

面向用户体验和速度感知的垂直切换判决算法

宁磊, 郭庆, 王振永, 杨明川, 姜开元

(哈尔滨工业大学 通信技术研究所, 150001 哈尔滨)

摘要: 为了保证用户会话的连续性,面向星地一体化网络,提出一种基于用户体验的切换判决算法. 选择具有最小用户体验差异度的网络作为目标切换网络,使得每个用户接入到最合适的网络;采用模糊数学方法设计速度感知模块,降低高速移动体的切换次数. 仿真证明,基于用户体验和速度感知的切换判决算法可以降低切换失败概率和呼叫阻塞率,同时保持较高的网络平均负载,使得更多的用户可以被网络服务,具有在全网资源分配方面的优势.

关键词: 星地一体化网络;垂直切换;多属性决策;用户体验;速度感知

中图分类号: TN927.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 0367-6234(2013)09-0001-06

Vertical handoff decision algorithm towards user experience and speed perception

NING Lei, GUO Qing, WANG Zhenyong, YANG Mingchuan, JIANG Kaiyuan

(Communication Research Center, Harbin Institute of Technology, 150001 Harbin, China)

Abstract: A user-experience-based handoff decision method towards Integrated Satellite and Terrestrial Network (ISTN) is proposed to guarantee the user session continuously. It selects the network with the lowest user experience difference, so each user can access to the most appropriate network. Meantime, a speed perception module is designed based on fuzzy method for the purpose of decreasing handoff times with high mobility. Simulation performance proves the superiority in reducing the probability of handoff failure and new call blocking. Moreover, the system can maintain a higher average network load to serve more users, which indicates the superiority of resource allocation among the whole network.

Key words: ISTN; vertical handoff; MADM; user experience; speed perception

基于辅助地面组件 (Ancillary Terrestrial Component, ATC) 技术的星地一体化网络设计^[1-2]是异构网络融合的众多方案之一. ATC 技术通过将卫星网关和地面网络的基站相连,使得在高楼林立的城市以及室内等卫星信号衰减较大的区域通过 ATC 实现大区域无缝覆盖. 其采用与地面网络同频率设计,所以它同样面临异构网络设计中的诸多问题^[3-4].

MSV 公司提出了自己的切换方法^[5],主要利用测量接收信号强度、无线终端发射功率和总无

线终端干扰 3 个因素来决定终端的网络选择. 这种单一的切换决策方法并不能满足多业务以及不同用户 QoS 需求,而基于多属性决策的切换算法是目前研究的热点,包括简单加权 (SAW)^[6] 算法、序数偏好 (TOPSIS)^[7] 算法、层次分析法 (AHP)^[8] 等. 然而上述的这三种方法没有针对多业务多用户和高速移动体的切换场景进行优化,无法对复杂多变的环境网络作出调整以达到更好的切换性能,保证切换的平滑性. 此外,如果将用户移动速度作为上述算法的判决因素之一,需要进一步讨论将定量描述的用户速度转换为定性描述的方法.

本文主要针对星地一体化网络中,通信终端需要接入多种无线通信网络的要求,进行了垂直切换机制的研究. 结合传统的多属性决策理论方

收稿日期: 2012-07-08.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (61101125).

作者简介: 宁磊 (1986—),男,博士研究生;

郭庆 (1964—),男,教授,博士生导师.

通信作者: 郭庆, qguo@hit.edu.cn.

法,提出了基于用户体验和速度感知的切换判决算法,同时仿真验证了其在切换性能和全网资源分配方面的优势.

1 星地一体化网络

1.1 网络架构

基于 ATC 技术的卫星部分采用高功率和大尺寸天线设计,使得空中卫星平台类似于另外一个地面蜂窝基站.同时,无论是在地面段还是在卫星段,它都将支持地面流行的空中接口技术(GSM,CDMA2000,WCDMA 和 WiMAX 等),地面不同体制的 ATC 接入网络将运行在一个基于全 IP 开放架构(如图 1 所示)的核心蜂窝网络之上.

表 1 MSV 公司卫星参数

卫星轨道/(°)	通信链路/MHz	馈电链路/GHz	EIRP/(dBW)	(G/T)/(dB·K ⁻¹)
西经 101 ~ 西经 107.3	1 525 ~ 1 559 (前向)	12.75 ~ 13.25 (上行)	79	21
	1 626.5 ~ 1 660.5 (反向)	10.75 ~ 10.95 和 11.20 ~ 11.45 (下行)		
点波束/(°)	兼容体制	星上处理	设计寿命/a	
0.4	3G	自适应波束形成	15 左右	

由表 1 得出,卫星点波束宽度(波束角)为 0.4°,而卫星波束在地面的覆盖半径为 $R = d \cdot \tan(\theta/2)$;则当波束宽度 $\theta = 0.4^\circ$ 且 GEO 卫星到地面的距离为 35 786 km 时,波束覆盖半径 $R = 124.917\ 2$ km.

1.2 网络建模

根据星地一体化网络架构,本论文采用地面接入网和卫星网络的双重覆盖方案,具体的切换场景表述如图 2 所示.

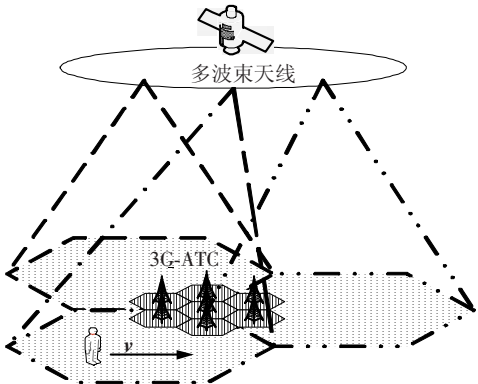


图 2 星地一体化网络切换场景

由图 2 可知,地面覆盖基站采用的是 7 小区 3 G-ATC 基站模型,卫星覆盖采用的是 3 个点波束.假设用户在地面的 7 个小区中随机移动,如果用户一旦超过这 7 小区的范围则采用对称映射的方式,认为其从另一个小区重新进入 7 个小区所在的范围.这样设置的场景模式可以保证无论用户怎样随机移动都能确保其可以实时的有两个网

这样的设计方式使得用户终端在尺寸、技术等方面接近于目前用于地面蜂窝网的手持终端,甚至是不做任何改动的手持终端.

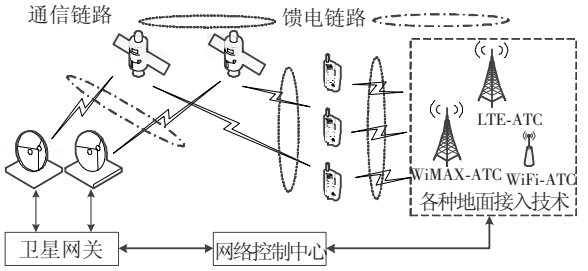


图 1 基于 ATC 技术的星地一体化网络架构

基于 ATC 技术的星地一体化网络的主要技术参数^[4]如表 1 所示.

络候选作为接入.

2 基于用户体验和速度感知的切换流程

本文提出了一种面向星地一体化网络的考虑用户体验差异度的切换判决算法,它将用户的多种业务请求和候选网络状态参数进行动态适配,使用户选择切换到最合适的网络而不是追求最好的网络,从而达到提高整个系统性能的目的.同时,在切换决策中,为了避免频繁切换,我们利用模糊数学方法建立起来的速度感知模型,使高速移动的用户尽可能地选择单小区(或卫星波束)服务范围较大的网络,本文将从网络发现、切换判决算法以及切换执行 3 个方面来阐述垂直切换机制.

2.1 网络发现方法

本文基于星地一体化网络架构进行切换机制研究,由于卫星和地面蜂窝网络信道环境差异较大,需要根据各自的信道模型计算网络和用户之间的接收信号强度(Received Signal Strength, RSS)^[9-10],用 R_{RSS} ,其表达式为

$$R_{RSS} = P - P_{Pathloss} - F_{Fading\ small-scale}$$

其中: P 为发射功率; $P_{Pathloss}$ 为自由空间的路径损耗,属于大尺度衰落; $F_{Fading\ small-scale}$ 属于小尺度衰落.以下分别针对卫星和地面蜂窝网络各自的信道环境进行分析.

1) 用户到蜂窝基站.本文采用参考文献[11]

中的宏小区传播模型,基站天线的高度为 15 m,路径损失 (dB) 为

$P_{\text{Pathloss cell}} = 58.8 + 21\log_{10}(f) + 37.6\log_{10}(d) + \log(F)$.
其中: f 是载波频率 (MHz); d 是用户和基站间的距离 (km), $\log(F)$ 是对数正态分布 (标准差为 $\sigma = 10$ dB).

在地面无线移动信道中,常采用瑞利分布作为信道模型,其概率密度函数如下式所示:

$$p(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right), & 0 \leq r \leq \infty; \\ 0, & r < 0. \end{cases}$$

其中 σ 是包络检波之前所接收电压信号的均方根值.

2) 用户到卫星平台. 路径损失 (dB) 为

$$P_{\text{Pathlosssat}} = 92.45 + 20\log_{10}f + 20\log_{10}d.$$

其中 f 是载波频率 (GHz), d 是用户到卫星平台距离 (km).

用户和卫星平台之间的通信方式主要为视距传播,所以常采用莱斯分布作为信道模型,其概率密度函数如下式所示:

$$p(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{(r^2 + A^2)}{2\sigma^2}\right) I_0\left(\frac{Ar}{\sigma^2}\right), & r \geq 0, A \geq 0; \\ 0, & r < 0. \end{cases}$$

其中: A 表示确定信号的功率; σ 表示多径分量方差;而莱斯分布常用参数 K 来描述,它定义为

$$K = A^2 / (2\sigma^2).$$

根据以上表达式,系统实时监听网络侧和用户侧之间的接收信号强度,设置最低门限值 $R_{\text{RSS threshold}}$,当 $R_{\text{RSS realtime}} \geq R_{\text{RSS threshold}}$ 时,则该网络可以作为用户的候选网络.

2.2 切换判决算法

如图 3 所示,用户体验差异度模型根据业务请求参数和网络服务参数计算出各个候选网络的用户体验差异度;速度感知模型根据当前用户的移动速度利用模糊数学的方法与用户体验差异度模型进行“加和”运算,从而减少具有较大服务半径的候选网络体验差异度,使得高速移动的用户优先将该网络作为切换目标.下文将对各个模型进行详细叙述.

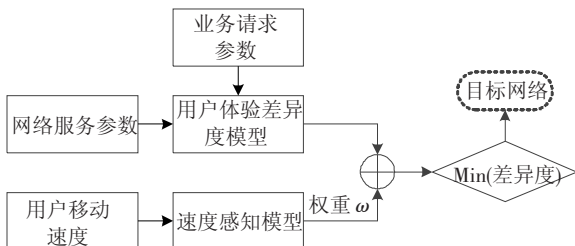


图3 切换判决流程

1) 用户体验差异度模型. 以用户为中心的设计是用户体验的概念发展到一定阶段后的产物^[12],在多网异构融合环境下,用户体验的主要特点为业务在不同用户环境下的体验差异性. 本文提出了一种网络服务和用户业务请求一致性的用户体验度评估方法. 首先对网络可供服务参数和用户所请求的业务参数进行定时采样,采样结果表示为 $P_{\text{network_served}}$ 和 $P_{\text{user_request}}$. 采样的内容包括不同服务质量指标,如数据吞吐量、延迟、抖动、丢包率和误比特率等.

$$U_{\text{UDF}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_{\text{network_served}}^i - P_{\text{user_request}}^i)^2}{n}}.$$

其中 U_{UDF} 表示用户体验差异度 (User Experience Differences), n 为衡量服务质量的指标个数. 网络选择的目标就是在 M 个候选网络中寻找具有最小用户体验差异度的网络作为切换目标,如下式所示:

$$A_{\text{UDF}}^* = \arg \min_{i \in M} U_{\text{UDF}i}.$$

2) 速度感知模型. 节点在运动过程中,高速移动体将会连续穿越服务半径较小的小区,这就导致用户需要进行频繁的切换以保证服务的连续性. 在星地一体化网络的设计中,由于 GEO 卫星服务波束范围较地面蜂窝基站的小区半径高出两个数量级 (蜂窝小区半径: 1 km, GEO 单波束: 100 km),所以针对这种类型的切换请求尽可能让高速移动的物体切换到 GEO 卫星网络中.

本文采用模糊数学的方法建立速度感知模型,利用模糊逻辑构造隶属度函数,将速度表示为低速、中速、高速,如果处于隶属于高速模式,则根据模糊规则切换决策为 GEO 卫星网络. 在基于速度感知模型的模糊构造中,将速度因素作为模糊推理系统的输入,模糊化处理后,根据来自策略库中不同输入组合的规则,得到合理的切换判决决策结果.

为了将速度表示为 {低速, 中速, 高速}, 采用 Z-type 表示低速, Lambda-type 表示中速, S-type 表示高速^[13],模糊处理后的整体表示形式如图 4 所示,本文设定用户移动速度大小服从 $[0, 40]$ (m/s) 的均匀分布,故取 $\{a = 10; b = 20; c = 30\}$.

在速度感知模型中,系统将用户速度的数值输入到如图 5 所示的模糊器中,首先得出 {低速, 中速, 高速} 的模糊结果,再根据模糊规则和解模糊器得出最后的切换判决结果. 本文将模糊规则和解模糊器进行统一设计,通过引入权重因子 ω ,

把模糊结果映射成不同的模糊速度权重因子,即将 {低速,中速,高速} 映射成 $\{\omega_{low}, \omega_{middle}, \omega_{high}\}$. 通过这种映射方式,本文将用户的速度经过模糊化和解模糊化的处理建立了速度感知模型,通过与用户体验差异度模型的“和”运算,最后得出目标切换网络.

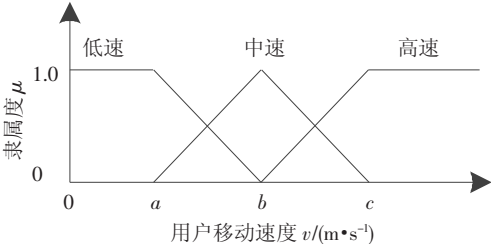


图 4 用户速度的模糊处理表示

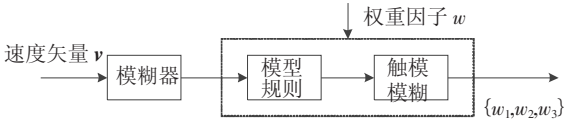


图 5 基于模糊逻辑的速度感知模型

2.3 切换控制执行

在异构网络环境中,如果垂直切换的判决因素在短时间内发生剧烈的变化,并且用户端一旦检测到更好的基站就执行切换,那么将会发生乒乓效应. 乒乓效应的产生与用户运动状态有关:当用户高速移动或者运动的方向不规则时,容易引起乒乓效应. 如图 6 所示,在整个切换控制过程中,网络侧和用户侧相互交换信息,通过图 3 的切换判决模型得出目标切换网络.

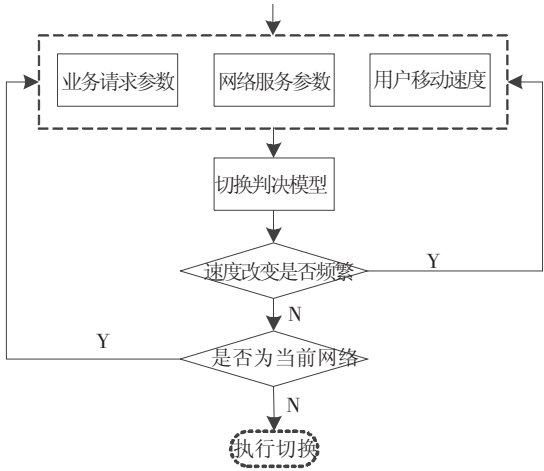


图 6 切换控制流程图

此时,为了避免乒乓效应,切换控制单元并不马上执行切换,而是首先判断速度是否频繁改变,然后判断是否为当前所接入的网络以避免无效切换(星地一体化网络中,切换请求的发起不仅仅是原网络失去连接时),最后执行目标网络切换. 在切换执行模块中,本文设计了一种判断用户速度改变频繁度的方法,具体如下:

首先对用户的运动行为进行判断. 通过 GPS 或者其他速度传感器可以直接得到用户的运动速度. 令 Δv 为用户在时刻运动状态标志的瞬时值,则:

$$\Delta v = \begin{cases} 1, & |v_t - v_{t-1}| > \frac{\pi}{2}; \\ 0, & |v_t - v_{t-1}| \leq \frac{\pi}{2}. \end{cases}$$

其中: v_t 为用户在 t 时刻运动速度的方向; v_{t-1} 为用户在 $t-1$ 时刻运动速度的方向. 如果用户在相邻的两个时刻运动速度方向改变大于 $\pi/2$,说明用户在这两个时刻运动状态发生了较大改变,则 $\Delta v = 1$;反之,如果用户在相邻的两个时刻运动速度方向改变不超过 $\pi/2$,则说明用户在这两个时刻运动状态较平稳,则 $\Delta v = 0$.

3 切换性能分析

下面介绍基于用户体验和速度感知的切换判决算法的仿真分析,总共给出四幅仿真图,分别从切换阻塞率、网络平均负载、新呼叫阻塞率以及用户平均切换次数 4 类切换性能对 5 种算法进行了仿真对比分析,这 5 种算法分别是:层次分析法 (AHP) 和其引入速度感知的 AHPSS 算法,基于用户体验和速度感知的 (UESS) 算法,基于接近理想方案的序数偏好方法 (TOPSIS) 和简单加权 (SAW) 算法. 采用如图 2 所示的切换场景,保证任意用户至少被 1 个 GEO 波束和地面基站覆盖;假设节点的最大速度为 $v_{max} = 40 \text{ m/s}$,移动方向的最大角改变为 $\alpha = 2\pi$,速度的改变时间间隔为 $\Delta t = 1 \text{ s}$,故用户的速度和方向分别服从均匀分布 $[-40, 40]$ 和 $[-\pi, \pi]$.

从图 7 中可以看出,随着会话达到率的不断提高,系统接纳的会话数逐渐增多,当网络趋于满载时会导致切换阻塞率逐渐变高;对于引入 SS 模块的 UESS 算法和 AHPSS 算法比其他的算法有较低的切换阻塞率;同时,本文提出的 UESS 算法不仅具有较低的切换阻塞率,而且跟其他的算法相比,极大地降低了切换阻塞率. 因为 UE 模块不仅可以针对多业务参数为用户提供合适的目标切换网络,在结合 SS 模块后,它还可以针对高速移动体进行切换优化,使其偏好接入具有较大服务半径的网络,因此会导致切换阻塞率的大幅下降.

从图 8 可以看出,随着会话达到率的不断提高,系统接纳的会话数逐渐增多,网络平均负载会不断增大;由于切换阻塞率较低,UESS 算法保持了较高的网络平均负载,可以更好的利用网络资

源. 而其他的三种算法由于具有较高的切换阻塞率, 所以网络平均负载相对较低.

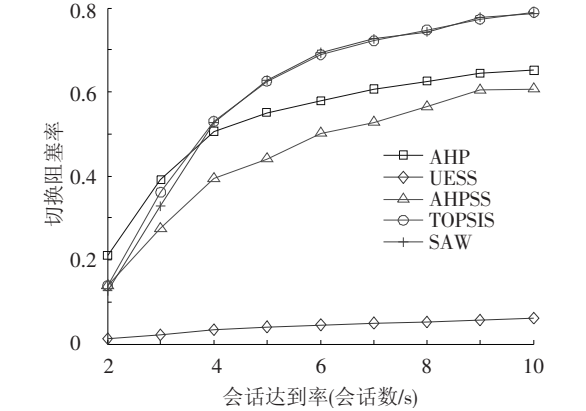


图 7 用户速度 $v \in [-40, 40]$ m/s 时的网络切换阻塞率

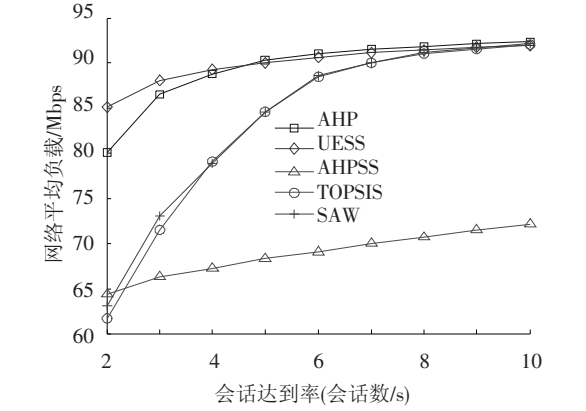


图 8 用户速度 $v \in [-40, 40]$ m/s 时的网络平均负载

从图 9 可以看出, 当会话达到率逐步提高时, 系统接纳的用户会话数也随之提高, 当网络趋于满载时会导致新呼叫阻塞率变高; AHP 算法具有最高的新呼叫阻塞率, 由于这种算法在系统运行中维持着较高的网络平均负载, 当用户进行新呼叫时, 由于系统满载而导致他们无法接入; 在上文的比较中我们知道, 与 AHP 算法具有相同水平网络平均负载的 UESS 算法, 在图中显示出来的却是具有比 AHP 算法低 15% ~ 20% 的新呼叫阻塞率, 即这种方法对新呼叫的阻塞要大大减小, 还能保证较高的网络平均负载能力水平.

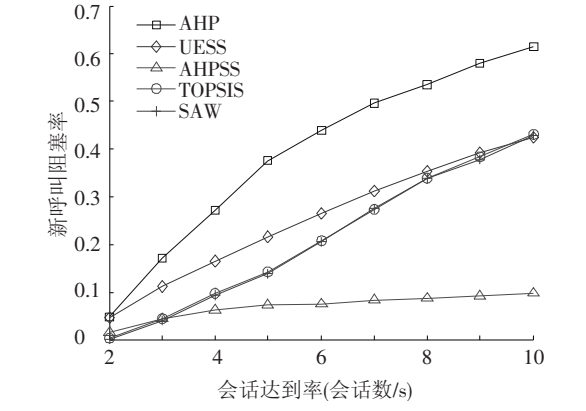


图 9 用户速度 $v \in [-40, 40]$ m/s 时的网络新呼叫阻塞率

从图 10 可以看出, 随着会话达到率的不断提高, 系统逐渐趋于满载情况导致切换阻塞率变高, 用户平均切换次数在不断的降低, 而 UESS 算法具有较高的平均切换次数. 因为在星地一体化网络中, 切换请求的发起不仅仅由于用户移动, 它还包括诸如业务的变更、系统资源的均衡分配等一系列影响条件.

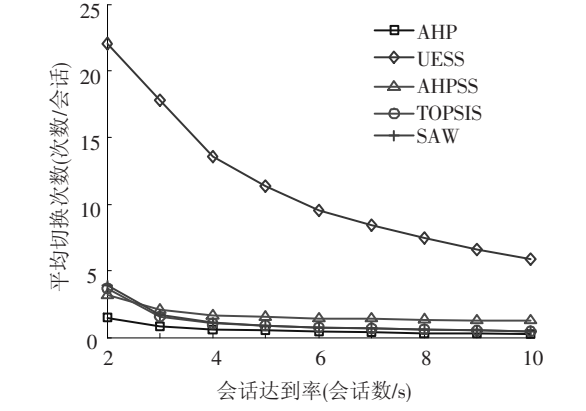


图 10 用户速度 $v \in [-40, 40]$ m/s 时的用户平均切换次数

综上所述, 本文提出的基于用户体验模块和速度感知模块的 UESS 切换算法在用户最大移动速度相对较高时可以获得较好的切换性能, 无论从切换阻塞率方面, 还是网络平均负载方面以及新呼叫阻塞率方面来看, 都具有相对较好的性能体现; 但是在获得以上性能优势的同时, 系统的平均切换次数却高于其他几种算法, 这也就是说一定程度上会增加系统和用户的开销. 所以这种算法适用于一些不过分计较系统开销和用户开销的场景. 同时, 仅引入速度模块的 AHPSS 算法维持较低用户平均切换次数的同时, 具有相对均衡的切换性能, 它可以用于网络开销比较紧张的场景中.

4 结 论

1) 介绍了星地一体化网络的典型架构, 针对该网络架构建立了用于切换流程分析的网络模型.

2) 提出了一种基于用户体验和速度感知的切换判决算法, 从切换流程的 3 个阶段进行了叙述. 在网络发现阶段, 根据星地融合网络的特点, 分别采用了两种信道模型. 在切换判决阶段, 采用了用户体验差异度模型和基于模糊逻辑的速度感知模型. 为了避免乒乓效应, 在切换执行阶段设计了一种判断用户速度改变频繁度的方法.

3) 针对所提出的切换判决模型进行仿真验证和分析, 对切换判决机制做出评价. 采用简单加权法、接近理想方案的序数偏好法和层次分析法

为对比算法,比较了不同算法在切换阻塞率、网络平均负载、呼叫阻塞率和用户平均切换次数 4 个切换指标的性能. 证明了所提出的切换判决算法的正确性以及其在星地一体化网络中具有多业务属性决策和面向高速移动体优化的优势.

4) 星地一体化网络与地面蜂窝系统相比,在星地链路中具有较大的传输时延. 本文只针对切换过程中的切换判决阶段进行了设计,下一步将考虑减少切换执行时间以保证切换判决命令的快速下达.

参考文献

- [1] AHN D S, KIM H W, AHN J, *et al.* Integrated/hybrid satellite and terrestrial networks for satellite IMT-Advanced services[J]. International Journal of Satellite Communications and Networking, 2011, 29(3): 269 – 282.
- [2] KOTA S, GIAMBENE G, KIM S. Satellite component of NGN: Integrated and hybrid networks [J]. International Journal of Satellite Communications and Networking, 2011, 29(3): 191 – 208.
- [3] 胡向晖, 任术波, 程宇新, 等. 结合 ATC 技术的新一代卫星移动通信系统简介[C]//第七届卫星通信新技术、新业务学术年会. 北京:[s. n.], 2011: 241 – 250.
- [4] 焦现军, 曹桂兴. MSV-ATC 卫星移动通信技术研究[J]. 航天器工程, 2007, 16(05): 59 – 67.
- [5] 杜塔 S, 卡拉比尼斯 P D. CN1788506 用于在基于空间的与地面的无线终端通信之间切换以及监视无线终端上地面复用卫星频率以减少可能干扰的系统和方法[P]. 香港: 中国专利代理(香港)有限公司, 2006: 1 – 27.
- [6] LASSOUED I, BONNIN J M, BEN HAMOUDA Z, *et al.* A methodology for evaluating vertical handoff decision mechanisms[C]//Networking, 2008 ICN 2008 Seventh International Conference on. Piscataway: IEEE, 2008: 377 – 384.
- [7] STEVENS-NAVARRO E, YUXIA L, WONG V W S. An MDP-based vertical handoff decision algorithm for heterogeneous wireless networks[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2008, 57(2): 1243 – 1254.
- [8] LI M, CHEN S, XIE D. A multi-step vertical handoff mechanism for cellular multi-hop networks [C]//Proceedings of the 2nd ACM Workshop on Performance Monitoring and Measurement of Heterogeneous Wireless and Wired Networks. Chania, : ACM, 2007: 119 – 123.
- [9] YANG K, GONDAL I, QIU B. Multi-dimensional adaptive SINR based vertical handoff for heterogeneous wireless networks[J]. IEEE Communications Letters, 2008, 12(6): 438 – 440.
- [10] SONG Q, JAMALIPOUR A. A network selection mechanism for next generation networks [C]//IEEE International Conference on Communications, ICC 2005. Piscataway: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2005: 1418 – 1422.
- [11] 童超, 牛建伟, 龙翔, 等. 移动模型研究综述[J]. 计算机科学, 2009, 36(10): 5 – 10.
- [12] 胡金凤. 基于方法论的用户体验组织化研究[D]. 上海: 华东理工大学, 2012: 1 – 8.
- [13] CALHAN A, CEKEN C. An adaptive neuro-fuzzy based vertical handoff decision algorithm for wireless heterogeneous networks [C]//International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications, PIMRC 2010. Piscataway: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2010: 2271 – 2276.

(编辑 张 宏)