息, 在确保切换性能的同时实现了对网间不可信行为的防范。

## 2 相关研究

异构无线网络中的垂直切换过程可分为网络发现、切换判定和切换执行<sup>[2]</sup>。在整个切换过程中, 切换判决是一个非常重要的环节, 也是一个重要的研究内容。根据切换发起和执行的实体, 可将目前常用的切换判决机制分为 4 种<sup>[3]</sup>, 分别是: 移动设备控制的切换(MCHO, mobile controlled handoff)、网络控制的切换(NCHO, network controlled handoff)、移动终端辅助的切换(MAHO, mobile assisted handoff)和网络辅助的切换(NAHO, network assisted handoff), 例如, 欧洲的 DECT(digital european cordless telecommunication)和北美的 PACS(personal access communication system)等数字无绳通信系统、WLAN 系统采用 MCHO 方式, TACS(total access communication system)及 AMPS(advanced mobile phone system)等模拟蜂窝移动通信网络均采用 NCHO, 而 GSM/GPRS、CDMA 等数字蜂窝移动通信网络通常采用 MAHO 方式。在无线异构网络间的垂直切换中, 由于只有智能移动终端(SMT, smart mobile terminal)知道自己配置了哪些网络接口或能够感知到哪些频谱, 而且即使网络知道这些相关信息, 也不可能控制 SMT 将要移入的另外一种无线网络, 所以 MAHO 方式并不适用于垂直切换, MCHO 方式会更为有效<sup>[4]</sup>。我们认为以 MCHO 方式为主, 以 NAHO 方式为辅的方式更加灵活和有效, 本文提出的切换算法即基于 MCHO+NAHO 的方式。

无线网络、智能移动终端、或者二者的结合都可以发起垂直切换。但是, 因为垂直切换的判决标准包括不同网络情况和性能参数, 只有智能移动终端可以方便地获取不同网络接口上的相关信息, 显然网络控制的切换 NCHO 方式不适合。另外, 智能移动终端辅助的切换 MAHO 方式通常由网络根据终端报告的各种信息进行综合的优化和控制, 而垂直切换是跨越异构网络的, 无法实现跨异构网络的总体综合优化控制。再考虑到网络边缘化和终端智能化的发展趋势, 可以认为移动终端控制的切换 MCHO 和网络辅助的切换 NAHO 是垂直切换中最

适合的 2 种控制方式。现有大量研究中将切换决策功能放在智能移动终端中实现,使得终端可以基于某些标准主动发起切换。例如,可以基于资费,总是选择资费最低的无线接入网络;为了提高服务质量,可以主动从低性能高负载无线网络切换至高性能低负载无线网络;为了提高网络资源的总体利用效率,可以使用高带宽网络完成云计算及存储服务的高数据量、实时视频等应用需求,而使用低性能无线网络完成云计算服务远程浏览、E-mail 等应用需求。随着研究的深入,引入模糊逻辑和神经网络等不确定数学工具于垂直切换过程,使得单智能移动终端的处理能力受到资源限制,进而以智能移动终端为主决策,NAHO 方式为辅助的控制机制越来越受到重视,特别是认知无线电技术的结合,更加促进了这种结合需求。

目前的垂直切换算法主要集中在通过一个或多个具体参数设置阈值来进行切换触发和基于神经网络或模糊控制等人工智能方法的切换算法<sup>[5]</sup>。前者现有的绝大多数算法都将接收信号强度 RSS 作为基本的判断指标,再辅助相应的其他参数。其中最为典型的的就是引入迟滞电平(hysteresis)和驻留定时器(dwelling timer)参数<sup>[1]</sup>等。该类算法的主要问题是关注算法参数的量化评价,而忽略了这些参数的动态变化特性,很难实时监测,但是算法实现简单,并且计算复杂度相对较低。后者使用人工智能方法来进行切换判决,比如模式识别<sup>[6]</sup>、神经网络<sup>[3,7]</sup>、模糊推理<sup>[8-10]</sup>等,但是这类算法的复杂度高,对计算能力和能耗皆有限的智能移动终端并不适合,特别是神经网络还需要长时间的预先学习过程,并且以上 2 种方法皆没有考虑对云计算应用环境等需要的高安全性和大吞吐量的应用需求。

异构无线移动网络环境下,智能移动终端会频繁地在不同的网络间进行垂直切换。传统的垂直切换方式需要向用户所在的源无线网络请求用户认证信息,当终端在远离源无线网络的网络漫游时,这种传统的漫游认证方式会使切换时间较长,造成业务中断。在异构无线网络间的垂直切换中,多种源于水平切换的改进方案采用动态建立安全关联的方式,在异构无线网络间传递智能移动终端的认证信息,从而避免水平切换中源无线网络参与认证过程,以实现垂直切换的优化目的<sup>[11]</sup>。

但是在未来宽带无线移动网络环境中,随着

许多新型无线网络的突现,商业模型、信任关系和漫游协议可能与以前的移动通信网络有许多不同,当异构网络的可信赖性变得不易评估,相互间也有可能存在不可信行为。在此情况下,单纯对异构无线网络身份的认证已不能满足安全性的需求,应在异构无线网络间认证中引入社会信任机制,根据异构无线网络间的历史行为对其进行信任度评估,对于信任度较低的异构无线网络,拒绝其切换接入。

为此,本文提出一种基于信任度的安全垂直切换算法(T-SVHO, trust based vertical handoff algorithm):通过信任计算模型对异构无线网络的可信度进行评估,以此为据,在异构无线网络间建立信任关系,并把异构无线网络的安全信任信息传递给智能移动终端。在确保异构无线网络间行为可信的基础上实现对垂直切换性能的优化。

### 3 信任度形式化定义及动态更新算法

#### 3.1 概念的不确定描述工具——云模型

云模型主要反映宇宙中事物或人类知识中概念的 2 种不确定性:模糊性(边界的亦此亦彼性)和随机性(发生的概率),它把模糊性和随机性完全集成在一起,研究自然语言中的最基本的语言值(又称语言原子)所蕴含的不确定性的普通规律,使得有可能从语言值表达式的定性信息中获得定量数据的范围和分布规律,也有可能把精确数值有效转换为恰当的定性语言值。

云是用语言值表示的某个定性概念与其定量表示之间的不确定性转换模型,用以反映知识中概念的不确定性。云由许多个云滴组成,一个云滴是定性概念在数量上的一次实现,单个云滴可能无足轻重,在不同的时刻产生的云的细节可能不尽相同,但云的整体形状反映了定性概念的基本特征。云的“厚度”是不均匀的,腰部最分散,“厚度”最大,而顶部和底部汇聚性好,“厚度”小。云的“厚度”反映了确定度的随机性的大小,靠近概念中心或远离概念中心处,确定度的随机性较小,而概念中心不远不近的位置,确定度的随机性大,这与人的主观感受相一致。

**定义 1**<sup>[12]</sup> 设  $U$  是一个用精确数值表示的定量论域,  $C$  是  $U$  上的定性概念,若  $x \in U$ , 且  $C$  的一次随机实现,  $x$  对  $C$  的确定度  $m(x) \in [0,1]$  是有稳定倾向的随机数:  $m:U \rightarrow [0,1] \quad x \in U \quad x \rightarrow m(x)$ ,

则  $x$  在  $U$  上的分布称为云 (cloud)，每一个  $x$  称为一个云滴 (无次序)。

云可以用图形表示，简称云图。云图表示的概念的整体特性可以用云的数字特征来反映。用期望值  $E_x$  (expectation value)、熵  $E_n$  (entropy)、超熵  $H_e$  (hyper entropy) 3 个数值来整体表征一个概念。它们反映了定性概念整体上的定量特征。

期望  $E_x$ ：云滴在论域空间分布的期望。通俗地说，就是最能够代表定性概念的点。

熵  $E_n$ ：定性概念的不确定性度量，由概念的随机性和模糊性共同决定。

超熵  $H_e$ ：超熵是熵的不确定性度量，即熵的熵。由熵的随机性、模糊性共同决定。

云模型是云的具体实现方法。由定性概念到定量表示的过程，也就是由云的数字特征产生云滴的具体实现，称为正向云发生器<sup>[9]</sup>；由定量表示到定性概念的过程，也就是由云滴群取得云的数字特征的具体实现，称为逆向云发生器<sup>[12]</sup>。

#### 算法 1 正向正态云算法。

//输入： $E_x$ 、 $E_n$ 、 $H_e$ 、 $N$ ；

//输出： $N$  个云滴及其  $m_i$ ；

1) 生成以  $E_n$  为期望值， $H_e^2$  为方差的一个正态随机数  $E_{n_i}$ ；

2) 生成以  $E_x$  为期望值， $E_{n_i}^2$  为方差的一个正态随机数  $x_i$ ；

3) 计算  $m_i = \exp\left[-\frac{(x_i - E_x)^2}{2(E_{n_i})^2}\right]$ ；

4) 具有确定度  $m_i$  的  $x_i$  成为论域中的一个云滴；

5) 重复步骤 1)~4) 直至产生  $n$  个云滴为止。

该算法即适合论域空间为一维的情况，也适用于论域空间为二维或高维的情况。而逆向云发生器算法是实现从定量值到定性概念的转换模型。其中无需确定度信息的逆向云算法<sup>[12]</sup>更容易应用 (确定度在很多情况很难获得)。

#### 算法 2 无需确定度的逆向云算法。

//输入： $\{x_i\}$ ；

//输出： $E_x$ 、 $E_n$ 、 $H_e$ ；

1) 根据  $x_i$  计算这组云滴的均值  $V$ 、一阶矩  $M_1$  和二阶矩  $M_2$ ；

2)  $E_x = V$ ；

3)  $E_n = M_1 \sqrt{\frac{\pi}{2}}$ ；

4)  $H_e = \sqrt{M_2 - E_n^2}$ 。

### 3.2 基于云模型的信任度的形式化定义

结合风险发生器算法，生成一个基于云模型的风险发生器算法。

#### 算法 3 风险发生器算法<sup>[13]</sup>。

//输入： $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$  上下文信息集合， $t$  采样间隔时间， $d$  隶属度的阈值， $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_n \mid 0 < q_i < 1\}$  每一种上下文风险信号的权重，该权重由专家和日志记录信息综合动态更新，以体现权重的实时性和关联性。

//输出：风险值  $Risk$ ；

1) 根据样本点上下文和采样间隔时间，采用无确定度的逆向云算法生成云的期望值、熵和超熵；

2) 根据云的隶属度函数定义，计算确定度  $m = e^{-\frac{(m_i - E_x)^2}{2(E_n)^2}}$ ，其中  $m_i$  为每个上下文信息对应的云滴值；

3) 根据  $m$  和  $d$  大小关系 ( $m < d$  有风险信号产生，否则无)，判定上下文有无风险信号产生 (如果存在风险，上下文风险信号取值为 1；反之，则为 0)；

4) 据  $Risk$  的取值等于各上下文风险信号与其权重乘积之和。

从算法可知，在采样时间间隔内如果是正常范围的动态变化属“静止”概念，不产生风险信号，只有超出正常范围的动态变化才会产生风险信号。

信任云是信任度计算模型的核心概念。借鉴云的形式化定义，给出其形式化定义。

定义 2 (直接信任)<sup>[14]</sup>：信任云是以二维正态云的形式描述节点之间的信任关系，其表述为

$$\begin{cases} tc_{AB} = nc(E_x, E_n, H_e, Risk) \\ 0 \leq E_x \leq 1, 0 \leq E_n \leq 1 \\ 0 \leq H_e \leq 1, 0 \leq Risk \leq 1 \end{cases} \quad (1)$$

其中， $E_x$  是信任期望，它表明了节点间的基本信任度； $E_n$  是信任熵，反映了信任关系的可接受范围；而  $H_e$  是信任超熵，反映了信任熵的不确定性； $Risk$  是信任风险，反映了信任的风险程度。

### 3.3 信任度动态更新算法

在异构无线网络环境中，智能移动终端不能总获得直接信任，因此引入信任传播来描述陌生实体间的推荐信任。由于  $E_1$  对于  $E_m$  的信任云是通过中间节点传递的，所以把这叫作信任云传播。

算法 4 (推荐信任)：信任云传播算法<sup>[14]</sup>。

$$\left\{ \begin{aligned} tc (Ex, En, He, Risk) &= tc_1 \quad tc_2 \quad \dots \quad tc_m \\ &= \sum_{i=1}^m tc_i (Ex_i, En_i, He_i, Risk_i) \\ Ex &= \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Ex_i, En = m \ln \left( \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m En_i, 1 \right) \\ He &= m \ln \left( \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m He_i, 1 \right), Risk = m \ln \left( \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Risk_i, 1 \right) \end{aligned} \right. \quad (2)$$

从式(2)可知,信任云的期望更加趋近 0,超熵即云滴的离散度增加,显然经过传播以后,信任云的信任程度减小、不确定性和风险性增加,这符合实际情况。

异构无线信任网络由众多接入点和终端组成,实体间常有多条推荐信任链。所以引出信任云合并来描述多链信任问题。

**算法 5 (多链信任):** 信任云合并算法<sup>[14]</sup>。

$$\left\{ \begin{aligned} tc (Ex, En, He, Risk) &= tc_1 \quad tc_2 \quad \dots \quad tc_m \\ &= \sum_{i=1}^m nc_i (Ex_i, En_i, He_i, Risk_i) \\ Ex &= \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Ex_i, En = m \ln \left( \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m En_i, 1 \right) \\ He &= m \ln \left( \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m He_i, 1 \right), Risk = m \ln \left( \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Risk_i, 1 \right) \end{aligned} \right. \quad (3)$$

通过式(3)可知,信任云合并的信任程度、不确定性和风险性方面都要优于前 2 种信任云。

#### 4 基于信任度的安全垂直切换算法

通过信任计算对异构无线网络的可信度进行评估,并以此为据,在异构无线网络间建立信任关系,传递给智能移动终端信任信息。从而避免传统方法中异构无线网络的不可信接入,在确保异构无线网络间行为可信的基础上实现对垂直切换性能的优化。

##### 4.1 现有切换算法

考虑到现有无线通信网络中,GSM 网络覆盖范围基本是全覆盖。因此,现有垂直切换算法一般都是检测 Wi-Fi 网络的接收信号强度变化,作为垂直切换判决的基本条件<sup>[14]</sup>。

当智能移动终端与接入点的距离是 d 时,Wi-Fi 网络的接收信号强度可表达为

$$RSS_{Wi-Fi} = K_1 + K_2 \log(d) + W(d) \quad (4)$$

其中,  $K_1$ 、 $K_2$  为路径损失参数,  $W(d)$  为 0 均值静

态高斯白噪声。

令 Wi-Fi 接收信号强度的切换阈值  $RSS_{th}$ , 也就是说当 Wi-Fi 网络的接收信号强度低于  $RSS_{th}$  时,用户将无法使用 Wi-Fi 网络进行正常通信。定义当智能移动终端与接入点的距离为 d 时,其接收到的 Wi-Fi 网络信号强度与切换阈值的差值为

$$D_{RSS} = RSS_{Wi-Fi} - RSS_{th} \quad (5)$$

假设  $d = d_0$  时,  $RSS_{Wi-Fi} = RSS_{th}$ , 即  $D_{RSS} = 0$ 。

标准的迟滞电平算法实时采集  $D_{RSS}$ , 当  $-HY \leq D_{RSS} \leq HY$  ( $HY$  为算法中的迟滞电平)时,维持原来的连接;当  $D_{RSS} > HY$  时,触发从 GSM 网络切换到 Wi-Fi 网络;而当  $D_{RSS} < -HY$  时,触发从 Wi-Fi 网络到 GSM 网络的切换。

##### 4.2 一种支持云计算的安全垂直切换算法(T-SVHO)

考虑到云计算存储和计算应用环境中,无线网络主要完成云服务的接入,而为了实现随时随地、透明的普适服务,就必须充分利用现有的各种异构无线网络,以便实现随时随地的接入服务。在智能移动终端在各种融合的异构无线网络环境中移动时,无缝、安全、高效的垂直切换算法就是一个非常重要的研究工作。

当智能移动终端在由 GSM 网络、Wi-Fi 网络等异构无线网络中移动过程中,以周期为 T 对来自于 Wi-Fi 网络的接收信号强度(该参数与终端的位置相关)和来自于 GSM 网络的接收信任度(该参数与终端的位置和时间皆有关)进行采样,智能移动终端分析接收信号强度的变化和接收信任度变化来综合判决是否进行垂直切换。

假设智能移动终端距离 Wi-Fi 网络的接入点的距离为 d 时,终端从 Wi-Fi 接收到的信号强度可用式(4)表达。同时假设智能移动终端在 t 时刻离接入点距离为 d 时,终端从 GSM 网络接收到的信任度可表示为

$$RTD_{GSM}(t) = tc_t(Ex, En, He, Risk) + d(t) \quad (6)$$

其中,  $tc_t(Ex, En, He, Risk)$  为 t 时刻的信任云度量,  $d(t)$  为 GSM 网络对 Wi-Fi 网络的动态信任噪声。

令对 Wi-Fi 网络的接收信任度的切换阈值  $RTD_{th}$ 。定义当智能移动终端在 t 时刻时,其接收到的信任度与切换阈值的差值为

$$D_{RTD} = RTD_{GSM} - RTD_{th} \quad (7)$$

假设当接收到的信任度和信任度阈值相等时,

$RTD_{GSM} = RTD_{th}$ ，即  $D_{RTD} = 0$ 。

将当前状态下用于切换判决的所有信息表达为（当前时刻的采样点为第  $N$  个）

$$S_N = (D_{RSS}(N), D_{RSS}(N-1), \dots, D_{RSS}(N-P+1), D_{RTD}(N), D_{RTD}(N-1), \dots, D_{RTD}(N-P+1), H_T, H_S, j(N-1)) \quad (8)$$

其中  $\{D_{RSS}(N), D_{RSS}(N-1), \dots, D_{RSS}(N-P+1)\}$  是最近  $P$  次  $D_{RSS}$  采样结果， $D_{RSS}(N)$  是当前时刻的采样结果， $\{D_{RTD}(N), D_{RTD}(N-1), \dots, D_{RTD}(N-P+1)\}$  是最近  $P$  次  $D_{RTD}$  采样结果， $D_{RTD}(N)$  是当前时刻的采样结果。 $H_T$  为上次发生信任度过低引起切换的采样点， $H_S$  为上次因接收信号强度引起切换的采样点， $j(N-1)$  为第  $N-1$  个采样点的网络选择。

$j(N)$  表示第  $N$  个采样点的网络选择。显然  $j(N)$  为  $S_N$  的函数。可以令：

$$j(N) = f(S_N) = \begin{cases} > 0, & \text{选择WiFi网络} \\ < 0, & \text{选择GSM网络} \end{cases} \quad (9)$$

其中， $j(N) = 0$  为无效状态。

为了避免垂直切换时容易出现的乒乓效应，引入迟滞电平和信任度延迟来进行垂直切换判决。基于  $j(N)$  的定义，可以给出基于信任度的迟滞电平垂直切换算法的切换条件（假设  $H_Y$  为该算法中的迟滞电平值， $h$  为信任度延迟值）：

$$\begin{aligned} j(N) & j(N-1) < 0 \\ (j(N-1) > 0 \quad (D_{RSS}(N) < -H_Y \quad D_{RTD}(N) < -h)) \\ (j(N-1) < 0 \quad (D_{RSS}(N) > H_Y \quad D_{RTD}(N) > h)) \end{aligned} \quad (10)$$

定义一个符号函数  $sgn(x) = \{1, 0, -1\}$ ，即定义为

$$sgn(x) = \begin{cases} 0, & x = 0 \\ x/|x|, & \text{其他} \end{cases} \quad (11)$$

利用符号函数，式(10)可以表示为

$$\begin{aligned} j(N) & j(N-1) < 0 \quad ((-sgn(j(N-1)) \cdot D_{RSS}(N) > H_Y) \\ & (-sgn(j(N-1)) \cdot D_{RTD}(N) > h)) \end{aligned} \quad (12)$$

依据式(12)可以得出基于信任度的迟滞电平垂直切换算法中  $j(N)$  的一种表达式：

$$j(N) = \begin{cases} j(N-1), & H_Y \cdot sgn(j(N-1)) + D_{RSS}(N) = 0 \\ & \text{或} h \cdot sgn(j(N-1)) + D_{RTD}(N) = 0 \\ H_Y \cdot sgn(j(N-1)) + D_{RSS}(N) \\ \text{或} h \cdot sgn(j(N-1)) + D_{RTD}(N), & \text{其他} \end{cases} \quad (13)$$

## 5 仿真实验

### 5.1 仿真模型及参数

在本实验中，无线异构网络的接入网部分是由多个 GSM 网络和多个无线 WiFi 网络组成，一个 GSM 网络可以包含若干个无线 WiFi 网络，一个无线 WiFi 网络也可以被多个 GSM 网络所包含，但为了简单起见，这里只考虑由 3 个 GSM 网络和 6 个无线 WiFi 网络组成的应用环境模型。如图 1 所示，6 个无线 WiFi 网络处于 3 个 GSM 网络的覆盖范围内，同时假设智能移动终端的移动范围仅限于几种异构无线网络覆盖范围内。由于始终处于 GSM 网络范围内，节点不会因为接收不到基站信号而发生通信中断，因此只需要考虑来自于无线 WiFi 网络接入点的信号。

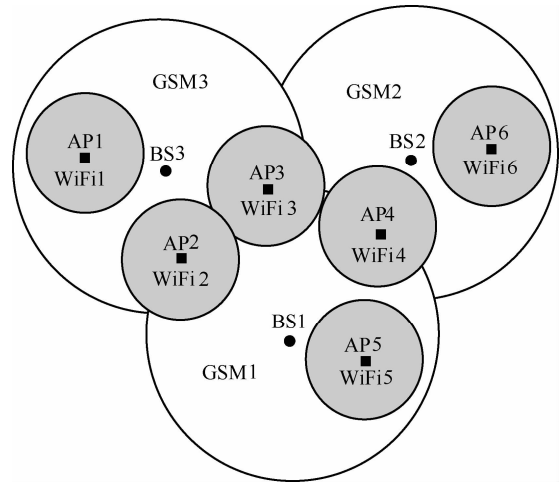


图1 实验仿真模型

本实验仿真参数如表 1 所示。

表 1 实验仿真参数

参数	值
WiFi网络半径	100m
采样时间间隔 $T$	50ms
$RSS_{th}$	$1.5118 \times 10^{-10}W$
$g$	84.853m
$H_Y$	$1.8888 \times 10^{-11}$
切换开销	2s
UDP业务流速率	2.5M bit/s

### 5.2 评价指标及实验结果

为了衡量垂直切换算法的优劣，除了使用常规的系统平均吞吐率指标，在本文中定义了“安全接

入率” SAR (security access ratio) 作为垂直切换算法的另一个评价指标。“安全接入”是指根据垂直切换算法选择的无线网络为智能移动终端当前最可信、最佳的网络选择。SAR 指单位时间内算法累计接入安全最佳网络的时间长度。

另外, HY 算法是一种普通的基于迟滞电平的切换算法<sup>[15]</sup>, MMRE 算法是一种基于速度模型的垂直切换算法<sup>[1]</sup>。这 2 种算法都是以接收信号强度作为主要准则, 并分别基于不同的参数提出的算法, 具有很强的代表性。因此本文提出的算法和以上算法比较相关性能。

从图 2 可以看出, 在智能移动终端以低速匀速运动时, HY 算法的安全接入率比较低, MMRE 算法的安全接入率相对较高, 最高的是 T-SVHO 算法。随着移动速度的加快, T-SVHO 算法的下降幅度比较大, 但是仍然保持较高的安全接入率。另外在本实验中, 把网络中不可信无线网络的数量从低到高的反复测试, 发现本文提出的 T-SVHO 算法具有较高的安全防护能力, 而另外 2 种算法基本不具备该项能力。

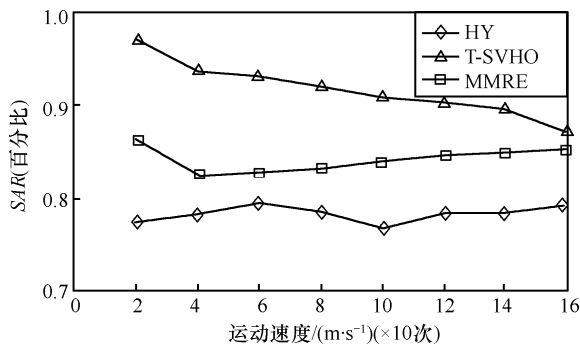


图 2 3 种算法的安全接入率对比

从图 3 可知, T-SVHO 算法的平均吞吐率和 MMRE 算法的最优, 并且前者略好于后者。3 种算法的平均吞吐率随着速度和不可信网络数量的增加都会有所下降, 并且降幅都会较大。

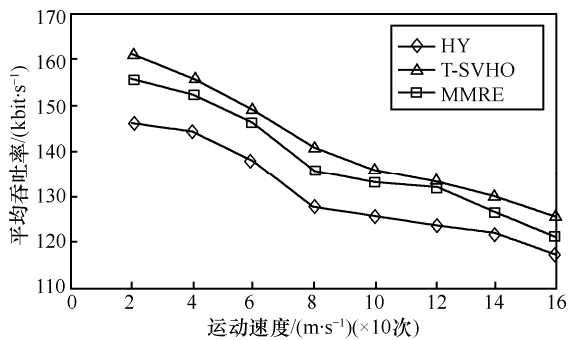


图 3 3 种算法的平均吞吐率对比

综合图 2 和图 3 实验结论, T-SVHO 算法在保证智能移动终端的接入安全性基础上, 同时提供了较优的切换性能。

### 6 结束语

本文提出了一种支持云服务的异构无线网络环境的安全垂直切换算法。该算法利用接收信号强度和信任度的历史采样信息来计算网间信任度, 并以此为依据评价异构无线网络行为可信程度。在行为可信度高的异构无线网络间建立动态信任关系并传递信任信息, 在确保切换性能的同时实现了对网间不可信行为的防范。

### 参考文献:

- [1] LIU M, LIZ C, GUO X B. An efficient handoff decision algorithm for vertical handoff between W W AN and W LAN [J]. Journal of Computer Science & Technology, 2007, 22(1):114-120.
- [2] STEVENS-NAVARRO E, WONG V W S. Comparison between vertical handoff decision algorithms for heterogeneous wireless networks [A]. Proceedings of the 63rd IEEE Vehicular Technology Conference [C]. Melbourne, Australia, 2006. 947-951.
- [3] PAHLAVAN K, KRISHNAMURTHY P, HATAMIA A. Handoff in hybrid mobile data networks [J]. IEEE Personal Communications, 2000, 7(2):34-47.
- [4] LEE C W, CHEN L M, CHEN M C, et al. A framework of handoffs in wireless overlay networks based on mobile IPv6 [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2005, 23(11):2118-2128.
- [5] YAN X, SEKERCIOGLU A Y, et al. A survey of vertical handover decision algorithms in Fourth generation heterogeneous wireless networks [J]. Computer Networks, 2010, 54(11):1848-1863.
- [6] POLLNIG P. Trends in handover design [J]. IEEE Communication Magazine, 1996, 34(3):82-90.
- [7] NASSER N, GUZANIS, AL-MASRIE. Middle are vertical handoff manager: a neural network-based solution [A]. Proceedings of the 2007 IEEE International Conference on Communications (ICC 07) [C]. Glasgow, Scotland, 2007. 5671-5676.
- [8] GUO Q, ZHU J, XU X. An adaptive multi-criteria vertical handoff decision algorithm for radio heterogeneous network [A]. Proceedings of the IEEE International Conference on Communications [C]. Seoul, Korea, 2005. 2769-2773.
- [9] CEKEN C, YARKAN S, et al. Interference aware vertical handoff

- decision algorithm for quality of service support in wireless heterogeneous networks[J]. Computer Networks, 2010, 54(5): 726-740.
- [10] XIA L, JIANG L G, HE C. A novel fuzzy logic vertical handoff algorithm with aid of differential prediction and pre-decision method [A]. Proceedings of the 2007 IEEE International Conference on Communications (ICC 07)[C]. Glasgow, Scotland, 2007. 5665-5670.
- [11] TULADHAR S R, CAICEDO C E, JOSHI B D. Inter-domain authentication for seamless roaming in heterogeneous wireless networks [A]. Proceedings of IEEE International Conference on Sensor Networks[C]. 2008. 249-255.
- [12] 李德毅, 杜鹞. 不确定性人工智能[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.
- LID Y, DU Y. Artificial Intelligence with Uncertainty[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2005.
- [13] 马彬, 谢显中. 一种新的基于风险的智能访问控制方法[J]. 重庆邮电大学学报(自然科学版), 2009, 21(4): 523-527.
- MA B, XIE X Z. A novel intelligent risk based access control planning[J]. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications, 2009, 21(4): 523-527.
- [14] 马彬, 谢显中. 无线传感器网络云信任模型[J]. 计算机科学, 2010, 37(3): 128-132.
- MA B, XIE X Z. Cloud trust model for wireless sensor networks[J]. Computer Science, 2010, 37(3): 128-132.
- [15] MARICHAMY P, CHAKRABARTI S, MASKARA S L. Performance evaluation of handoff detection schemes [A]. Proceedings of IEEE TENCON 03[C]. Taj Residency, Bangalore, 2003. 643-646.

#### 作者简介:



马彬(1978-), 男, 四川南溪人, 重庆邮电大学讲师, 主要研究方向为无线网络、网络与信息安全、认知无线电等。



谢显中(1965-), 男, 四川通江人, 博士, 重庆邮电大学教授, 主要研究方向为认知无线电、无线通信网络等。