

基于运动趋势预测的异构车联网垂直切换算法

杨明极¹, 吴 烨¹, 范华峰²

(1 哈尔滨理工大学 测控技术与通信工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150080;

2 大连船舶重工集团有限公司, 辽宁 大连 116000)

摘 要: 提出了基于运动趋势预测的垂直切换算法. 在由 LTE、WiMAX 构成的异构车联网环境下, 首先通过对车辆运动趋势的预测计算出其在当前基站覆盖范围下的持续时间, 按照该时间把车辆节点划分为狭移动节点和广移动节点. 对于狭移动节点利用基于负载均衡的网络选择方法进行切换判定, 而对于广移动节点利用基于模糊层次分析法的多属性垂直切换算法进行切换判决. 仿真结果表明, 在不同车辆数量与不同车辆速度两种仿真场景中, 此算法能够减少切换次数, 降低切换失败率, 改善切换时延, 提高系统的吞吐量.

关键词: 异构车联网; 垂直切换; 多属性判决; 层次分析法; 运动趋势

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2018)04-0119-05

Vertical Handoff Algorithm for Heterogeneous Internet of Vehicles Based on Motion Trend Prediction

YANG Ming-ji¹, WU Ye¹, FAN Hua-feng²

(1 School of Measure-control Technology and Communications Engineering, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China;

2 Dalian Shipbuilding Industry Co, Ltd, Dalian 116000, China)

Abstract: In the heterogeneous IoV environment composed of LTE and WiMAX, the duration of the current base station coverage is calculated by predicting the movement trend of the vehicle. According to the time, the vehicle node is divided into narrow mobile node and wide mobile node. For narrow mobile nodes, the network selection method based on load balancing is adopted to decide the handoff. For the mobile nodes, handoff decisions are carried out by using the multiple attribute vertical handoff algorithm based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process (AHP). The simulation results show that the algorithm can reduce the number of handover, reduce the switching failure rate, improve the switching delay and improve the throughput

Key words: heterogeneous IoV; vertical handoff; multiple attribute decision; analytic hierarchy process; motion trend

1 引言

伴随着各种无线网络的深度融合, 未来车联网的重要特点就是各种无线网络相互融合、优势互补, 为用户终端提供最佳的服务. 各种无线网络的特点各不相同, 例如, 传输速率、费用、覆盖范围等方面差距较大^[1]. 当切换次数过多时, 对终端的业务会造成很大的影响. 因此如何保证有效的切换是本文的研

究重点.

已有文献^[2-7]提出了一些切换算法. 这些研究虽然已取得了良好的研究成果, 但缺乏对异构车联网中车辆节点数目及分布, 以及终端速度对切换判决、网络性能造成的影响.

本文提出了一种基于运动趋势预测的垂直切换算法.

2 基于运动趋势预测的垂直切换算法

2.1 车辆运动区域预测

由于终端在运动过程中并不是匀速的,因此一般取一段时间内终端的平均速度进行研究.利用终端的测速功能在周期 T 内进行采样获得 N 个采样速度值,并对这些采样值取均值,即可得到周期 T 内终端的平均速度为

$$\bar{V} = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} V_j, j = 0, 1, \dots, N-1 \quad (1)$$

式中, V_j 表示第 j 个采样值.

如图 1 所示, A 点表示终端在此处发生网络切换, B 点表示终端由 A 点经过 Δt 时间后到达的位置.则网络持续时间的计算可表示为

$$\begin{cases} d_1^2 = r^2 + (\Delta l + l_1)^2 \\ d_2^2 = r^2 + l_1^2 \end{cases} \quad (2)$$

式中, $l_1 = \frac{d_1^2 - d_2^2 - \Delta l^2}{2\Delta l}$, $\Delta l = \bar{V}\Delta t$. 因为 $l_2 = l_1 + \Delta l$, 则预测的网络持续时间为

$$t_c = \frac{2l_2}{\bar{V}} = \frac{d_1^2 - d_2^2 + \bar{V}^2 \Delta t^2}{\bar{V}^2 \Delta t} \quad (3)$$

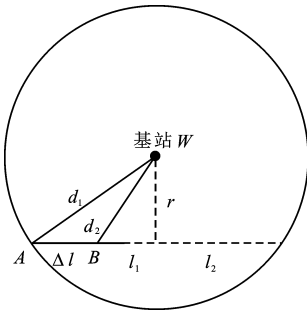


图 1 持续时间预测模型

用 t_c 与预先设定的持续时间阈值 δ 比较,当 $t_c < \delta$ 时,说明车辆节点在当前基站覆盖范围运动时间短,且频繁出入多个基站覆盖范围,那么把这些节点归为广移动车辆,反之,当 $t_c \geq \delta$ 时,则说明节点在当前基站覆盖范围内运动时间长,把这部分节点归为狭移动车辆.

2.2 狭移动节点的网络切换判决算法

对于狭移动车辆,假设当前终端接入 LTE 网络,在当前基站覆盖范围的持续时间内 LTE 网络性能良好,则影响节点切换的因素就是 LTE 基站的网络状况.故对于这类节点只需考虑当前 LTE 基站与 WiMAX 网络之间的切换.而当前基站的负载状况以及终端在运动过程受到建筑物遮挡会对基站的网

络情况造成影响.

对于任一狭移动节点 i ,假设其当前运动在 LTE 网络的覆盖范围内,并且已经接入 LTE 网络,若当前接入网络性能下降,终端首先判断是否由建筑物的遮挡导致网络性能下降,在设置的等待时间 t_w 内,若网络性能恢复说明网络性能下降是建筑物的遮挡造成的,继续保持当前连接,不进行切换.若当前接入网络性能在等待时间内没有恢复,则将 LTE 网络与 WiMAX 网络进行性能比较,选择网络性能更好的目标网络连接.

通过计算当前基站的负载状况来对比 LTE 与 WiMAX 网络的性能,并作为切换准则.式(4)中, ρ_B 为当前基站的负载状况, $N_{Lsch< i>}(t)$ 为节点 m 可接入的最佳目标网络的负载状况, ρ_φ 为状况迟滞阈值,本文取值为 0.2.当 $\rho_{diff} > \rho_\varphi$,代表 WiMAX 网络性能优于 LTE 网络,节点 i 执行切换连接至 WiMAX 网络;反之,当 $\rho_{diff} \leq \rho_\varphi$,代表 WiMAX 网络性能不比 LTE 网络性能优良或者两者几乎相同,则不执行切换,继续保持当前网络连接.

$$\rho_{diff} = \frac{N_{Lsch< i>}(t) - \rho_B(t)}{\rho_B(t)} \quad (4)$$

2.3 广移动节点的网络切换算法

广移动节点的特点在于其在单个基站覆盖范围下的运动持续时间短,频繁的移动导致切换次数较多.对于广移动节点的网络切换,本文采用基于模糊层次分析法的多属性判决算法.假设 LTE 网络有 m 个基站(BS), WiMAX 网络有 n 个接入点(AP),所有候选基站和接入点组成集合

$$H = \{BS_1^L, BS_2^L, \dots, BS_m^L, BS_1^{WM}, BS_2^{WM}, \dots, BS_n^{WM}\}, \text{终端每次从集合 } H \text{ 中选择一个基站进行连接.}$$

广移动车辆节点的垂直切换算法包括判决属性、确定属性权重、切换判决 3 个部分.

2.3.1 判决属性

影响切换判决的因素有 SINR、切换时延、通信代价、可用带宽.

(1) 信号与干扰噪声

节点 i 从 LTE 基站 BS_j^L 接收的 SINR 值 $\gamma_{BS_j,i}^L$ 表示为^[8]

$$\gamma_{BS_j,i}^L = \frac{G_{BS_j,i}^L P_{BS_j,i}^L}{P_0^L + \sum_{k=1, k \neq j}^m G_{BS_k,i}^L P_{BS_k}^L + G_{BS_j,i}^L \alpha (P_{BS_j}^L - P_{BS_j,i}^L)} \quad (5)$$

式中, $P_{BS_j}^L$ 是 BS_j^L 的总发送功率; $P_{BS_j,i}^L$ 为 BS_j^L 对节点

i 的发送功率; $G_{\text{BS}_j,i}^L$ 为节点 i 与基站 BS_j^L 之间的信道增益; α 为正交因子, 等于 0.4; P_0^L 为热噪声功率, 等于 -99 dBm; 节点 i 从 WiMAX 基站 BS_j^{WM} 接收到的 SINR 值 $\gamma_{\text{BS}_j,i}^{\text{WM}}$ 表示为^[9]

$$\gamma_{\text{BS}_j,i}^{\text{WM}} = \frac{\sum_{k=1}^{s_i} G_{\text{BS}_j,i}^{\text{WM}} P_{\text{BS}_j,k}^{\text{WM}}}{P_B + \sum_{k=1, k \neq j}^n \sum_{s=1}^{n_s} G_{\text{BS}_k,j}^{\text{WM}} P_{\text{BS}_k,s}^{\text{WM}}} \quad (6)$$

式中, $P_{\text{BS}_j,k}^{\text{WM}}$ 为 WiMAX 基站的发送功率; $G_{\text{BS}_j,i}^{\text{WM}}$ 为节点 i 与 WiMAX 基站 BS_j^{WM} 之间的信道增益. P_B 为背景噪声功率, 值为 -86 dBm.

为了获得与从 WiMAX 基站接收到的数据速率相等, 可将 $\gamma_{\text{BS}_j,i}^{\text{WM}}$ 转化为节点从 LTE 基站接收到的等效 SINR 值 $\gamma'_{\text{BS}_j,i}^{\text{WM}}$:

$$\gamma'_{\text{BS}_j,i}^{\text{WM}} = \Gamma_{\text{BS}}^L \left[\left(1 + \frac{\gamma_{\text{BS}_j,i}^{\text{WM}}}{\Gamma_{\text{BS}}^{\text{WM}}} \right) \frac{W_{\text{BS}}^{\text{WM}}}{W_{\text{BS}}^L} - 1 \right] \quad (7)$$

式中, W_{BS}^L 与 $W_{\text{BS}}^{\text{WM}}$ 分别代表 LTE 和 WiMAX 网络的带宽, Γ_{BS}^L 与 $\Gamma_{\text{BS}}^{\text{WM}}$ 分别代表 LTE 与 WiMAX 网络中信道容量的增益与编码增益之差.

(2) 切换时延

由文献[10]可知, 节点执行一次切换的时延为

$$\tau_{d, \text{VHO}} = 4(\tau_{\text{mr}} + \tau_{\text{ra}} + \tau_{\text{ai}}) + \overline{\tau_{\text{H}}} + \overline{\tau_{\text{W}}} + \tau_{\text{VHO}, e} \quad (8)$$

式中, τ_{mr} 为节点与基站之间的时延; τ_{ra} 为基站与网关 GPRS 支持节点(GGSN)之间的时延; τ_{ai} 为 GGS 与信息服务器(IS)之间的时延; $\overline{\tau_{\text{H}}}$ 和 $\overline{\tau_{\text{W}}}$ 为扫描高速下行分组(HSDPA)和 WiMAX 信道的平均时延, $\tau_{\text{VHO}, e}$ 为平均切换时延^[11].

(3) 其他属性

令 S_i 为 $\gamma_{\text{BS}_j,i}^L$ 和 $\gamma_{\text{BS}_j,i}^{\text{WM}}$ 组成的 SINR 向量; τ_i 为节点切换至各备选网络的切换时延向量; C_i 代表各个备选网络与节点 i 通信发送每个比特的归一化代价向量; U_i 表示各个备选网络的可用带宽. 根据以上 4 个判决属性, 属性矩阵 A_i 为

$$A_i = [S_i \tau_i^{-1} C_i U_i]^T \quad (9)$$

2.3.2 确定属性权重

本文采用如下步骤确定属性权重: 首先根据模糊层次分析法来确定各个属性的重要程度, 然后构建模糊判决矩阵, 最后得出网络属性对应的权重向量 ω .

首先根据判决准则、备选网络, 针对总目标构建层次结构模型. 假定上一层的元素 E 同下一层 (L_1) 中的元素 $e_1, e_2, \dots, e_p$ 有联系, 则模糊判决矩阵 P 可表示为

$$P = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1p} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{p1} & r_{p2} & \cdots & r_{pp} \end{bmatrix} \quad (10)$$

式中, $0 \leq r_{ij} \leq 1, r_{ij} + r_{ji} = 1$. r_{ij} 是 e_i 比 e_j 重要的程度度量, 表示 e_i 和 e_j 相对于元素 E 进行比较时, e_i 和 e_j 具有“... 比 ... 重要得多”的模糊关系. 可以按照 0.1 ~ 0.9 对 r_{ij} 进程赋值, $r_{ij} \geq 0.5$ 表示 e_i 比 e_j 重要, $r_{ij} < 0.5$ 表示 e_j 比 e_i 重要, $r_{ij} = 0.5$ 表示 e_i 和 e_j 有相同的重要度. 设 $e_1, e_2, \dots, e_p$ 的权重为 $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_p$, 且满足

$$\sum_{i=1}^p \omega_i = 1, \omega_i > 0 \quad (11)$$

当元素 e_i 越重要, 其对应的权重值 ω_i 也越大.

若矩阵 P 满足一致性, 有式(12)成立^[12].

$$r_{ij} = 0.5 + \mu(\omega_i - \omega_j), i, j = 1, 2, \dots, p \quad (12)$$

式中, μ 代表决策者对各个属性的重视程度, 联立式(12)和式(13), 可求得 $e_1, e_2, \dots, e_p$ 对应的权重 $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_p$, 即

$$\omega_i = \frac{1}{p} + \frac{1}{\mu p} \left(\sum_{k=1}^p r_{ik} - 0.5p \right) (i = 1, 2, \dots, p) \quad (13)$$

同时若矩阵 P 满足一致性, 则有^[10]

$$|\omega_i - \omega_j| = \frac{1}{|\mu|} |\epsilon_{ij}|, i, j = 1, 2, \dots, p \quad (14)$$

式中, ϵ_{ij} 为 P 中第 i 行与第 j 行对应元素之差, 由式(14)可知, $|\mu|$ 值的大小决定了 $|\omega_i - \omega_j|$ 的大小, 而 $|\omega_i - \omega_j|$ 反映了决策者对判决属性间的重要程度的重视. 因此, 可以通过不同值得到若干组权重, 从中挑选出一组决策者满意的权重.

以 3GPP 定义的流媒体业务为例, 如使用 HSDPA 信道从 LTE 基站进行视频流传输, 因此在判决属性中可用带宽属性对判决结果具有重要的影响. 由判决结果的重要程度两两相互比较所得到的模糊判决矩阵 J 为

$$J = \begin{matrix} & e_1 & e_2 & e_3 & e_4 \\ \begin{matrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \\ e_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0.5 & 0.5 & 0.2 & 0.5 \\ 0.5 & 0.5 & 0.2 & 0.5 \\ 0.8 & 0.8 & 0.5 & 0.8 \\ 0.5 & 0.5 & 0.2 & 0.5 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (15)$$

式中, e_1, e_2, e_3, e_4 分别为 SINR、切换时延、通信代价、可用带宽. 利用文献[12]一致性判定定理可知矩阵 J 具有一致性. 在式(14)中, 令 $\mu = 0.4$, 可求出各个属性的权重值 $\omega_1 = 0.0625, \omega_2 = 0.0625, \omega_3$

$= 0.8125, \omega_4 = 0.0625$.

2.3.3 切换判决

SAW 是最常用的多属性决策方法. SAW 算法是通过所有属性值的权重和决定最佳目标网络, 如式(16) 所示.

$$S_{SAW}^* = \arg \max_{i \in M} \sum_{j=1}^N \omega_j r_{ij} \tag{16}$$

式中, r_{ij} 为第 i 个网络的第 j 个属性的属性值, 为属性矩阵 A_i 中的元素; ω_j 表示赋予各属性的重要性权重向量; N 表示属性的集合, $M(M \leq m+n)$ 代表备选网络集合. S_{SAW}^* 最大的备选网路为切换的目标网络. 那么判决策略为: 当终端在判决前已经接入 S_{SAW}^* 对应的网络, 那么无需切换; 否则, 切换至 S_{SAW}^* 对应的网络.

3 实验结果及分析

3.1 仿真场景及参数设置

仿真场景是由 LTE 与 WiMAX 构成的异构网络, 如图 2 所示. LTE 全场景覆盖, 在仿真范围内, 随机生成 400 个终端节点, 而这些节点的位置隔一段时间便会发生改变, 其中它们的移动速度不超过 80 km/h, 移动方向即运动角度满足在 $[0, 2\pi]$ 内服从均匀分布. LTE 和 WiMAX 网络系统参数如表 1 所示. 其中, h 为基站天线高度, R 为小区半径.

表 1 系统参数

基站	f/GHz	W_{BS}/MHz	P_{BS}/dBm	Γ/dbm	R/km	h/m
LTE	2.0	5	40	16	1.2	15
WiMAX	2.5	10	46	1	1.0	15

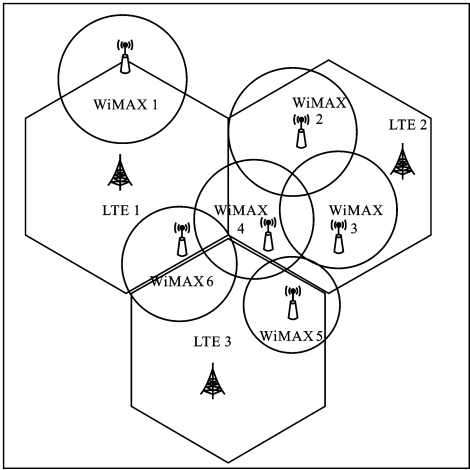


图 2 仿真场景

3.2 仿真实验结果

3.2.1 考察指标

本文在网络时延、吞吐量、切换次数三个方面与

基于接收信号强度的垂直切换算法(RSS)、基于多属性决策的垂直算法(MADM)^[13]以及基于贝叶斯决策的垂直切换算法(BDT)^[7]进行对比, 从而对其网络性能进行评估.

3.2.2 切换时延分析

图 3 为四种切换策略在不同车辆节点数量仿真环境下的切换时延图. 与 RSS 相比, 基于 MADM 切换算法、基于 BDT 切换算法与本文切换算法三者的切换时延增长均比较缓慢. 而且本文算法的时延明显低于其他两种算法.

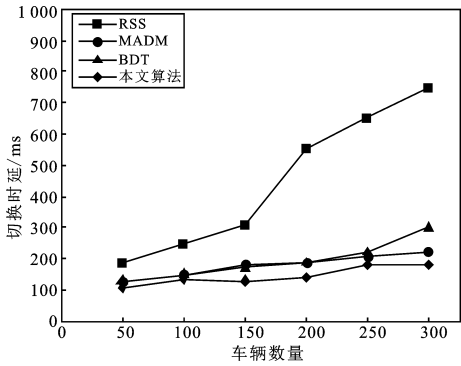


图 3 切换时延随着车辆数量变化的比较

图 4 所示为在不同车辆节点速度仿真环境下 RSS、MADM、BDT 以及本文切换策略的切换时延仿真图. 由图 4 可知, 本文算法的切换时延占有一定的优势, 保证了用户能够获得相对稳定的网络体验. 本文切换算法是通过在基站范围内的车辆的持续时间对车辆运动进行分析预测, 并通过网络持续时间对终端分类, 对于不同类型的终端采用不同的算法进行切换判决, 降低了车辆速度对网络性能造成的影响.

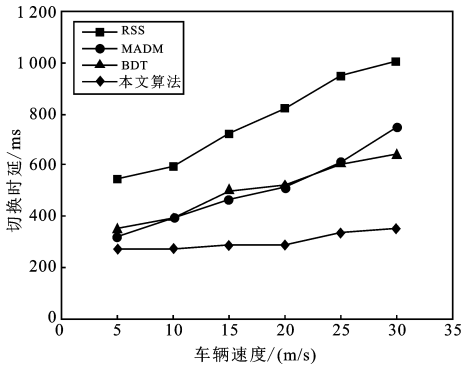


图 4 不同运动速度下的切换时延比较

3.2.3 网络吞吐量分析

图 5 为在不同车辆节点数量仿真环境下四种切换策略的网络吞吐量的对比图. 可以看出, 本文

方法相比其他三种方法拥有最强的带负载能力.这是因为本文方法采用了 LBNS 方法为初始入网的车辆选择合适的网络接入,该策略不仅能够均衡网络负载,还可以降低网络阻塞率,降低丢包率,可以满足异构车联网中绝大部分终端的通信需求.

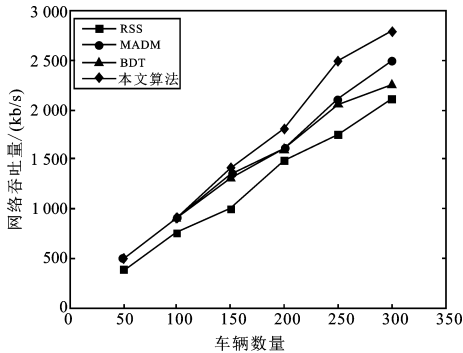


图 5 网络吞吐量随着车辆数量的变化比较

图 6 展示四种切换算法的网络吞吐量随着车速度的变化.说明相比其他三种算法,在中低速、甚至高速的车辆运动环境,本文算法的网络吞吐量都有一定的优越性.

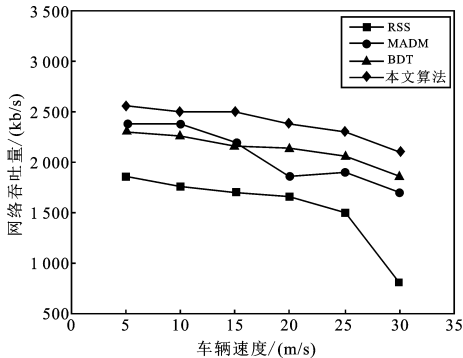


图 6 不同速度下的网络吞吐量比较

3. 2. 4 切换次数分析

实验表明,与其他三种算法相比,本文算法的增长趋势相对平缓,且其切换次数始终保持最低.图 7 所示为四种切换算法的网络切换次数随着车速度的变化.图中,四种方法的切换次数均随着车辆节点速度的提高呈现增长的趋势.

4 结束语

文中提出了一种基于运动趋势预测的异构车联网垂直切换算法,首先通过对车辆运动趋势的预测计算节点在当前基站覆盖范围下的持续时间,按照该时间把车辆节点划分为狭移动节点和广移动节点.对于狭移动节点利用基于负载均衡的网络选择

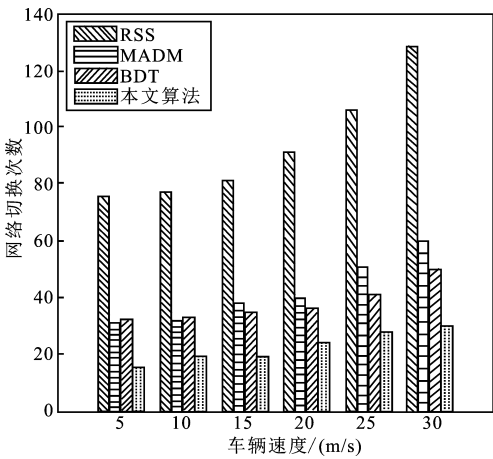


图 7 不同速度下的网络切换次数结果

方法进行切换判定,而对于广移动节点利用基于模糊层次分析法的多属性垂直切换算法进行切换判决,该算法以不同接入网络的干扰噪声比(SINR)、切换时延、通信代价、可用带宽属性作为影响切换判决的因素,并根据网络属性对备选网络建立属性矩阵,利用模糊层次法来确定各个属性的权重,最后利用简单加权和(SAW)法进行判决,是否连接到目标网络.仿真结果表明,与基于 RSS、MADM、BDT 算法三种切换算法对比,降低了乒乓效应,网络时延得到明显改善,提高了系统吞吐量.同时也证实了异构车联网中节点数量及分布、车辆运动速度对终端通信性能有很大的影响.

参考文献:

[1] 李永刚,张治中,李龙江.一种 WLAN 与 eHRPD 系统间负载均衡算法[J]. 微电子学与计算机, 2017, 34 (1):44-47.

[2] KUSTIAWAN I, CHI K. Handoff decision using a kalman filter and fuzzy logic in heterogeneous wireless networks [J]. IEEE Communications Letters, 2015, 19(12): 2258-2261.

[3] KALEEM F, MEHBODNIYA A, ISLAM A, et al. Dynamic target wireless network selection technique using fuzzy linguistic variables [J]. China Communications, 2013, 10(1):1-16.

[4] 潘甦,梁宇,刘胜美,等.一种基于移动趋势量化的多属性垂直切换判决算法[J]. 电子与信息学报, 2016, 38(2):269-275.

[5] 马彬,谢显中,廖晓峰,等.车辆异构网络中预测垂直切换算法[J]. 电子与信息学报, 2015, 37(4): 874-880.

- kernel principal component analysis[J]. International Journal of Remote Sensing, 2017, 38(3): 850-873.
- [3] Cao X, Li X, Li Z, et al. Hyperspectral band selection with objective image quality assessment[J]. International Journal of Remote Sensing, 2017, 38 (12): 3656-3668.
- [4] Xu M, Sun Q, He Z, et al. Band selection for hyperspectral images based on particle swarm optimization and differential evolution algorithms with hybrid encoding[J]. Journal of Computational Methods in Sciences and Engineering, 2016, 16(3): 629-640.
- [5] Yang X S, Deb S. Cuckoo search via Lévy flights [C]//Nature &. Biologically Inspired Computing, 2009. IEEE, 2009: 210-214.
- [6] Medjahed S A, Saadi T A, Benyettou A, et al. Binary cuckoo search algorithm for band selection in hyperspectral image classification[J]. IAENG International Journal of Computer Science, 2015, 42(3): 183-191.
- [7] Civicioglu P, Besdok E. A conceptual comparison of the Cuckoo-search, particle swarm optimization, differential evolution and artificial bee colony algorithms [J]. Artificial intelligence review, 2013, 39(4): 1-32.
- [8] Mantegna R N. Fast, accurate algorithm for numerical simulation of Levy stable stochastic processes [J]. Physical Review E, 1994, 49(5): 4677.
- [9] 吴超, 吴一全. 基于混沌粒子群优化投影寻踪的高光谱图像目标检测[J]. 光学学报, 2011, 31(12): 63-70.
- [10] 陈志刚, 梁涤青, 邓小鸿, 等. Logistic 混沌映射性能分析与改进[J]. 电子与信息学报, 2016, 38(6): 1547-1551.

作者简介:

胡梦林 女,(1992-),硕士研究生. 研究方向为遥感图像处理、人工智能. E-mail: humenglin@whu. edu. cn.

万幼川 男,(1960-),教授,博士生导师. 研究方向为遥感数据处理与应用、摄影测量与 LIDAR 数据处理、地理信息系统开发与环境信息系统.

王明威 男,(1989-),博士研究生. 研究方向为图像处理、人工智能.

高贤君 女,(1986-),讲师. 研究方向为遥感影像处理.

高 雄 男,(1986-),工程师. 研究方向为机器学习.

(上接第 123 页)

- [6] 郭强, 张晓萌, 朱若函. 基于粒子群优化的模糊神经网络垂直切换算法[J]. 微电子学与计算机, 2015, 32(8):12-18.
- [7] 孔令斌, 王军选, 孙长印. 多网络共存下基于贝叶斯的垂直切换算法[J]. 电讯技术, 2016, 56(2): 122-127.
- [8] Lte. 3GPP TR 25. 942, Radio frequency (RF) system scenarios (Release 10) [S]. Lte, 2011.
- [9] Srinivasan Roshni, Zhuang Jeff, Jalloul Louay , et al. IEEE802. 16 m-08/004r5, IEEE 802. 16m evaluation methodology document [EB/OL]. [2017-03-28]. http. //www. ieee 802. org.
- [10] IEEE. IEEE 802. 21-2008, IEEE standard for local and metro-politan area networks-part 21: media independent handover[S]. IEEE, 2008.
- [11] Kim Younghyun, Pack Sangheon, Kang Chung Gu, et al. An enhanced information server for seamless vertical handover in IEEE 802. 21 MIH networks[J]. Computer Networks, 2011, 55(1): 147-158.
- [12] 张吉军. 模糊层次分析法[J]. 模糊系统与数学, 2000, 14(2): 80-88.
- [13] 陶剑骅, 武向农, 蒋祥鹏. 基于多属性决策的异构网络选择算法比较研究[J]. 电视技术, 2015, 39(17): 79-83.

作者简介:

杨明极 男,(1971-),博士,教授. 研究方向为移动通信系统.

吴 烨(通讯作者) 男,(1993-),硕士研究生. 研究方向为无线通信技术. E-mail: wuye930825@163. com.

范华峰 男,(1976-),工程师. 研究方向为无线控制与通信系统.